



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Santeri Ylä-Kotola

---

## **Työkoneen esisuunnittelu**

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Santeri Ylä-Kotola

Työn nimi alaotsikoineen: Työkoneen esisuunnittelu

Ohjaaja: Heikki Järvi

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 49

Liitteiden lukumäärä: 1

---

Suomessa on monia metsänomistajia, jotka keräävät puuta omiin tarpeisiinsa. Puun keräämiseen tarvittava kalusto tarvitsee paljon pääomaa. Tässä opinnäytetyössä ideoidaan sitä, kuinka voitaisiin kehittää työkone, jolla voitaisiin helposti hoitaa puiden kerääminen, mutta johon ei sitoutuisi paljon pääomaa.

Suunnitteluprosessin neljä porrasta ovat esitutkimus-, luonnostelu-, kehitys- ja viimeistelyvaiheet. Työkoneen suunnittelussa keskityttiin kahteen ensimmäiseen vaiheeseen, esitutkimus- ja luonnosteluvaiheisiin. Esitutkimuksessa suunniteltiin työkoneen vaatimuslista ja luonnosteluvaiheessa työkoneelle laadittiin toimintakuvaus.

Työkoneen rungoksi ajateltiin kotelomaista runkoa, joka tehtäisiin levyosista, tai putkirunkoa, joka koostuisi eri mittaisista putkista. Näistä kahdesta vaihtoehdosta putkirunko tarjosi keveyttä ja kestävyyttä, jotka olivat vaatimuslistan tärkeimpiä kohtia. Kotelomainen runko tarjosi vaihtoehtoisesti parempaa suojausta.

Työkoneen on liikuttava vaikeakulkuisessa maastossa, jolloin sen alustalta vaaditaan kestävyyttä ja ketteryyttä. Työkoneen painopisteen paikalla on suuri merkitys koneen vakaudelle, joten sitä joudutaan jossain tapauksissa siirtämään. Tämä voitaisiin toteuttaa käyttämällä mekaanista ratkaisua tai hydraulista ratkaisua.

Voimansiirtovaihtoehdot työkoneeseen olivat mekaaninen, sähköinen ja hydrostaattinen. Mekaaninen voimansiirto oli halvin ratkaisu verrattuna sähköiseen tai hydrostaattiseen, mutta se toi enemmän huollettavuutta ja rajoitti liikkeitä. Sähköinen voimansiirto oli tehokkain tapa toteuttaa voimansiirtoa, mutta ongelmaksi muodostui korkea hinta ja paino. Hydrostaattinen voimansiirto oli hyvä vaihtoehto ja todennäköisin vaihtoehto työkoneen voimansiirroksi. Hydrostaattisessa voimansiirrosta voitiin moottorit asentaa samalla tavalla kuin sähköisessä voimansiirrosta, jolloin liikettä eivät rajoittaneet mitkään murtokulmat, kuten mekaanisessa voimansiirrosta.

<sup>1</sup> Asiasanat: Voimansiirto, Suunnittelu, Työkoneet, Metsätyö

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author/s: Santeri Ylä-Kotola

Title of thesis: Preliminary planning of the works machine

Supervisor(s): Heikki Järvi

Year: 2025

Number of pages:49

Number of appendices: 1

---

There are many forest owners in Finland who collect wood for their own needs. Collecting wood requires expensive equipment. In the thesis it was studied how to develop a work machine that could easily handle the collection of wood but would not be expensive.

The four steps of a design project are preliminary investigation, outlining, development and finishing. In the design of the work machine, focus was on the first two stages: preliminary investigation and outlining. In the preliminary investigation, the design requirement list for the work machine was created and in the outlining stage, an operational description for the work machine was drafted.

The frame of the work machine was thought to be a box-type frame manufactured of plate parts or a tubular frame that consisted of tubes in different lengths. Of these two options, the tubular frame provided light weight and strength, which were among the most important points on the requirement list. The box-type frame alternatively, would provide better protection.

The aim was that the work machine would be able to move in a difficult terrain, where its chassis is required to have strength and agility. The location of the work machine's center of gravity is of great importance for the stability of the machine, so it may need to be shifted in some cases. This could be implemented using a mechanical solution or a hydraulic solution.

The options for the transmissions of the work machine were mechanical, electric and hydrostatic. A mechanical transmission would be a cheaper solution compared to electric and hydrostatic versions, but it would require more maintenance and limits movement. An electric transmission would be the most powerful option, but the problem with it is higher price and weight. A hydrostatic transmission would be a good choice and the most likely option for the transmission of the work machine. In a hydrostatic transmission the motor could be installed the same way as in electric transmission, where movement is not limited by any ultimate angles as in mechanical transmission.

<sup>1</sup> Keywords: power transmission, planning, work machine, forest work

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	3
Kuva ja kuvio luettelo .....	6
1 JOHDANTO .....	7
2 SUUNNITTELUPROSESSI .....	9
2.1 Esitutkimus .....	11
2.1.1 Tuoteideat .....	11
2.1.2 Tuotevaatimukset .....	11
2.2 Luonnostelu .....	12
2.3 Ratkaisujen kehittäminen ja viimeistely .....	13
2.4 Työkoneen suunnitteluprosessi .....	13
3 RUNGON SUUNNITTELU .....	15
3.1 Rungon suunnittelua koskevat säädökset ja standardit .....	15
3.2 Levyrunko .....	16
3.3 Putkipalkkirakenteinen runko .....	16
3.4 Levy- ja putkiplakkirungon käyttö työkoneenrunkona .....	17
4 TYÖKONEEN ALUSTARAKENNE .....	21
4.1 Alustaa koskevat säädökset ja standardit .....	21
4.2 Työkoneen painopisteen paikka .....	22
4.3 Painopisteen paikan vaikutus pintapaineeseen .....	24
4.4 Ratkaisuja painopisteen heilahtelujen vähentämiseen .....	26
5 VOIMANSIIRTO .....	28
5.1 Voimansiirtoa koskevat säädökset .....	29
5.2 Mekaaninen voimansiirto .....	30
5.2.1 Akselilla toteutettu voimansiirto .....	30
5.2.2 Hihnäkäytöllä toteutettu voimansiirto .....	32
5.2.3 Ketjikäytöllä toteutettu voimansiirto .....	32
5.2.4 Ketjikäytön ja hihnäkäytön voimansiirron laskenta .....	32

5.2.5	Portaaton CVT-vaihteisto.....	33
5.3	Mekaaninen voimansiirto suunniteltavassa työkoneessa.....	35
5.4	Sähköinen voimansiirto.....	35
5.5	Sähköistä voimansiirtoa koskevat säädökset ja standardit.....	36
5.5.1	Sähköisen voimansiirtojärjestelmän energian varastointi.....	38
5.5.2	Sähkömoottorikäyttö.....	41
5.6	Sähköinen voimansiirto suunniteltavassa työkoneessa.....	42
5.7	Hydrostaattinen voimansiirto.....	45
5.7.1	Hydrostaattista voimansiirtoa koskevat säädökset ja standardit.....	45
5.7.2	Hydrostaattinen voimansiirto työkoneessa.....	46
6	POHDINTA.....	47
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET.....	50

## Kuva ja kuvio luettelo

kuva 1 Ristikkorakenne.....	17
kuva 2 Ristikkorakenteen FEM-simulointi. ....	18
kuva 3 Levyosan FEM-simulointi. ....	19
kuva 4 Levyosan simulointi, kun osaan leikattu pala irti.....	19
kuva 5 Työkoneen kallistumistilanteet.....	21
kuva 6 Vapaakappalekuva kallistumistilanteesta. ....	24
kuva 7 Mekaaninen ratkaisu. ....	26
kuva 8 Ristiin kytketyt sylinterit. ....	27
kuva 9 W asennus.    kuva 10 Z asennus.....	31
kuva 11 Joustonivel. ....	31
kuva 12 CVT-vaihteiston toiminta alhaisilla nopeuksilla.....	34
kuva 13 CVT-vaihteiston toiminta nopeilla nopeuksilla .....	35
kuva 14 Voimansiirto tapoja.....	36
kuvio 1 Tuotekehityksen vaiheet.....	10
kuvio 2 Suunniteltavan työkoneen toimintarakenne. ....	14
kuvio 3 Painopisteen etäisyyden muutos sivuttaissuunnassa.....	23
kuvio 4 Työkoneen tuki reaktiot .....	25
kuvio 5 Voimansiirrontarve nousukulmaan nähden .....	28
kuvio 6 Tasa- ja vaihtosähkömoottoreiden vertailu .....	44

# 1 JOHDANTO

Suomessa on runsaat 570 000 metsänomistajaa, jotka omistavat vähintään 0,5 hehtaaria metsäkiinteistöä, vähintään 2 hehtaarin metsätalousmaata omistavia noin 430 000 ja yli 20 hehtaaria metsätalousmaata omistavia noin 210 000 (Metsäkeskus, i.a.). Keskipinta-ala metsänomistuksessa Suomessa on noin 32 hehtaaria ja mediaanipinta-ala noin 10 hehtaaria.

Useat maanomistajat keräävät pienpuuta omiin tarpeisiin, kuten polttopuiksi. Pienpuun keräämiseen tarvitaan kuitenkin jonkin verran kalustoa, jotta työ tapahtuisi tehokkaasti. Tarvitaan esimerkiksi moottorisahaa, jolla voidaan kaataa puita, ja jonkinlainen ajoneuvo, millä voidaan kuljettaa puut pois metsästä. Tällaiset ajoneuvot ovat useimmiten traktori tai mönkijä, johon on kytketty metsäperävaunu tai juontokoura. Tarvittavan kaluston hankkiminen tarvitsee pääomaa ja näistä kahdesta hankittavasta ajoneuvosta muodostuu suurin pääoman tarvitsija. Uusi traktori ja siihen kytkettävä metsäperävaunu voi maksaa helposti yli 50 000 €. Uudet mönkijät, jotka soveltuvat metsätyöhön, voivat maksaa yli 15 000 €. Tästä voikin muodostua merkittäväkin tekijä, jonka takia on halvempaa käyttää ulkopuolista palvelua puunkeräämiseen. Siitä voi kuitenkin pitkällä aikavälillä tulla kalliimpi ratkaisu.

Traktorit, joihin on kytketty metsäperävaunu, pystyvät tuomaan suuriakin kuormia kerralla metsästä, mutta tarvitsevat kantavan maapohjan ja ajouraverkoston metsään. Pehmeän maapohjan päältä puiden korjuu saattaa jäädä odottelemaan pitkäksikin aikaan, vaikka odottelemaan talvea. Ajouraverkoston tekeminen metsään vähentää metsän puuston määrää sekä tarvitsee tekijältä osaamista ja silmää. Mönkijät ovat traktoreita kevyempiä ja pienempi kokoisia, joten niillä onnistuisi puiden hakeminen metsästä, vaikka maapohja on pehmeä. Mönkijä ei tarvitse myöskään niin leveää ajouraa kuin traktori. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin mönkijän huono liikkuvuus metsässä. Mönkijällä täytyy tarkasti katsoa sen kulkureitti, jotta se ei jäisi jumiin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on ideoida työkone, joka olisi edullisempi kuin traktori, johon on kytketty metsäperävaunu, tai mönkijä, jonka perään on kytketty perävaunu. Lisäksi työkoneen tulisi olla ketterämpi kuin traktorit tai mönkijä. Opinnäytetyössä keskitytään ideoimaan ja pohtimaan erilaisia ratkaisuja, joilla voitaisiin toteuttaa kyseinen työkone. Toisessa luvussa perehdytään suunnitteluprosessiin, jossa pyritään luomaan mielikuvaa työkoneesta. Kolmannessa luvussa kartoitetaan, millainen työkoneen runko olisi sopiva kyseiseen työkoneeseen. Neljäs luku kertoo alustarakenteesta ja siitä, kuinka maaston eri muodot vaikuttavat

työkoneen vakauteen ja liikkumiseen. Viides luku kertoo työkoneeseen kaavailuista voimansiirroista.

## 2 SUUNNITTELUPROSESSI

Yritysten tuotteiden menestyminen markkinoilla perustuu tuotteiden kykyyn identifioitua käyttäjien tai kuluttajien tarpeisiin ja odotuksiin (Björk ym., 2014, s. 9). Nämä asettavat vaatimukset tuotteelle, johon tuotetta valmistava yritys pyrkii vastamaan mahdollisimman hyvin. Tuotteita suunniteltaessa ja kehitettäessä pyritään vastamaan kysymykseen, missä tunnettuja ratkaisuja yhdistellään toisiinsa luovasti tavoitellen tuotetta, joka on hinnaltaan ja ominaisuuksiltaan kilpailukykyinen tuote.

On huomattava, että uuden tuotteen kehittämisen ja uuden teknologian kehittämisen välillä on kertaluokkaero (Björk ym., 2014, s. 9). Jos suunnitellaan uutta konetta tai kuljetusvälinettä, jolloin suunnittelu aika on noin 1–4 vuotta, kun taas kokonaan uuden teknologian kehittämiseen voi kulua aikaa 10–20 vuotta. Uuden teknologian käyttäminen on huomattavasti riskialttiimpaa, jos sitä ei ole tarpeeksi testattu.

Yhdistämällä muotoilua ja tekniikkaa, voidaan kehittää huipputuotteita, joiden syntymiseen vaaditaan visioita ja hyviä tuotekehitysmenetelmiä (Björk ym., 2014, s. 9). Hyvän tuotekehitysmenetelmän perusta on sen alku. Siinä määritetään tuotteen yleisluonteiset tavoitteet ja vaatimukset sekä tehdään myös päätöksiä, jotka koskettavat mm. valmistusprosesseja ja kustannuksia. Onnistunut tuotekehitysprosessin alku on tärkeää, kun halutaan onnistua tuotteen kehitysprosessissa.

Jotta tuotteen kehitysprojektissa onnistutaan, tarvitaan muutamia avaintekijöitä (Björk ym., 2014, s. 9). Näitä ovat:

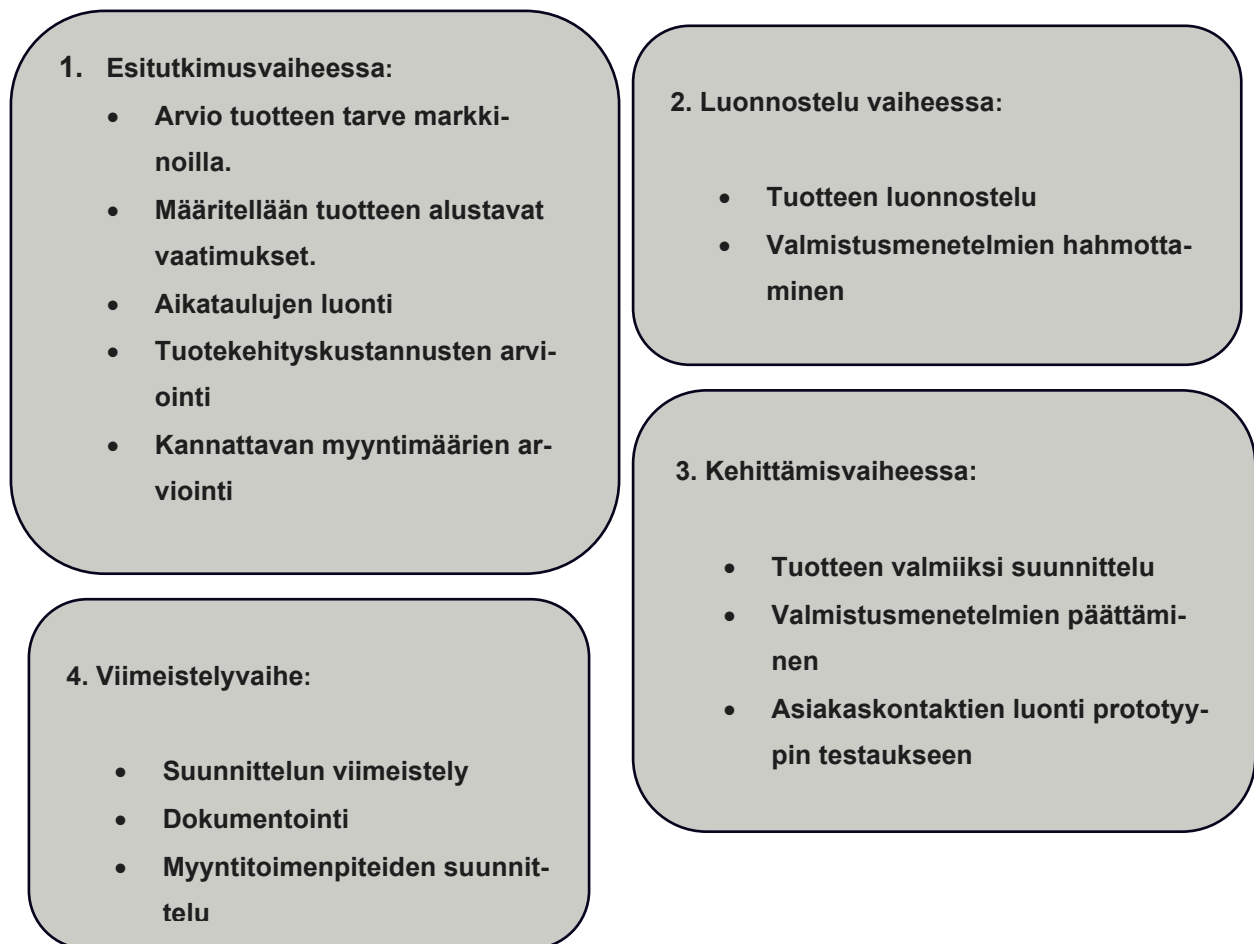
- Tuotemahdollisuuksien havainnointikyky.  
Erilaiset muutokset kulttuureissa, totumuksissa sekä teknologiset murrokset luovat mahdollisuuksia uusien tuotteiden kehittymiselle. Etenkin teknologiset murrokset ovat tyypillisiä ajankohtia, jolloin uusia tuotteita syntyy ja kehittyy.
- Syvälinen asiakkaiden tarpeiden ymmärtämien ja niiden toteuttamien todellisiksi ideoiksi.  
Asiakastarpeet toimivat suuntaviivana tuotteen ominaisuuksien ja muotojen kehityksessä. Tuoteidean tai vastaus tuotteen kehitykseen saadaan harvoin asiakkailta tai käyttäjiltä kysymällä.

- Teknisen suunnittelun, teollisen muotoilun ja markkinoinnin yhdistäminen.

Yrityksen markkinoinnin olisi hyvä olla mukana tuotekehitysprosessin alusta asti, sillä hyväkään tuote ei myy itse itseään.

Virheet, jotka ovat tulleet suunnittelussa voivat olla vaikeita tai mahdottomia korjata valmistusvaiheessa tai huollon muodossa asiakkaalla (Björk ym., 2014, s. 10). Tuotteelle määritetty konstruktio määrittää tuotteelle kustannukset ja laadun. Kun peruskonstruktio on luotu hyvin, voidaan sen päälle tehdä useitakin eri tuotevariaatioita.

Esitutkimus, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely (Björk ym., 2014, s. 10). Nämä ovat neljä vaihetta, joihin tuotekehitysprojekti jakaantuu. Vaiheet olisi hyvä käydä läpi kaikkien tuotekehitysprojektissa työskentelevien tahojen kanssa, kuten suunnittelun, markkinoinnin sekä valmistuksen kanssa. Kuviossa 1 määritellään, mitä kukin vaihe pitää sisällään.



kuvio 1 Tuotekehityksen vaiheet

## 2.1 Esitutkimus

Soveltuvien tuotteiden tarjonta ja kokonaisosaamiseen soveltuvien markkinoiden valinta luo hyvän perustan yrityksen menestykselle (Björk ym., 2014, s. 10–11). Kuitenkin ainoastaan kannattava tuote voi johtaa menestykseen. Vaikka tuote olisi teknisesti onnistunut, se ei takaa sitä, että se olisi kannattava.

### 2.1.1 Tuoteideat

Mitä toimintoja tuotteen käyttäjät haluaisivat tai toivovat tuotteelta (Björk ym., 2014, s. 10–11)? Miten tuote erottuu kilpailijoiden tuotteesta? Millainen on tuotteen kustannusrakenne ja laatu? Nämä ovat kysymyksiä, joita täytyisi painottaa, kun haetaan hyviä tuoteideoita. Olennaista kuitenkin kaikessa tuoteideoinnissa on tunnistaa asiakkaan tai käyttäjän tarpeet, joista luodaan tuotteen tuotevaatimukset.

Hyvästä tuoteideasta voidaan luoda tuote-ehdotus, johon tarvitaan tuotteen kuvaus toiminnosta, vaatimuslista, kustannustavoite ja liiketoimintatavoitteet (Björk ym., 2014, s. 11). Näistä vaatimuslista toimii tuotesuunnittelun lähtökohtana ja on myös koko suunnittelua ohjaava dokumentti.

### 2.1.2 Tuotevaatimukset

Tuotteen suorituskyky ja miellyttävyys summattuna muodostavat tyytyväisyyttä asiakkaissa, kun tuote on monimutkainen ja monipuolinen (Björk ym., 2014, s. 11). Eli hyvä suorituskyky ei takaa asiakkaan hankintapäätöstä, koska tuotteessa tulisi olla myös houkuttelevia ja vetovoimaisia piirteitä, kuten muotoilua, sopivia valmistusmateriaaleja tai ergonomiaa.

Jotta voitaisiin välttyä virheellisistä ratkaisuilta, luodaan vaatimuslista, jota päivitetään ja pidetään ajan tasalla tuotekehitysprojektin edetessä (Björk ym., 2014, s. 11–12). Tuotteen ominaisuudet ovat merkittävä tekijä tuotteen laatuun, jolloin ne tulisi merkitä selvästi tuotteen vaatimuslistaan. Tässä voidaan käyttää numerointia, jolla ilmaista asian tärkeyttä tai kertoa yksinkertaisesti sanoilla.

Vaatimusluettelo suunniteltaessa on hyvä kiinnittää huomiota tärkeisiin kysymyksiin, kuten:

- Tuotteen suorituskyky  
Tuotteen teho, voima, energia
- Käyttö ja valvonta  
Automaatio, käyttöliittymät, anturoinnit, signaalit
- Geometria ja paino  
Pituus, korkeus, leveys, paino
- Käyttöolosuhteet  
Lämpötila, kosteus, melu, toiminta-aika
- Ergonomia ja turvallisuus  
Käyttötapa, muotoilu, suojausjärjestelmät
- Valmistus ja materiaalit  
Tuotantomenetelmät ja raaka-aineet
- Huolto ja kunnossapito  
Varaosat, huolto välit, tarkastukset
- Tuotteen kustannukset
- Tuotekehityksen aika ja välivaiheet sekä toimitusaika.

## 2.2 Luonnostelu

Uudenlaista tuotetta kehitettäessä ratkaisusuunnat on hyvä jättää avoimeksi niin pitkäksi aikaa, että voidaan todeta selvästi sopivin ratkaisu (Björk ym., 2014, s. 13). Luonnostelussa pyritään luomaan toimintaratkaisu, joka täyttää mahdollisimman hyvin laadittua vaatimuslistaa tai luetteloa. Tuotteen toimintaratkaisua voidaan kuvata lohkokaavioiden avulla. Ratkaisut voidaan sittemmin pisteyttää vaatimuslistaan vedoten.

Useat yksittäiset osasysteemit ja osatoiminnot, jotka yhdessä muodostavat tuotteen toimintarakenteen (Björk ym., 2014, s.13). Toimintarakenne voidaan esittää erilaisin riippuvuuksin,

kuten materiaali, energia tai signaalimuunnoksena. Tällöin se osoittaa tulo- ja lähtösuureiden väliset yhteydet ratkaisusta riippumattomilla tavoilla.

Uusien suunniteltavien tuotteiden osatoiminnot voivat olla tuntemattomia, jolloin toimintarakenteen kehittäminen tarvitsee luovuutta ja on myös luonnosteluvaiheen tärkeimpiä tehtäviä (Björk ym., 2014, s. 13). Modulaaristen tuotteiden kohdalla toimintarakenteen kuvaus on tärkeää, koska silloin voidaan kuvata varioituvat rakenteet.

Toimintarakenteen kuvauksella mahdollistetaan perusteltu hajauttaminen erillisiin ja rinnakkain eteneviä tehtäväkokonaisuuksia (Björk ym., 2014, s. 13). Näin voidaan säästää ajassa ja kustannuksissa kehitystyössä.

### **2.3 Ratkaisujen kehittäminen ja viimeistely**

Kehittämävaiheessa suunnitellaan tuotteen rakenne siitä luonnoksesta, mikä on teknisesti ja taloudellisesti paras vaihtoehto (Björk ym., 2014, s. 14–15). Rakenteen suunnittelussa laskelmat, simuloinnit, materiaalivalinnat ja mallikokeet aiheuttavat kehittämissä vaiheessa paljon korjaavia toimenpiteitä. Ne tuovat uutta tietoa, joilla on vaikutusta tuotteen rakenteeseen.

Viimeistelyssä pohditaan valmistusmahdollisuudet sekä tehdään valmiiksi tuotteen piirustukset ja muut asiakirjat (Björk ym., 2014, s. 14–15). Viimeistelyvaiheessa luotujen asiakirjojen pohjalta tehdään tilausten käsittelyt sekä ovat valmistuksen suunnittelussa perustana.

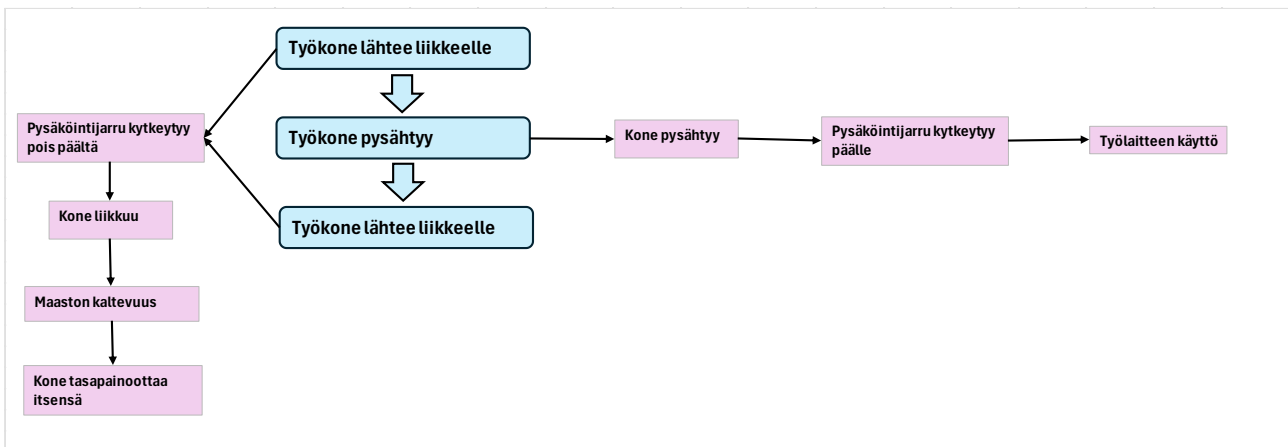
### **2.4 Työkoneen suunnitteluprosessi**

Suunniteltavan työkoneen suunnittelu aloitettiin tekemällä tuotevaatimuslista siitä, minkälainen sen tulisi olla, jotta se palvelisi mahdollisimman hyvin sen käyttäjiä. Suunniteltavan työkoneen vaatimuslista löytyy liitteestä 1.

Työkoneen ratkaiseviksi merkityksiksi on ajateltu, että se olisi kuljettavissa jarruttomalla auton peräkärryllä. Normaalin yksi akselisen peräkärryn lavan sisäleveys on noin 1500 mm ja pituutta 3000–3500 mm. Tämä antaakin työkoneelle ulkoiset mitat. Jarruttoman auton peräkärryn maksimi paino saa olla enintään 750 kg, josta peräkärryn oma paino on 200–300 kg. Tällöin työkone suunnitelluksi painoksi on ajateltu olevan noin 200–400 kg. Sen lisäksi, että

työkone on kuljetettavissa auton peräkärryllä, sen tulisi kyetä kulkemaan vaikeakulkuisessa maastossa. Sen täytyisi pystyä pysähtymään mäessä ja lähtemään kuorman kanssa mäessä. Tämän lisäksi, jos työkoneella täytyisi kulkea mäkeä sivusuunnassa, olisi hyvä, jos kone korjaisi omaa painopistettä ylärinteeseen päin. Työkoneen on ajateltu olevan modulaarinen, eli siihen on kyettävä kytkemään monenlaisia työlaitteita. Näin voidaan saada suurempi käyttäjäkunta työkoneelle.

Laaditun tuotevaatimuslistan mukaan työkoneen toimintarakenne näyttäisi kuvion 2 mukaiselta. Toimirakenteita voitaisiin tehdä myös eri toiminnoista esimerkiksi jonkin työlaitteen toiminnasta.



kuvio 2 Suunniteltavan työkoneen toimintarakenne.

### 3 RUNGON SUUNNITTELU

Työkoneen rungon suunnittelussa vaihtoehtona on kaksi erilaista vaihtoehtoa. Putkirunko ja levyrunko. Levyrunko koostuu kokoonpantavista levyosista, jotka kiinnitetään hitsaamalla tai pulttiliitoksilla. Putkirunko koostuu taivutetuista ja suorista putken paloista, jotka ovat hitsattu yhteen. Tässä luvussa perehdytän molempien rakenteiden ominaisuuksiin ja niiden hyötyihin ja haittoihin.

#### 3.1 Rungon suunnittelua koskevat säädökset ja standardit

Rungon suunnittelussa tulisi ottaa huomioon muutamia standardeja, jotka liittyvät työkoneen turvallisuuteen. Tällaisia standardeja ovat mm. EN ISO 12100 koneturvallisuuden yleisstandardit. Standardissa otetaan kantaa mm. turvallisen suunnitteluntoimenpiteisiin, kuten geometriin tekijöihin ja koneensuunnittelua koskeviin yleiseen teknisien tietämyksen huomioonottamiseen.

Koneen suunnittelussa pitäisi huomioida, että käsiksi päästäviin osissa ei saisi olla teräviä reunoja tai ulkonevia osia taikka mitään muuta, mikä voisi aiheuttaa vamman (SFS, 2010, s. 28). Tällaisia vammoja aiheuttavat tekijät ovat erityisesti metallilevyjen reunat, jotka pitää taivuttaa tai pyöristää. Myös kaikki purseet tulisi poistaa. Suunnittelussa täytyisi huomioida myös erilaiset aukot, johon voi jokin kehon osa jäädä kiinni. Tällaisen tilanteen aiheuttavia avoimen putken päitä tulisi sulkea.

Koneensuunnittelua koskevat yleisen teknisen tietämyksiä voidaan saada standardeista, suunnitteluohjista, laskentasäännöistä, jne. (SFS, 2010, s. 29). Niiden kuitenkin tulisi kattaa mekaaniset rasitukset ja materiaalit ja niiden ominaisuudet.

Mekaanisten rasitusten osalta tulisi huomioida, että tämä kattaa oikeat laskenta-, valmistus ja kiinnitysmenetelmät (SFS, 2010, s. 29). Lisäksi ylikuorman rasituksen rajoittaminen ja muuttuvien rasitusten, kuten vaihtojännityksen alaisten osien väsymisen estäminen tulisi huomioida.

Materiaalien kohdalla tulisi huomioida materiaaleja heikentäviin pitkällä aikavälillä vaikuttaviin tekijöihin, kuten korroosioon tai kulumiseen. (SFS, 2010, s. 29)

Lisäksi rungon suunnittelussa olisi hyvä huomioida rungon valmistukseen liittyviä standardeja, kuten liitoksia koskevat standardit. Tällaisia standardeja voi olla esimerkiksi ISO 3834, joka kertoo hitsauksiin liittyvistä laatuvaatimuksista.

### **3.2 Levyrunko**

3–4 mm:n ainevahvuuksia on yleensä pidetty perinteisenä ohutlevykäsitteenä, mutta toisaalta monet ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmät suuremmillekin ainevahvuuksille (Matilainen ym., 2011, s. 3). Toisin sanoen ohutlevytuotteissa käytetyt rakenneratkaisut ovat yleispäteviä myös suuremmille ainevahvuuksille. Näin raskaampikin koneenrakennusteollisuus hyödyntää ohutlevyteknologiaa, kun halutaan keventää rakenteita rakenteen jäykkyyttä huonontamatta. Tällaisia rakenteita ovat mm. kenno- ja kotelorakenteet.

Levyrungon osat valmistetaan leikkaamalla teräslevystä levyleikkeitä, joko termisellä leikkausmenetelmällä tai mekaanisella leikkausmenetelmällä. Tämän jälkeen osat voidaan tavuttaa eli särmätä oikeaan muotoon.

Termisessä leikkaustavassa materiaali kuumennetaan korkeaan lämpötilaan, jolloin tapahtuu leikkaantumisen lämmöntonin sulamisen tai höyrystymisen tai näiden kaikkien yhteisvaikutuksesta (Matilainen ym., 2011, s. 142). Leikkaustapahtuman aikana puhalletaan kaasua leikkausrailoon, jolloin leikkausjätteet poistuvat railosta. Normaalisesti terminen leikkausmenetelmä on edullisempi menetelmä kuin mekaaninen leikkausmenetelmä ja yli 10 mm vahvuisilla materiaaleilla lähes ainut vaihtoehto. Termistä leikkausta suoritetaan polttoleikkauksella, plasmaleikkauksella tai laserleikkauksella. Mekaanisessa leikkausmenetelmässä leikataan mekaanisesti tuotetulla voimalla, joka voidaan tehdä erilaisilla terillä tai vesisuihkulla (mts. 169).

### **3.3 Putkipalkkirakenteinen runko**

Hyvää vääntölujuutta ja erisuuntaista taivutuskuormaa kestäväää rakennetta on helppo rakentaa putkipalkeista (Lepola & Makkonen, 2005, s. 396). Putkipalkin suljetun poikkileikkauksen ansiota putkipalkki kestää vääntömomentin aiheuttaman rasituksen. Tämän takia

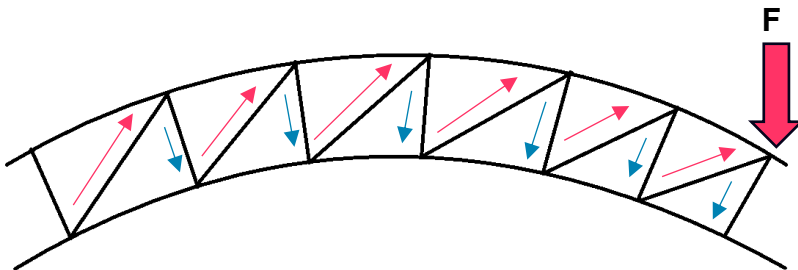
putkipalkkirakennetta käytetään mm. liikkuvan kaluston runkorakenteena. Erilaiset ristikko-, putkipalkkisilta ja kehärakenteet ovat yleisimpiä putkipalkkirakenteita (mts. 397).

Putkipalkkirungon osia valmistetaan samoin menetelmin kuin levyrunkoisen osia. Putkipalkkirungon osia voidaan leikata termisen leikkuumenetelmän tavoin, kuten laserleikkauksella, tai mekaanisesti, kuten sahaamalla. Myös putkipalkkirungon osia voidaan taivuttaa haluttuun muotoon.

### 3.4 Levy- ja putkiplakkirungon käyttö työkoneenrunkona

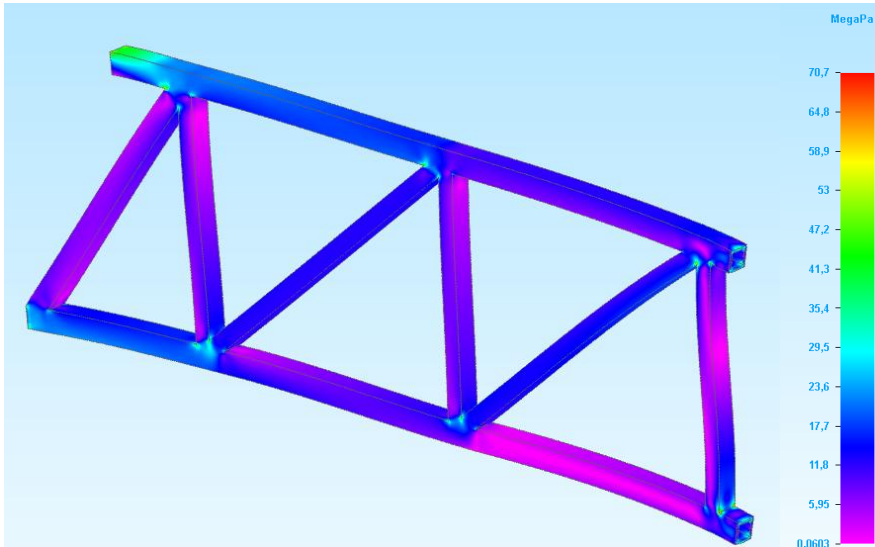
Levyrakenteinen ja putkipalkkirakenteinen käyttö työkoneen runkona on eroavaisuuksia. Eroavaisuudet tulevat näkyviin jäykkyydessä, painossa ja hinnassa.

Putkipalkkirakennetta kuormittaessa vääntökuormalla kuormittaa se palkkia tasaisesti (Leppola & Makkonen, 2005, s. 397). Putkipalkkirakenteissa käytetään niin sanottuja sidesauvoja, jotka voivat olla joko veto- tai puristuskuormitteisia (mts. 397).



kuva 1 Ristikkorakenne.

Kuvassa 1 on ristikko rakenne, jota kuormitetaan voimalla  $F$ . Kuvan 1 punaiset nuolet näyttävät, mitkä sidesauvat ovat vetokuormituksessa ja siniset mitkä ovat puristus kuormituksessa.

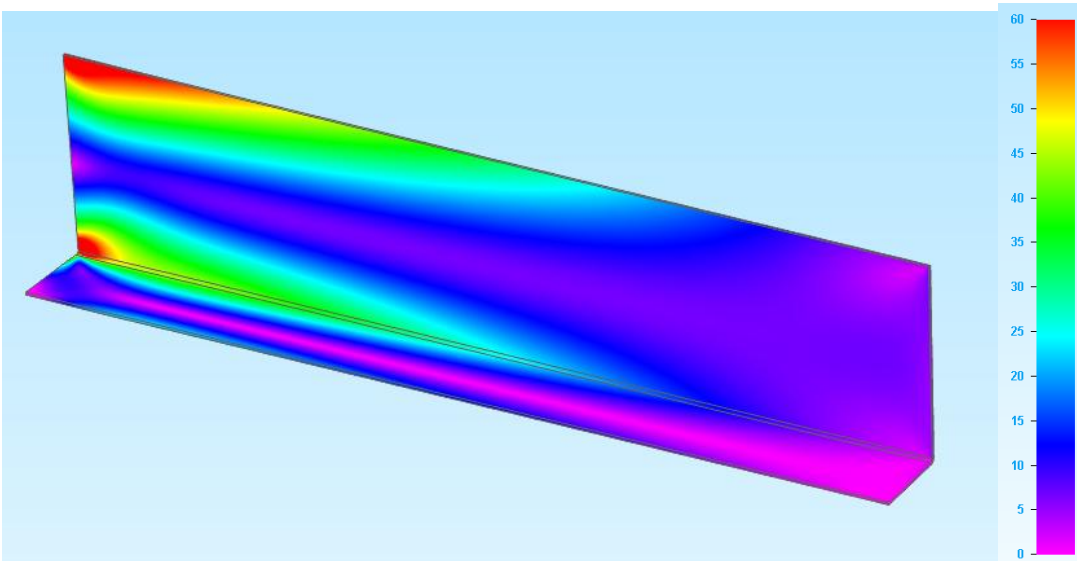


kuva 2 Ristikkorakenteen FEM-simulointi.

Kuvassa 2 on vielä simuloitu eräänlaista ristikkorakennetta. Ristikkorakenne on sidottu jäykästi toisesta päästä ja kuormitetaan toisesta päästä 200 kg. Näin rakenteeseen muodostuu simuloinnissa keskimäärin 17 MPa jännitys eli jos materiaalina olisi esimerkiksi rakenneteräs S355, jolloin rakenne kestäisi rasituksen. Rakenteessa olevat putkipalkit ovat 25 x 25 x 3 neljöputkea, jotka sittemmin muodostavat rakenteen, jonka koko on 325 x 1005 x 25. Näin rakenteen painoksi muodostuu n. 7,5 kg. Rakenne kestää siis suurtakin kuormitusta omaan painoonsa nähden.

Työkoneen rakenteena putkipalkkirakenne antaisi siis matalan painon, mutta hyvän kestävyys-työkoneen rungolle. Työkoneen maksimi painoksi on suunniteltu n. 500 kg, joten putkipalkkirakenne sopisi hyvin runkorakenteeksi. Työkoneen liikkuessa maastossa kohtaa runkomonenaista rasitusta ja sen täytyisi kyetä kantamaan vielä kuormaa samaisessa olosuhteissa.

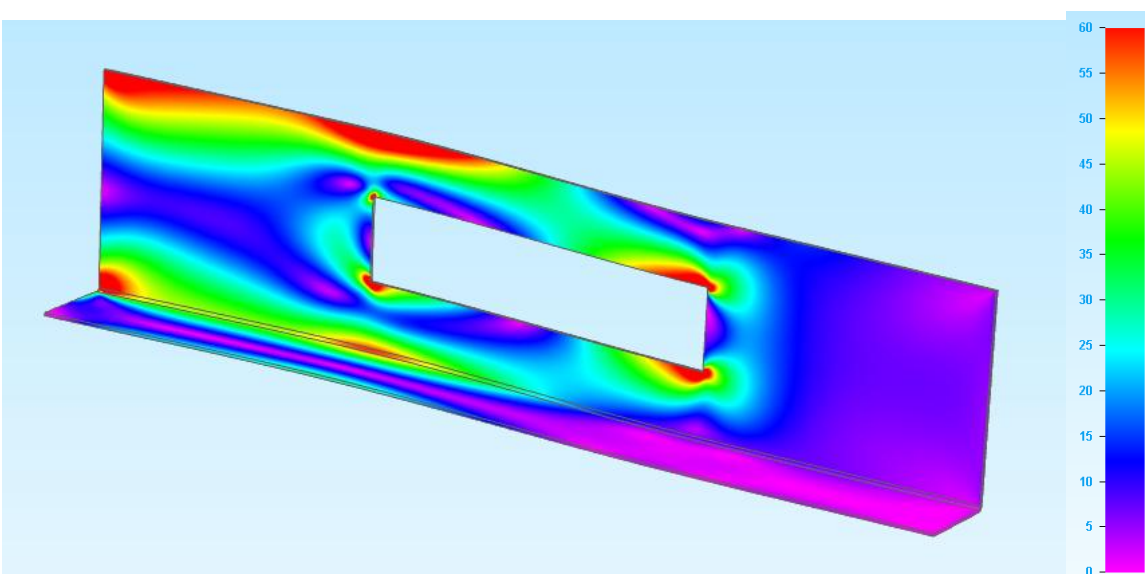
Levyrakenteen kotelomainen rakenne antaisi paremman rakennesuojan maastossa liikkuvälle koneelle kuin putkipalkkirakenteinen. Lisäksi se tarjoaa mahdollisuuden käyttää monimutkaisempia runkoratkaisuja, kun levyosia voidaan taivuttaa monenlaisiin erimuotoihin. Levyrakenteisen rungon huonona puolena on se, että levyrakenteinen runko tuo koneelle enemmän painoa kuin putkipalkkirakenne.



kuva 3 Levyosan FEM-simulointi.

Kuvassa 3 on simuloitu eräänlaista levyosaa, johon on särmätty 100 mm leveä sivu jäykistämään rakennetta. Levyosan koko on 100 x 1005 x 225 ja levyosan paksuus 3 mm. Näin levyosa painaa suurin piirtein saman verran kuin kuvassa 3 oleva putkipalkkirakenne. Levyosa on kuormitettu samalla painolla kuin kuvassa 4 ja tuettu samalla tapaa. Levyosa kuormittuu kuormituksessa keskimäärin n. 22 MPa, eli levyosa kestäisi rasituksen.

Toisaalta levyrunko on myös hyvin tiivis rakenne, jolloin siihen joutuu leikkaamaan aukkoja läpivienneille ja huolto aukoille. Tämä voi merkittävästi heikentää rakenteen jäykkyyttä.



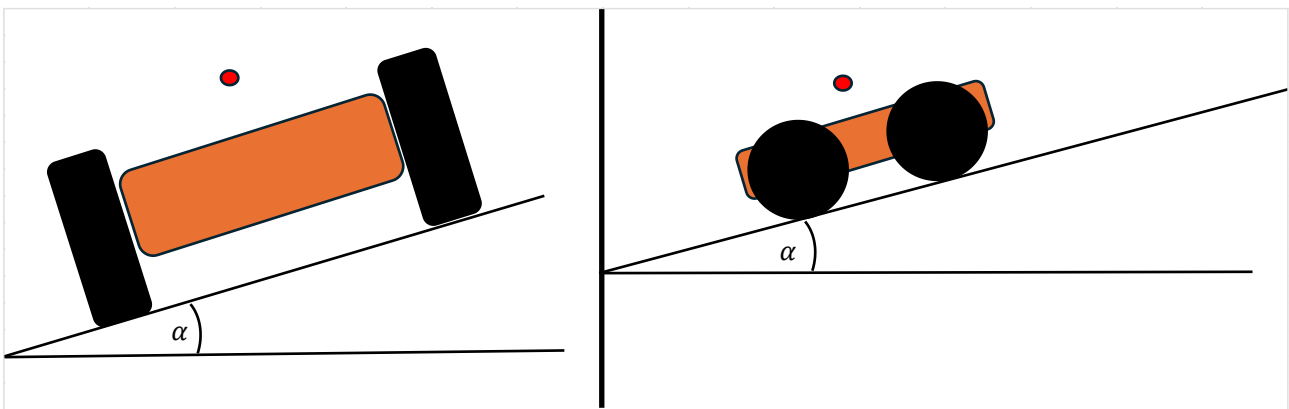
kuva 4 Levyosan simulointi, kun osaan leikattu pala irti

Kuva 4 osoittaa kuinka leikkaus levyosassa vaikuttaa sen jäykkyyteen. Jotta tämä voitaisiin välttää, pitäisi kappaleeseen liittää vahvikepaloja tai monimutkaistaa rakennetta. Nämä tuovat myös omalta osaltaan lisää hintaa rungolle.

Suunniteltava työkone täytyisi olla mahdollisimman kevyt, jolloin levyrakenteinen ei välttämättä ole hyvä valinta, mutta työkone on suunniteltu tekemään töitä paikoissa, jossa se voisi tarvita hyvää suojausta.

## 4 TYÖKONEEN ALUSTARAKENNE

Suunniteltavan työkonteen tulisi kyetä liikkumaan vaikeakulkuisessa maastossa. Vaikeakulkuisessa maastossa on yleensä esteitä, kuten kiviä, puita ja kantoja, mutta myös maaston epätasaisuutta. Kivet, puut, kannot ja epätasainen maasto pyrkivät kallistelemaan konetta ja voivat myös pahimmassa tapauksessa kaataa koneen. Suunniteltavaa työkonetta pyritään suunnittelemaan sellaiseksi, mikä pystyy ohittamaan tai kiipeämään esteiden yli sekä huomiomaan mahdollisimman hyvin eri maastonepätasaisuuksia. Niin kuin kuvassa 5 näytetään työkone voi maaston epätasauuden takia kallistua sivuttaissuunnassa tai pituussuunnassa.



kuva 5 Työkoneen kallistumistilanteet.

### 4.1 Alustaa koskevat säädökset ja standardit

Yleisen koneturvallisuuden standardissa sanotaan, että koneiden vakaus olisi suunniteltava niille tarkoitettuun käyttöympäristöön ja olosuhteisiin (SFS, 2010, s. 30). Koneen vakautta heiluttelevia tekijöitä ovat mm:

- Maanpinnalaatu ja kaltevuus
- Painopisteen heilahtelut
- Painon jakautuminen mukaan lukien kuorma.
- Dynaamiset voimat, jotka aiheuttavat kaatumismomentin.

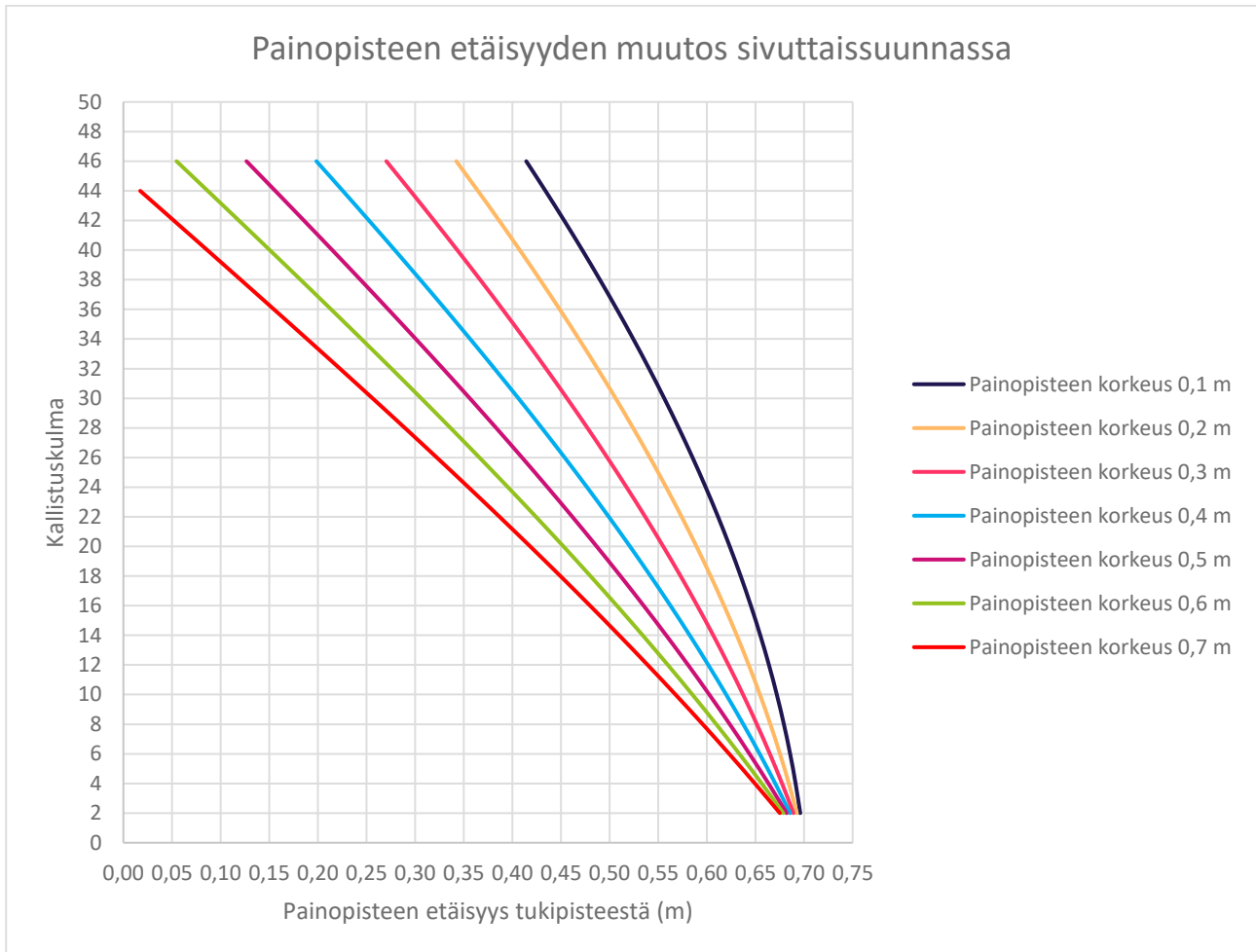
Dynaamiset voimat, jotka aiheuttavat kaatumismomentin voivat olla esimerkiksi koneen kannatteleva kuorma, jokin koneen osa, jonka liikkuesssa koneen vakaus voi vaihdella tai itse kone, jolla voi olla korkea painopiste.

Vakautta tulisi saavuttaa ensisijaisesti luontaisesti turvallisilla suunnittelutoimenpiteillä, jollainen voi olla esimerkiksi painon jakaminen suuremmalle alueelle, jolloin painopiste on alempana (Suomen Standardoimisliitto (SFS), 2010, s. 44). Muita vakautta ylläpitäviä toimia ovat:

- Lukkolaitteiden asennus
- Liikkeenrajoittimia tai mekaanisia rajoittimia
- kiihtyvyyden tai hidastuvuuden rajoittimia, kuten erilaiset jarrut
- kuorman rajoittimia
- Hälyttimiä, jotka ilmoittavat vakavuus- ja kaatumisrajojen lähestymisestä.

## 4.2 Työkoneen painopisteen paikka

Työkoneen liikkuesssa maastossa sen painopisteen paikka vaihtelee sen mukaan, mikä on maaston kaltevuus. Työkone pysyy pystyssä niin kauan kuin sen painopiste ei ylitä sen tukipisteitä. Kuvassa 7 painopiste on merkitty punaisella pisteellä ja sen tukipisteinä toimii renkaat. Kuviosta 1 nähdään, kuinka painopisteen paikka vaihtuu, kun työkoneella ajetaan kaltevutta sivuttain, niin kuin kuvassa 7 vasemmanpuolinen kuva.



kuvio 3 Painopisteen etäisyyden muutos sivuttaissuunnassa

Mitä korkeammalla on työkonen painopiste, sitä suuremmat ovat painopisteen liikkeet. Painopisteen merkitys myös pituussuunnassa on merkittävä esimerkiksi, kun kone liikkuu ylämäkeä pitkin, niin kuin kuvassa 5 on näytetty oikeanpuoleisessa kuvassa. Painopisteen etäisyyden muutos tukipisteeseen voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\Delta x(\alpha) = \cos(\alpha)(b - (\tan(\alpha) h)) \quad (1)$$

missä:

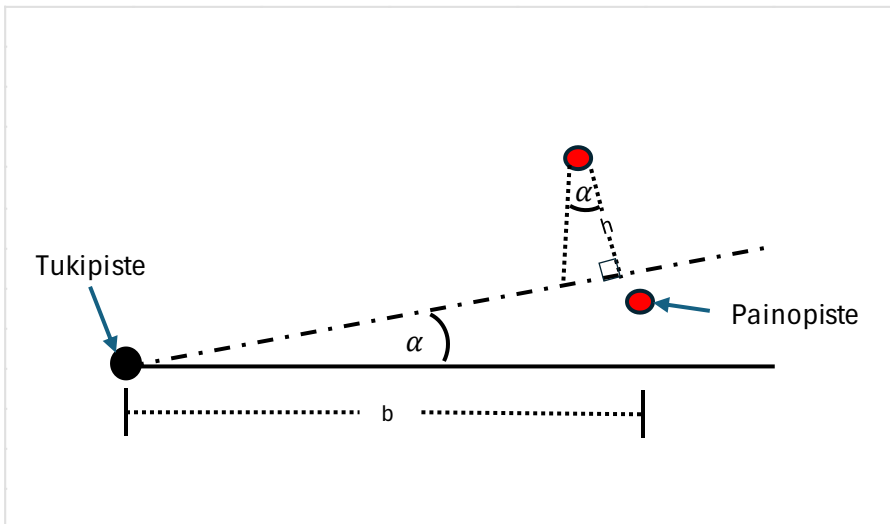
$\Delta x$  on painopisteen etäisyyden muutos (m)

$\alpha$  on kaltevuuskulma (aste)

$b$  on painopisteen etäisyys tukipisteestä (m)

$h$  on painopisteen korkeus (m)

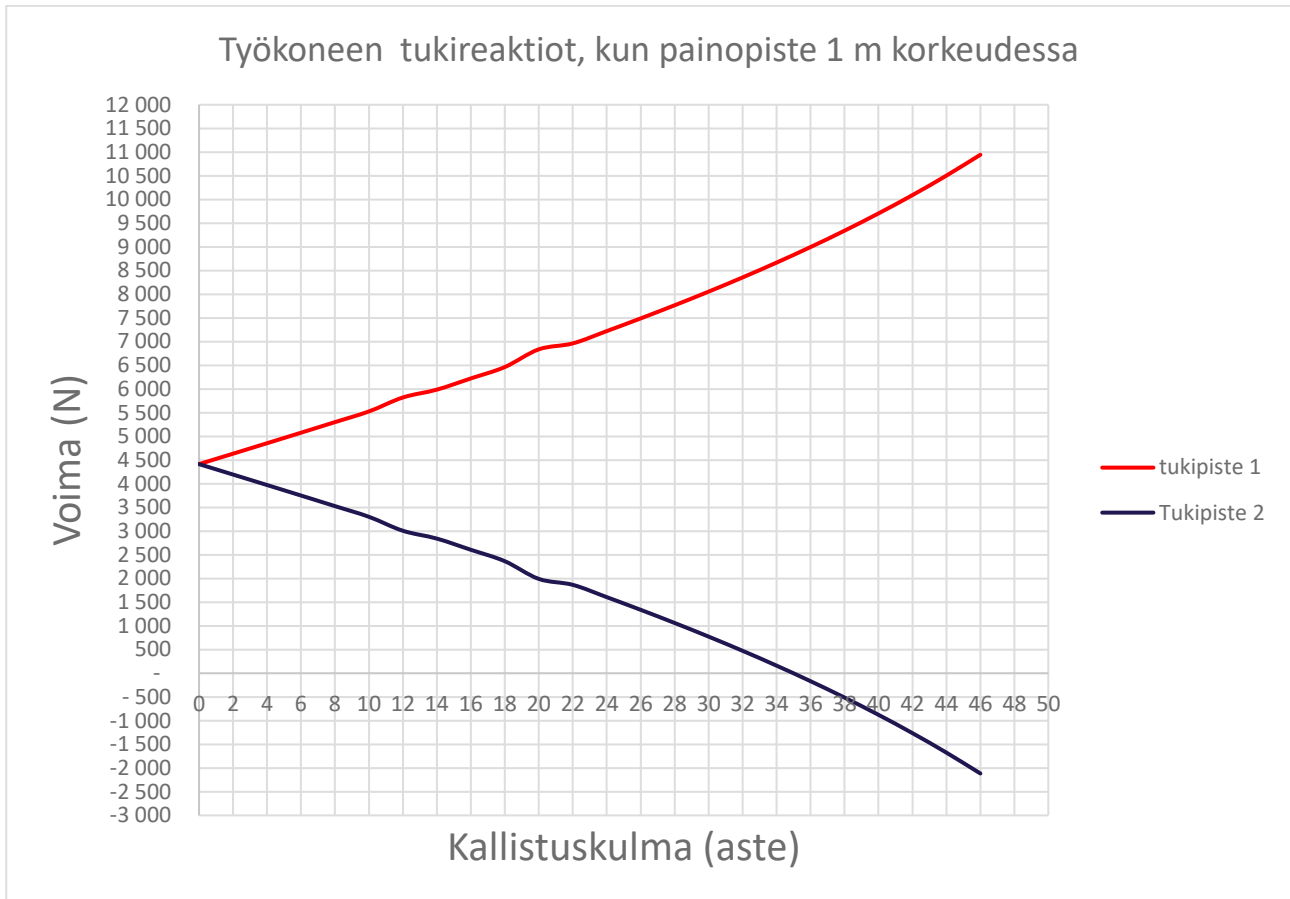
Kuviossa 3 on ajateltu, että koneen leveys olisi tukipisteestä tukipisteeseen 1 400 mm ja sen painopiste olisi saatu asetettua sen keskivaiheelle, jolloin sen etäisyys olisi 700 mm. Kuvassa 8 on vielä näytetty vapaakappalekuvana tilanne, kuinka työkoneen kallistuminen siirtää painopistettä.



kuva 6 Vapaakappalekuva kallistumistilanteesta.

### 4.3 Painopisteen paikan vaikutus pintapaineeseen

Työkoneet voivat joutua liikkumaan myös pehmeillä maapinnoilla, kuten suopohjaisilla alueilla. Tällaisissa paikoissa painopisteen vaihtelu voi alkaa upottamaan konetta maahan, kun työkoneen toisella puolella olevien pyörien alla oleva maapinta kohtaa suuremman pintapaineen. Kuvan 5 oikeanpuoleisessa kuvassa näytetään tilannetta, jossa toiset renkaat aiheuttavat suuremman pintapaineen maanpintaan, kun työkone alkaa kallistumaan. Työkone voi kallistua sen ylittämästä esteestä, mutta se voi kallistua vielä lisää, kun koneen toisen puolen pyörät alkavat painumaan maahan. Kuvio 4 havainnollistaa vielä kuvan 5 oikeanpuoleista tapahtumaa. Kuviossa 4 punainen käyrä esittää vasemmanpuolisia renkaita ja sininen oikeanpuolisia renkaita. Kuten kuviossa 4 voidaankin nähdä, sininen käyrä menee 35 asteen kohdalla negatiivisiin lukemiin, jolloin se tarkoittaa, että työkone alkaa kaatumaan.



kuvio 4 Työkoneen tukireaktiot

Tukipisteet 1 ja 2 voidaan laskea kaavoilla:

$$Tukipiste\ 2 = \frac{mg \cos(\alpha) L_1}{\cos(\alpha) L_2} \quad (2)$$

$$Tukipiste\ 1 = \frac{mg \cdot \cos(\alpha) + tukipiste\ 2 \cos(\alpha)}{\cos(\alpha)} \quad (3)$$

missä:

$m$  on työkoneen massa (kg)

$g$  on maanvetovoima ( $m/s^2$ )

$\alpha$  on kallistuskulma (aste)

$L_1$  on painopisteen etäisyys tukipisteeseen (m)

$L_2$  on tukipisteiden välinen etäisyys (m)

Kaavassa oleva  $L_1$  arvo saadaan laskettua kaavan 1 tavoin ja  $L_2$  arvo saadaan kaavalla:

$$L_2 = \text{tukipisteiden välinen etäisyys} * \cos(\alpha) \quad (4)$$

Missä:

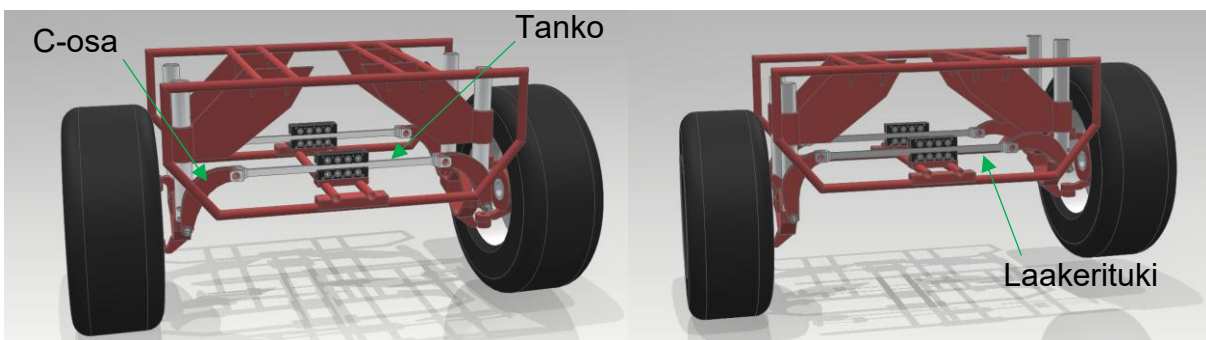
$\alpha$  on kallistuskulma (aste)

#### 4.4 Ratkaisuja painopisteen heilahtelujen vähentämiseen

Painopisteen heilahtelujen vähentäminen vakauttaisi työkoneneen liikettä vaikeakulkuisessa maastossa. Se mahdollistaisi suurempien kuormien kuljettamisen, vaikka työkonene kuljisi vaikeassakin maastossa sekä vähentäisi maahan kohdistuvaa pintapainetta.

Työkoneneessä tulisi olla ratkaisu, joka korjaisi kallistuskulman, jolloin paino siirtyisi niille renkailla, jotka ovat irtoamassa maanpinnasta. Ratkaisuksi tähän on ideoitu mekaanista tai hydraulista kallistuksenkulman korjausta.

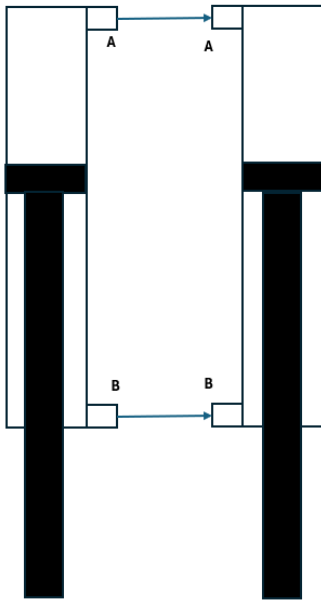
Mekaanisessa ratkaisussa pyörien väliin tulisi tangot, jotka ohjailisivat renkaiden korkeutta. Tankojen päissä olisi C kirjaimen muotoinen levyosa, joka työntää tai vetää tankoja, jolloin renkaat voisi liikkua pystysuoraan.



kuva 7 Mekaaninen ratkaisu.

Kuvassa 7 havainnollistetaan, kuinka mekaanisen kallistuskulman korjausratkaisu toimii. Ratkaisu olisi helppo ja yksinkertainen toteuttaa, mutta jotkin osat tarvitsisivat koneistusta, joka nostaisi ratkaisun hintaa. Tankojen puoliväliin olisi asennettava, jonkinlainen tukilaa-kerointi, jotta tangot saadaan kulkemaan vaakasuorasti.

Hydraulisessa kallistuksenkulman korjauksessa mekaanisen ratkaisun paikalla on hydraulikkasyylinterit. Hydraulisessa ratkaisussa tarvitaan jonkin verran automaatiota, jotta voidaan kallistuskulmaa säätää oikean aikaan. Kallistuksen kulmaa voitaisiin tutkia antureiden avulla, kuinka korkealle pyörä nousee tai laskee. Tällä tiedolla voitaisiin säätää toista tai toisien pyörien korkeuksia. Toisaalta sylinterit voidaan kytkeä ristiin, jolloin sylinterin a tilasta menee neste toisen sylinterin a tilaan ja b tilasta b tilaan. Kuvassa 8 on esitetty tilanne, jossa on toteutettu sylintereiden ristiin kytkeminen.

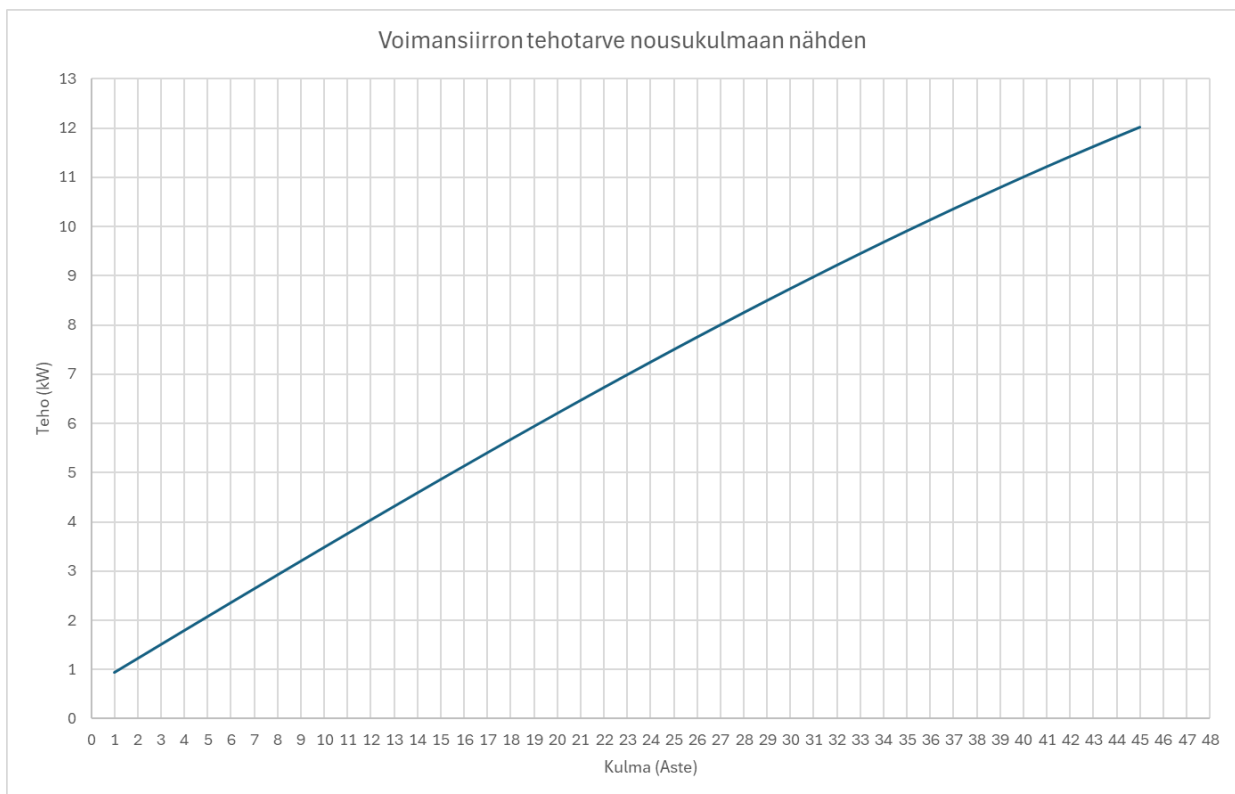


kuva 8 Ristiin kytketyt sylinterit.

## 5 VOIMANSIIRTO

Voimansiirrossa on tarkoituksena siirtää voimaa tuottamalta elimeltä haluttuun paikkaan. Tässä tapauksessa moottorilta pyörille. Vaikeakulkuinen maasto tulee haastamaan voimansiirtoa monella tavalla. Maastossa tulisi työkoneen kyetä kulkemaan mäkiä ylös tai alaspäin sekä ylittää esteitä, kuten kiviä ja kantoja. Suunniteltavaan työkoneeseen on ajateltu muutamia eri vaihtoehtoja, millä voitaisiin toteuttaa voimansiirto. Näitä ovat mekaaninen, hydrostaattinen ja sähköinen voimansiirto.

Kuvio 5 näyttää, kuinka paljon voimansiirto tarvitsee tehoa, kun maaston nousukulma kasvaa. Työkoneen tulisi selviytyä n.100 % kaltevuudesta, joka on n.45 asteen nousu. Tämä tarkoittaa sitä, että työkoneen, joka on täydessä kuormassa ja kulkee mäkeä ylös n. 10 km/h nopeutta, jolloin voimansiirron tuottama teho pyörille tulisi olla vähintään 12 kW.



kuvio 5 Voimansiirron tarve nousukulmaan nähden

Tarvittava teho nousukulmaan nähden on laskettu laskemalla ensin tarvittava voima kaavalla:

$$F(\alpha) = mgsin(\alpha) + mg \cos(\alpha) \mu \quad (5)$$

Missä:

$m$  on työkoneen massa (kg)

$g$  on gravitaatio ( $m/s^2$ )

$\alpha$  on nousukulma ( $^\circ$ )

$\mu$  on vierintävastuskerroin

Vierintävastusarvona on käytetty 0,04 ja työkoneen massa kuorman kanssa on 600 kg.

Kun tarvittava voiman on laskettu, lasketaan tarvittava teho:

$$P(F) = Fv \quad (6)$$

Missä

$F$  on voima (N)

$v$  on työkoneen nopeus (m/s)

## 5.1 Voimansiirtoa koskevat säädökset

Voimansiirron suunnittelussa voidaan soveltaa koneasetusta 1230/2023, jossa kerrotaan voimansiirtoon liittyvistä turvallisuusvaatimuksista.

Voimansiirron liikkuvien osien aiheuttamat vaarat on suojattava kiinteillä suojauksilla tai avattavilla toimintaan kytketyillä suojuksilla, jos ennakoidaan, että näihin osiin pääseminen on useasti toistuvaa (Euroopan parlamentin ja neuvoston koneasetus 2023/1230).

Avaaminen tai irrotus tulisi olla mahdollista ainoastaan työkaluilla kiinteiden suojien kiinnitysjärjestelmässä (Euroopan parlamentin ja neuvoston Koneasetus 2023/1230). Suojauksia avatessa tai irrottaessa kiinnitysjärjestelmät on oltava kiinnitettynä joko koneeseen, suojiin tai johonkin vastaavanlaiseen tuotteeseen. Niiden täytyisi olla myös sellaiset, että ne eivät pysy paikallaan ilman kiinnittämistä. Koneturvallisuuden yleisstandardi huomauttaa, että kiinteänkin suojan voi saranoida (SFS, 2010, s. 46)

Avattavat suojat, jotka on toimintaan kytkettyjä, on suunniteltava koneeseen kiinni, kun ne ovat avattuina ja säädettävissä ainoastaan tarkoituksen sopivin toimin (Euroopan parlamentin ja neuvoston koneasetus 2023/1230). Avattavissa suojuissa on oltava kytkentälaitte, joka estää

koneen toimimisen tai antaa pysäytyskäskyn, kun suoja on avattu tai avataan. Kytkentälaitteen puuttuminen tai sen osan vikaantuminen tulisi myös pysäyttää tai estää koneen käyttö.

## 5.2 Mekaaninen voimansiirto

Mekaaninen voimansiirto siirtää mekaanisesti liikkuvien komponenttien avulla energianlähteestä tuotettua tehoa ja vääntömomenttia vastaan ottavaan komponenttiin, jotka voivat olla, joko suorassa kosketuksessa tai välillisen komponentin avulla (Braidwood i.a). Energian siirto voidaan mekaanisesti toteuttaa akselivälityksellä, missä pyörivä akseli siirtää vääntömomenttia, hihnavälityksellä tai ketjuvedolla, joilla siirretään mekaanista energiaa tuottavalta laitteelta haluttuun paikkaan (Engineering product design, 2021). Mekaaninen voimansiirto siirtää tehoa ja vääntömomenttia tehokkaasti, lisäksi sen avulla voidaan muuttaa pyörimisliike lineaariseksi liikkeeksi.

### 5.2.1 Akselilla toteutettu voimansiirto

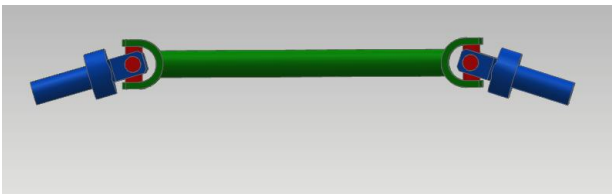
Siirrettäessä tehoa ja vääntömomenttia moottorilta ja vaihteistolta, jotka sijaitsevat eri paikassa kuin vetävät akselit, voidaan vetäville akseleille siirtää tehoa ja vääntömomenttia voimaa siirtävän akselin tai akseliston avulla (Karhima, 2011, s. 168). Ajoneuvoissa ja työkonneissa, joissa käytetään akseleilla toteutettua voimansiirtoa, käytetään useimmiten nivellettyjä akseleita, jotka mahdollistavat osien välisen liikkeen. Akselit joutuvat kestäämään kovaa vääntöä, jolloin ne ovat valmistettu suurihalkaisijaisesta ohutseinäisestä teräsputkesta. Tämä antaa akselille hyvän väännön kestävyuden sekä kevyen painon.

Nivelakselit jaetaan kahteen pääryhmään, ristinivelet ja joustavat nivelet (Karhima, 2011 s. 171). Ristinivelet, jotka mahdollistavat kulmanvaihtelut ja yhdensuuntaisuuden eritasoissa ja joustavat nivelet, jotka antavat näiden lisäksi akselin suuntaiset liikkumisen mahdollisuudet sekä joustoa pyörimissuunnassa.

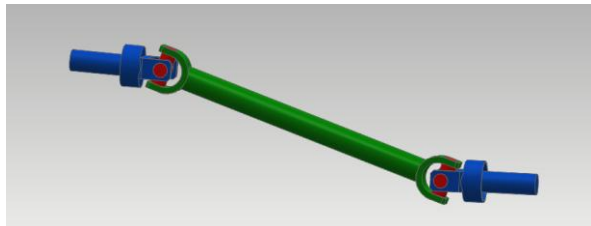
Ristinivelissä on keskellä nivelristi, joka siirtää vääntömomenttia vääntiöstä nivelakseliin ja sallii suhteellisen suuren murtokulman (Karhima, 2011 s. 171). Murtokulma voi olla suurimmillaan n.15 astetta. Ristinivelessä yhdistyvät akselit eivät pyöri samaan tahtiin. Esimerkiksi käytävä akseli pyörii vakionopeutta, ei käytetty akseli pyörii samaan tahtiin, vaan sen nopeus muuttuu eri vaihekulmissa. Mitä suurempi murtokulma nivelessä, sitä suuremmat

ovat nopeudenmuutokset. Nopeudenmuutoksia tulisi kuitenkin välttää, koska se aiheuttaa lisärasitusta voimansiirtolaitteille ja lisää käyntiääntä. Nopeudenmuutoksien poistamiseksi täytyy nivelakselin toiseen päässä olla myös ristinivel 90 asteen vaihekulmassa toiseen ristiniveleen nähden (mts.172).

Nivelakselia asentaessa olisi huomioitava, joutuuko käytettävä akseli liikkumaan pystysuunnassa, jolloin olisi käytettävä Z- asennustyyliä (Karhima, 2011 s. 173). Jos akselit eivät joudu liikkumaan voidaan soveltaa W- asennustyyliä.

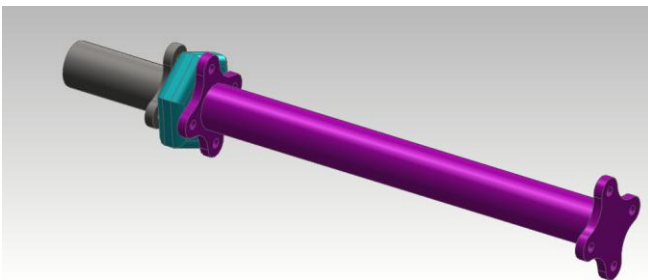


kuva 9 W asennus.



kuva 10 Z asennus.

Vaihteiston jälkeen ensimmäisenä nivelenä voidaan myös käyttää kumista tai monikerroksisesta kudoksesta valmistettuja joustoniveleitä (Karhima, 2011 s. 174). Niillä voidaan vähentää moottorin aiheuttamia värähtelyjä ja korjata pieniä kulmavirheitä, mutta sallivat ristiniveltä huomattavasti pienemmän murtokulman n.5 astetta.



kuva 11 Joustonivel.

Voimansiirtoa suunnitellessa, missä voimansiirto tapahtuu nivelakselin avulla, tulisi huomioida, kuinka akseli on tuettu (Karhima, 2011 s. 176). Nivelakselin taipuessa alkaa se aiheuttamaan epätasaista pyörimistä, joka rasittaa voimansiirtolaitteita sekä pitää kovaa käyntiääntä. Tämän takia kovin pitkiä eivät nivelakselit voi olla. Useimmiten nivelakselisto on kasaantunut kahdesta tai kolmesta osasta. Liitosten kohdalla sijoitetaan askelin kannatinlaakerit, jotka on asennettu joustavasti runkoon.

### 5.2.2 Hihnakäytöllä toteutettu voimansiirto

Hihnakäyttö voi toimia monilla eri nopeus- ja tehoalueilla ja sillä on hyvä hyötysuhde (Fractory, 2022). Hihnakäytön hankintahinta on edullinen verrattuna ketjuvetoon sekä myös huoltokustannukset, koska siinä hihnapyörät kuluvat vähemmän kuin ketjuvedossa ketjuhammaspyörät. Ketjukäyttöön verrattuna hihnakäyttö on paljon hiljaisempi.

Hihnakäytössä on useita eri käyttötyyppejä, kuten avoin hihnakäyttö, jossa hihnapyörät kulkevat samaan suuntaan, tai yhdistelmähihnaveto, joka koostuu useammasta akselistasta ja hihnapyörästä.

### 5.2.3 Ketjukäytöllä toteutettu voimansiirto

Ketjukäytöllä toteutetussa voimansiirrossa voimansiirtoketjun lenkit osuvat ketjupyörän hampaisiin ja kun ratasta pyörittää, liikuttaa se ketjua eteenpäin, jolloin ketju siirtää mekaanista voimaa eteenpäin toiselle ketjuhammaspyörälle (The engineering choice, i.a).

Voimansiirto ketjukäytöllä voidaan toteuttaa, kun akselien väli on lyhyt. (The engineering choice, i.a) Ketjukäyttö antaa hyvän hyötysuhteen voimansiirtoon ja ne on helppo asentaa sekä niiden huoltokustannukset ovat matalat. Toisaalta ne tarvitsevat säännöllistä huoltoa ja tarkkaa asennusta, jotta ketjut pysyvät paikallaan.

Ketjukäytöllä toteutettuun voimansiirtoon käytetään kolmea erilaista ketjutyyppeä: rullaketju, hiljainen ketju ja holkkirullaketju. Rullaketju sopii hyvin, jos nopeudet ovat matalat, kun taas holkkirullaketjut ovat vahvoja ja sopivat hyvinkin nopeille nopeuksille ja eri olosuhteisiin. (The engineering choice, i.a) Hiljainen ketju toimii nimensä kaltaisesti eli se liikkuu hiljaa ja pystyy kantamaan suurta raskautta suurilla nopeuksilla.

### 5.2.4 Ketjukäytön ja hihnakäytön voimansiirron laskenta

Ketju- ja hihnakäytön voimansiirrossa siirretään tyypillisesti voimaa pyörältä toiselle. Joskus on tarpeen lisätä voimaa ja vähentää nopeutta, jolloin joudutaan muuttamaan välityssuhteita, joka voidaan laskea ketju- tai hihnapyörien suhdelukuina. Suhdeluvut voidaan laskea vertailemalla pyörien nopeuksia, pyörien kokoja tai ketjupyörän hampaiden lukumäärää.

$$i = \frac{v_1}{v_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad (7)$$

Missä

$v$  on pyörän nopeus (m/s)

$d$  on halkaisija (mm)

$z$  on hammasluku

Vääntömomentti lasketaan voima kertaa sen kohtisuora etäisyys voiman vaikutuspisteeseen.

$$M = Fr \quad (8)$$

Missä

$F$  on voima (N)

$r$  on etäisyys voiman vaikutuspisteeseen (m)

Välityssuhteen avulla voidaan laskea, kuinka paljon käytävä pyörä siirtää vääntömomenttia käytettävälle pyörälle. Tämä voidaan laskea kaavalla:

$$M_2 = M_1 i \quad (9)$$

Missä

$M_1$  on käytävän pyörän vääntömomentti (Nm)

$i$  on välityssuhde

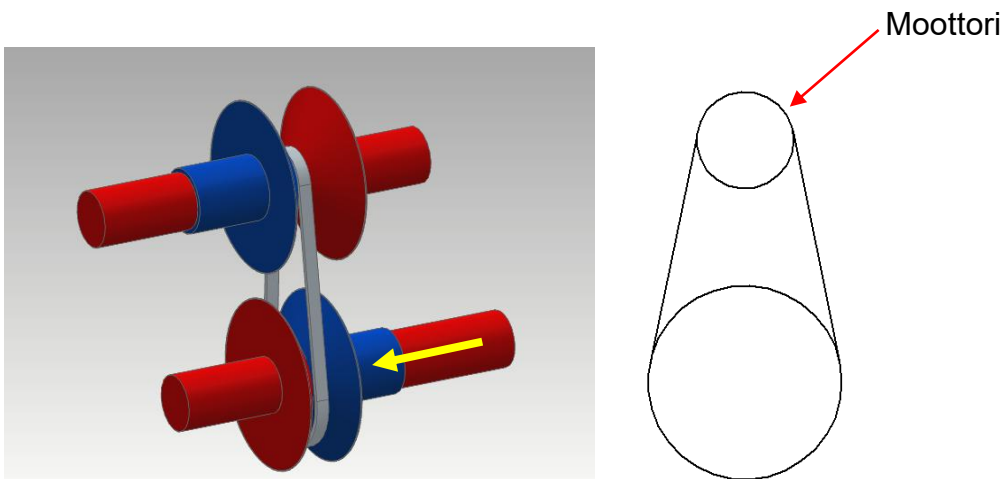
Eli, kun halutaan lisätä vääntömomenttia ja vähentää käytävän pyörän nopeutta, täytyy käytävän pyörän kokoa tai nopeutta kasvattaa ja käytävän pyörän kokoa pienentää tai nopeutta vähentää. Tässä tulisi kuitenkin muistaa, että ketju- ja hihnakäytöllä ei ole 100 % hyötysuhdetta.

### 5.2.5 Portaaton CVT-vaihteisto

Edellisessä kappaleessa on käytössä vain yksivälityssuhde, mutta todellisuudessa suunniteltavassa työkonessa tarvitaan useampia eri välityssuhteita eri tilanteissa (Karhima, 2011 s. 123). Näitä voi tarjota portaaton CVT vaihteisto.

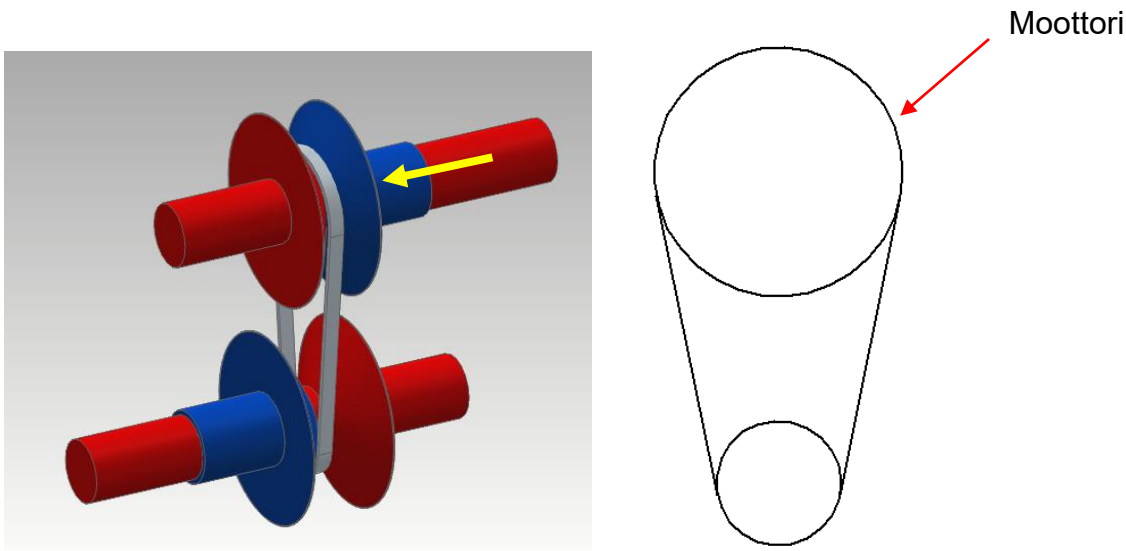
CVT vaihteistossa välityssuhde vaihtelee 2,50 ja 0,50 välillä portaattomasti. Vaihteiston toiminta perustuu teräslevyistä ja kahdesta teräsnauhasta koostuvan hihnan puristukseen kahden kartiomaisen hihnapyörän toimesta (Karhima, 2011 s. 124). Kartiomaiset hihnapyörät on kiinnitetty kahdelle akselille, joista toinen on käytävä ja toinen käytettävä. Kartiopyörät ovat akselilla pareittain siten, että ne muodostavat V-Muodon. Toinen pyöräparista liikkuu akselin suunnassa öljynpaineen avulla. Öljynpaineen liikuttaessa kartiopyörää, puristaa se teräslevyt kartiopyörän väliin, joka aikaansaa kitkavoiman kartiopyörän ja hihnan välillä. Näin hihnan ei luista, vaan siirtää voimaa käytävältä akselilta käytettävälle.

Liikkeelle lähdössä tarvitaan hidasta nopeutta, mutta suurta vääntömomenttia, jolloin käytävän akselin liikkuvaa kartiopyörää liikutetaan öljyn paineella kohti paikalla olevaa kartiopyörää (Karhima, 2011 s. 124). Tällöin käytävän akselin liikkuvassa kartiopyörässä ei ole öljynpainetta, jolloin se liikkuu kauemmaksi paikallaan olevasta kartiopyörästä. Näin välityssuhde on suurimmillaan.



kuva 12 CVT-vaihteiston toiminta alhaisilla nopeuksilla.

Kun nopeus kasvaa, myös käytävän akselin liikkuvaa kartiopyörää aletaan painamaan öljynpaineella kohti paikallaan olevaa kartiopyörää (Karhima, 2011 s. 124). Samalla käytettävältä puolelta öljynpaine vähenee, jolloin kartiopyörä pääsee liikkumaan kauemmaksi toisesta pyöräparista. Näin välityssuhde on pienimmillään.



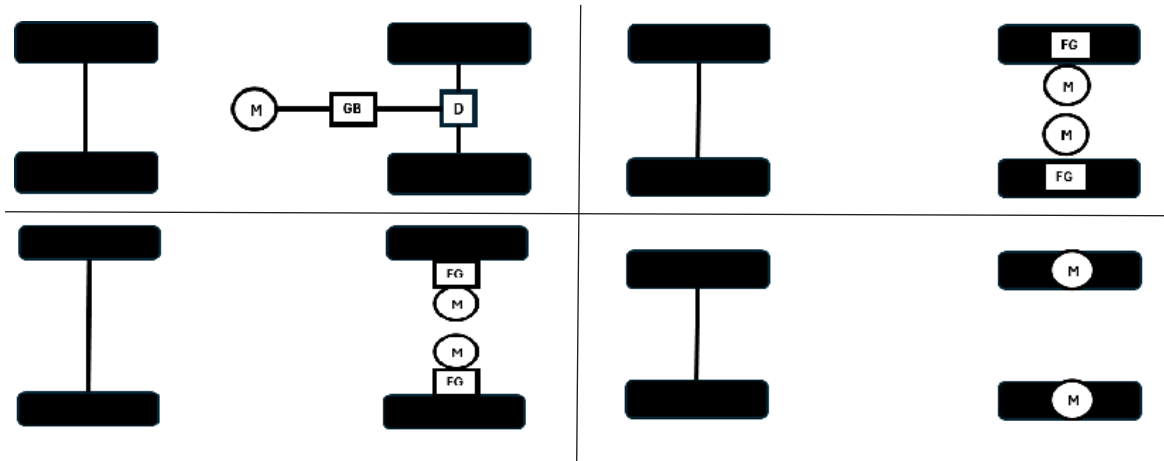
kuva 13 CVT-vaihteiston toiminta nopeilla nopeuksilla

### 5.3 Mekaaninen voimansiirto suunniteltavassa työkoneessa

Mekaaninen voimansiirto voisi olla tehokas, halpa ja edullinen vaihtoehto suunniteltavan työkonen voimansiirroksi. Se olisi myös painon puolesta kevyt vaihtoehto. Siinä on jonkin verran kuluvia osia, mutta ovat hankinta hinnaltaan edullisia. Näin ollen mekaaninen voimansiirto olisi hyvä vaihtoehto suunniteltavan työkonen voimansiirroksi, kun halutaan pitää hankinta hinta alhaisena. Mekaanista voimansiirtoa on helpompi huoltaa verrattuna sähköiseen tai hydrostaattiseen ja se ei välttämättä tarvitse ammattilaishenkilöä huoltamaan, jos käyttäjä osaa itse tehdä tarvittavat huoltotoimenpiteet. Mekaanisen voimansiirron huolto voidaan tehdä, vaikka keskellä metsää, jos vain tarvittavat työkalut ovat mukana.

### 5.4 Sähköinen voimansiirto

Sähköinen voimansiirto rakentuu sähköisistä toimilaitteista, joiden ominaisuuksia voidaan optimoida. Energiavarojen, kuten akkujen tai polttokennojen ja sähköistenkäyttöjen, kuten sähkömottoreiden avulla voidaan muuntaa sähköinen energia mekaaniseksi energiaksi eli pyörimiseksi. Tämä voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla, jonka kuva 14 näyttää. Kuvassa 14 Sähköisen voimansiirron sähkömoottori voidaan myös kytkeä mekaaniseen voimansiirtoon, mutta se voidaan myös kytkeä suoraan pyörän napaan.



kuva 14 Voimansiirto tapoja.

Kuvassa 14 M on moottori, GB vaihdelaatikko, D tasauspyörästö ja FG kiinteä vaihde.

Sähköisen voimansiirron sähkömoottorit ovat polttomoottoriin verrattuna parempia. Hiljaisen melun tason ja vähäisemmän huollon tarpeen lisäksi sähkömoottoreilla on tasainen vääntökäyrä koko kierrosalueella sekä niiden hyötysuhde on n.90 %. Polttomoottoreiden hyötysuhde on n.20 %. Sähkömoottoreita voidaan myös ohjata siten, että ei tarvita välttämättä erillistä mekaanista vaihteistoa, jolla muuttaa pyörimisnopeutta.

## 5.5 Sähköistä voimansiirtoa koskevat säädökset ja standardit

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 35/2014 sovelletaan markkinoille asetettävien sähkölaitteiden vaatimukset, joilla pyritään varmistamaan ihmisten, kotieläinten ja omaisuuden turvallisuus (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/35/EU). Sähkölaitteet, joiden nimellisjännite vaihtovirralla on 50–1 000 V ja tasavirralla, joiden nimellisjännite on 75–1 500 V on sovellettavissa tässä direktiivissä.

Direktiivin yleisenä ehtona turvallisuustavoitteiden pääkohdissa pidetään, että liitteen I kohtien 2 ja 3 lueteltujen kohtien vaarat ovat huomioutu suunnittelun ja rakennuksen aikana, jos konetta käytetään ja huolletaan aisanmukaisesti (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 35/2014). Kohdassa 2 kerrotaan suojauksista, jonka aiheuttajana on sähkölaite. Tällaisia kohtia ovat mm. suojaus vaarojen varalta, jotka aiheuttavat korkeita lämpötiloja, valokaaria tai säteilyä tai riittävä eristys olosuhteissa, jotka ovat ennalta arvioitavissa. Kohdassa 3 kerrotaan suojauksista ulkoisilta vaaroilta sähkölaitteelle. Sähkölaitteen

kohdan 3 mukaan tulisi olla sellainen, joka täyttää odotettavat vaatimukset, suojattu sille tarkoitettulle ympäristöolosuhteille ja suojattu odotettavalta ylikuormitukselta.

Koneturvallisuuden yleisstandardin ISO 12100 (Suomen Standardiliitto (SFS), 2010, s. 32) kerrotaan, että koneiden sähkölaitteiden suunnittelua koskevia yleisiä vaatimuksia, jotka koskevat sähkövirtapiirien erottamista ja katkaisua ja sähköiskuilta suojautumiselta esitetään standardissa IEC 60204-1.

IEC 60204-1 standardia voidaan soveltaa sähkölaitteille tai niiden osille, joiden nimellinen syöttöjännite ei ylitä vaihtosähköllä 1 000 V tai tasasähköllä 1 500 V (SFS), 2018, s. 11). Nimellistaajuus ei saisi ylittää 200 Hz. Standardi antaa koneiden sähkölaitteistolle erityisvaatimukset.

Sen mukaan vaarat, jotka sähkölaitteet luovat on arvioitava riskinarvioinnissa, jota koneelle edellytetään (Suomen standardoimisliitto (SFS), 2018, s. 22–23). Riskienarvioinnissa pyritään tunnistamaan riskit, joita voidaan pienentää, sekä toimenpiteiden määrittäminen, jolla näitä voidaan pienentää. Asianmukaisesti konetta käyttävien henkilöiden suojaus ja suojaustoimenpiteet vaaroilta on määritettävä myös riskienarvioinnissa. Tällaiset riskit voivat olla mm: sähköisku, valokaari tai tulipalo, jonka on aiheuttanut vikaantunut sähkölaitte tai ohjauspiirin vika ja vikatilanteet. Tällaiset riskit tulisi tunnistaa suunnittelu- ja kehitysvaiheessa, missä ensisijainen riskien pienentämiskeino on poistaminen. Jos tämä ei ole mahdollista niin on käytettävä suojaustoimenpiteitä. Riskien pienentämisessä voidaan käyttää työmenetelmiä, jotka alentavat riskiä.

Sähköiskuilta suojautumiseen on käytettävä perussuojausta ja vikasuojauksia (Siirilä, 2008, s.318). Perussuojauksessa jännitteiset osat on suojattava koteloilla, suojuksilla tai eristämällä. Kotelot tulisi olla kotelointiluokan IP2X mukaisia. Koteloiden, jotka sisältävät sähkölaitteita tulisi täyttää, kun jokin seuraavista kohdista toteutuu:

- Avaamiseen tarvitaan avainta tai työkaluja.
- Kotelon avaaminen ei ole mahdollista, kunnes kaikki sen sisällä olevat jännitteiset osat ovat jännitteettömiä.

- Kotelon sisällä kaikki jännitteiset osat on suojattu siten, että niitä ei voi koskettaa ilman rikkomatta suojaa.

Jos osiin jää jäännösjännitteitä, niin niiden on purkaututtava 5 sekunnissa 60 volttiin, ja jos tämä ei ole mahdollista, on asiasta ilmoitettava varoitus kyltein (Siirilä, 2008, s. 318). Vika-suojauksella tarkoitetaan, kun jokin osa on tullut jännitteiseksi vikatilanteessa. Tällöin jokin seuraavista tulisi toteutua, jotta kyseinen tilanne voitaisiin estää:

- II luokan sähkölaitteiden eristyksen käyttäminen
- Sähköisen erotuksen käyttäminen
- Syötön poiskytkentä automaattisesti. Tällöin, kun järjestelmä havaitsee erityisvian, se sulkee välittömästi sähköisen laitteiston tai virtapiirin sähkön syötön automaattisesti. Tämä vaatii sen, että sähköä johtavat osat on kytketty suojamaadoituspiiriin.

Voimansiirtoon valittavat laitteet tulisi valita siten, että ne ovat IEC-standardien mukaisia ja niitä käytetään valmistajan tarkoittamiin käyttöihin, olosuhteisiin sekä käyttö valmistajan ohjeiden mukaisesti (IEC, 2018, s. 23–24). Sähköisessä voimansiirrossa sähköenergia saadaan akusta, jolloin sähkösyöttö on tasasähkösyöttöistä. Tällöin pysyvän tilan jännite tulisi olla 0,7–1,2-kertainen nimellisjännitteeseen ja jännitekatko ei saisi olla pidempi kuin 5 sekuntia.

### 5.5.1 Sähköisen voimansiirtojärjestelmän energian varastointi

Tyypillinen ratkaisu sähköisen energian varastointiin työkoneissa ja ajoneuvoissa on varastoida se akkuun. Akut ovat sähkökemiallisia järjestelmiä, joiden purkautumien ja latautumien aiheuttaa kemiallisia reaktioita. (Linja-aho, 2022, s. 8–10). Akun latautuessa akkuun syötetään sähköenergiaa, joka varastoituu akun kennoihin. Purkautuessa akku luovuttaa sähkökemiallisesti varastoitua sähköenergiaa virtapiiriin käyttöön. Akut koostuvat yhdestä tai useammasta kennosta, jotka koostuvat elektrolyytistä, elektrodeista, navoista ja koteloista sekä kennoilla on oma nimellisjännite, joka riippuu akun materiaalista.

Akkuihin varastoitunutta energiaa mitataan ampeeritunteina (Ah) (Linja-Aho, 2021, s. 62). Akun varauskyky eli kapasiteettia voidaan laskea kaavalla 10, jolloin saadaan akun varauskapasiteetti ampeeritunteina Akkujen, kuten ajoakut ilmoitetaan yleensä kilowattitunteina,

mitä käytetään akkujen ja toiminta matkojen vertailussa. Tämä saadaan, kun kerrotaan vielä kaavan 10 tulos jännitteellä niin kuin kaavassa 13 on tehty.

$$Q = It \tag{10}$$

Missä

$I$  on virta (A)

$t$  on aika (h)

Ladattaessa akkuja, napajännite ja akkuun syötettävä virta ovat suurempia kuin akkua purettaessa (Hietalahti, 2011, s. 96). Hyötysuhde voidaan siis laskea syötettävän varauksen ja purettavan varauksen suhteena.

$$\eta_Q = \frac{Q_P}{Q_L} \tag{11}$$

Missä

$Q_p$  on purettava varaus (Ah)

$Q_L$  on ladattava varaus (Ah)

Hyötysuhde voidaan laskea myös syötetyn energian ja purettavan energian suhteena (Hietalahti, 2011, s. 96).

$$\eta_Q = \frac{E_P}{E_L} \tag{12}$$

Missä

$E_p$  on purettava energia (kWh)

$E_L$  on ladattava energia

Akun varastoiman energian määrä (kWh) eli akun kapasiteetti voidaan laskea kaavalla 7 (Linja-Aho, 2021, s.63).

$$W = QV \quad (13)$$

Missä

$Q$  on akun sähkövaraus (Ah)

$V$  on jännite (V)

Akuston suunnittelussa tärkeintä on, kuinka suurella virralla voidaan akkua purkaa tai ladata (Linja-aho, 2022, s.13). Tämä ilmoitetaan C-arvona, joka tosin ei kerro kuinka kauan akkua voidaan purkaa tai ladata tietyllä virralla. C-arvo saadaan, kun jaetaan lataus- tai purkuvirta akunkapasiteetilla. Esimerkiksi jos akun kapasiteetti on 10 Ah ja sitä voidaan purkaa tai ladata 20 A virralla, niin silloin ilmoitetaan C-arvoksi 2C. Eli tämä kertoo sen, kuinka moninkertaisella nopeudella voidaan akkua ladata tai purkaa.

Ajoakkuna ei voida käyttää mitä tahansa akkua, koska sähkömoottoreilta vaaditaan suuria tehoja (Linja-Aho, 2021, s. 58). Tämä tarkoittaa sitä, että moottorit tarvitsevat enemmän virtaa, jonka takia myös jännitteet kasvavat. Tämän takia 12 ja 24 V järjestelmiä ei voida käyttää, koska jos käsitellään moottoreiden suuria tehoja pienillä volttimäärillä, joudutaan kasvatamaan johtimien ja moottoreiden käämitysten paksuuksia, joka lisää merkittävästi kustannuksia ja on epäkäytännöllinen.

Akkuja on monia erityyppisiä ja niillä jokaisella on omat hyvät ja huonot puolensa. Näitä ovat mm. NiMH eli nikkelimetallihydridiakku, joka perustuu vesipohjaiseen elektrolyyttiin ja litiumioniakku (Linja-Aho, 2021, s. 58). NiMH-akkujen hinta on matala ja kestävät hyvin pakkasata sekä kestävät hyvin suuria lataus- ja purkuvirtoja. NiMH-akkujen kennon nimellinen jännite on 1,2 V (Linja-aho, 2022, s.19). Nämä akut soveltuvatkin hyvin jarruenergian keräämiseen ja kiihdytysten avustamiseen (Linja-Aho, 2021, s. 58). Huonona puolena NiMH-akuilla verrattuna litiumioniakkuihin on sen paino. Litiumioniakut toisaalta eivät kestä suurta ylilatausta, ja ne tarvitsevat aina kehittynyttä akkujenhallintajärjestelmää. Litiumioni akkujen kennon nimellisjännite on 3,7 V (Linja-Aho, 2022, s. 59).

Akunhallintajärjestelmän tehtävä on estää akun ylilatautuminen liian täyteen tai purkautuminen liian tyhjäksi (Linja-Aho, 2022, s. 62–63). Litiumioni akun ylilataus tai ylipurkautuminen voi heikentää akun kapasiteettiä tai aiheuttaa akkupalon. Tämän takia litiumioniakku tarvitsee akunhallintajärjestelmän, jotka voivat olla analogisia, digitaalisia, suojiipiiriä tai valvontapiiriä.

Hallintajärjestelmät voidaan toteuttaa niin, että yhdestä piirikortista on vedetty mittaus- ja tasapainotusjohdot akun kennoille tai jokaiseen akun kennoon on kytketty oma piirikortti. Tämä voidaan myös toteuttaa isäntä-orja-periaatteella, jossa kennojen omat valvontapiirit keskustelevat keskusyksikön kanssa.

### 5.5.2 Sähkömoottorikäyttö

Sähkömoottoreita on olemassa tasasähköisiä ja vaihtosähköisiä, joista vaihtosähkökoneet ovat huomattavasti suorituskykyisempiä ajoneuvokäytössä (Linja-aho, 2021, s. 63). Koska akulta saatava sähköenergia on tyypiltään aina tasasähköä, on se muutettava vaihtosähkömoottorille muuttajan eli invertterin avulla. Muuttajaa kutsutaan myös usein taajuusmuuttajaksi tai vaihtosuuntaajaksi. Muuttaja toimii moottoreiden ohjainlaitteena, jonka tehtävänä on ohjata akkujännite oikeisiin moottorikämeihin oikealla hetkellä elektronisia kytkimiä käyttäen.

Sähkömoottorit tulisi olla IEC 60034 standardisarjan mukaisia (Suomen standardoimisliitto (SFS), 2018, s. 83). Moottoreiden valintaan vaikuttaa monenlaiset kriteerit, jotka ovat:

- Moottorin tyyppi
- Käyttöjakson tyyppi
- Käyttö kiinteällä tai muuttuvalla nopeudella
- Mekaaniset värähtelyt
- Moottorin ohjauksen tyyppi
- Syöttöjännitteen tai virran yliaaltojen vaikutus lämpenemiseen. Tämä tilanne on otettava huomioon etenkin, kun moottoreiden syöttö tapahtuu muuttajalla.
- Moottoria kuormittavan kuroman hitausmomentti
- Vastamomentin muuttuminen, joka on riippuvainen ajasta ja nopeudesta.
- Vakiomomentti- tai vakiotehokäytön vaikutus

Moottorit tulisi asentaa siten, että kaikki siihen kiinnitetyt kytkimet, hihna- ja ketjupyörät olisivat mahdollisimman helposti huollettavissa, luokse päästävissä ja säädettävissä sekä asennettavissa (Suomen standardoimisliitto (SFS), 2018, s. 83). Myös liitinkoteloihin pääsy käsiksi ja moottorin kiinnityslaitteiden poistaminen olisi otettava huomioon, kun moottorin asennusta suunnitellaan.

Moottoreille tarkoitetut tilat tulisi olla puhtaita sekä kuivia ja moottoreiden tuuletus tulisi ohjata koneen ulkopuolelle (Suomen standardoimisliitto (SFS), 2018, s. 83). Tilat mitkä ei täytä moottorille asetettuja vaatimuksia, ei saisi olla aukkoja moottoreille tarkoitettuun tilaan. Jos moottoritilaan on tehtävä aukko, niin se on hyvin tiivistettävä.

## 5.6 Sähköinen voimansiirto suunniteltavassa työkoneessa

Suunniteltavan työkoneen olisi tarkoitus kulkea kävelyvauhtia eli n. 10 km/h ja tarkoitettu normaalille kuluttajalle. Täten työkoneen toimintaympäristö sijoittuisi todennäköisesti lähelle sen latauspaikkaa. Kun työkone on suunnattu normaalille kuluttajalle, sen toiminta-ajan ei välttämättä tarvitse kestää kymmeniä tunteja, vaan siihen voisi riittää 3–6 tuntia. Lisäksi sähköisessä voimansiirrossa käyttökulut ovat pienemmät kuin muissa voimansiirtomenetelmissä. Tämä todennäköisesti antaisi myös perusteita miksi sähköinen voimansiirto olisi hyvä vaihtoehto työkoneelle.

Jotta työkone selviytyisi haastavimmastakin paikoista, sen moottoreiden yhteen laskettu teho tulisi olla yli 12 kW. Jos ajatellaan, että moottorien hyötysuhde on n.90 % ja moottorit ovat vaihtosähkömoottoreita, jolloin laskemalla kaavalla 14 saadaan moottoreiden tarvitsemaksi sähkötehoksi n.13 kW.

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (14)$$

Missä

$P_{in}$  on sähköteho (W)

$P_{out}$  on mekaaninen teho (W)

$\eta$  on hyötysuhde

Kun tiedetään paljonko tarvittavaan sähkötehoa ja millä jännitteellä järjestelmä toimii, voidaan laskea moottorin tarvitsema virta määrä. Laskemalla kaavalla 15 saadaan moottorin tarvitsema virta. Moottorin tehokerroimenä on käytetty 0,95.

$$I = \frac{P_{in}}{\sqrt{3}U\cos\varphi} \quad (15)$$

Missä

$U$  on nimellisjännite (V)

$P_{in}$  on sähköteho (kW)

$\cos\varphi$  on moottorin tehokerroin

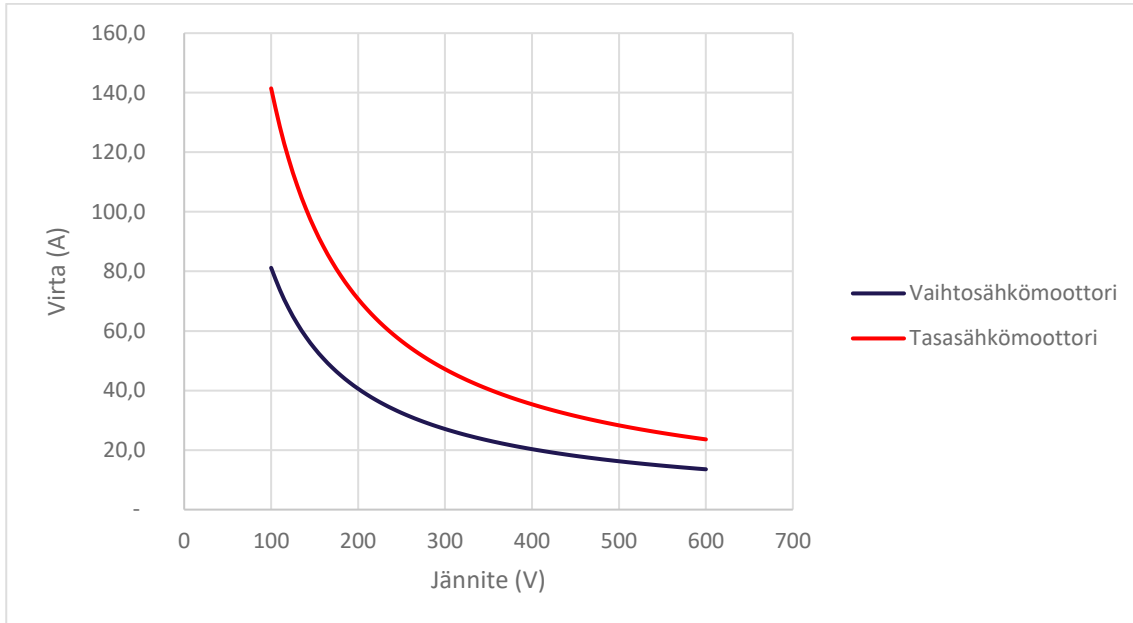
Jos taas sähkömoottorit olisivat tasavirtamoottoreita, voidaan laskea moottorin tarvitsema virta, kun tiedetään sähköteho ja järjestelmän jännitetaso. Sähköteho voidaan laskea kaavan 14 tavalla, jonka jälkeen voidaan laskea kaavalla 16 tarvittava virta. Tasavirtamoottoreiden hyötysuhteeksi on arvioutu 0,85.

$$I = \frac{P_{in}}{U} \quad (16)$$

Missä

$P_{in}$  on sähköteho (W)

$U$  on jännite (V)



kuvio 6 Tasa- ja vaihtosähkömoottoreiden vertailu

Kuvio 6 näyttää, kuinka sähkövirran tarve pienenee, kun jännitetasoa nostetaan. Kuviossa 6 tulee hyvin myös ilmi se, kuinka paljon enemmän tasavirtamoottori tarvitsee virtaa samalla jänniteluvulla kuin vaihtosähkömoottori. Kuvion 4 mukaan jos työkoneeseen valittaisiin sähköinen voimansiirto, olisi sen moottorit todennäköisemmin vaihtosähkömoottoreita, koska jännitetasot ovat alhaisemmat vaihtosähkömoottoreilla kuin tasasähkömoottoreilla.

Sähköinen voimansiirto suunniteltavassa työkoneessa tulisi siis laskemaan käyttökustannuksia, mutta lisäksi koneen tekniikan monimutkaisuutta, joka tarvitsisi aina huollettaessa aisan-tuntevaa henkilöä.

Työkoneessa täytyisi olla satojen volttien kokoinen jännite, jotta tarvittava virta pysyisi kohtuullisena. Tämän takia työkoneeseen olisi asennettava erilaisia suojuuksia, suojakoteloja jännitteisten osien suojaksi, jotka olisi varustettava erilaisilla huoltolukoilla. Näin voitaisiin estää pääsy korkeajännitteisiin osiin tai kytkettyä laitteet kokonaan jännitteettömäksi, kun suojuuksia avataan.

Vaikka käyttökustannukset laskisivat, sähköinen voimansiirto nostaisi työkoneen hankintahintaa huomattavasti, joka johtuisi todennäköisemmin sen akusta. Suunniteltavan työkoneen kilpailuvalteiksi haluttaisiin sen edullinen hankinta hinta, jolloin sähköinen voimansiirto ei välttämättä ole paras mahdollinen vaihtoehto, jos halutaan pitää hankinta hintaa kohtuullisena.

## 5.7 Hydrostaattinen voimansiirto

Hitaasti liikkuvat työkoneet, kuten kaivinkoneet, metsäkoneet tai asfalttikoneet käyttävät hydrostaattista voimansiirtoa (Björk ym., 2014, s. 479).

Hydrostaattisessa voimansiirrossa voimansiirron toteuttaa neste, joka usein miten on hydrauliiikkaöljyä (Björk ym., 2014 s. 477). Neste liikkuu järjestelmässä paineen avulla, jonka tuottaa hydrauliiikkapumppu, joka muuttaa mekaanisen voiman nestemäiseksi paineeksi. Nestemäisellä paineella voidaan pyörittää hydrauliikkamoottoria, joka taas muuttaa nestemäisen paineen mekaaniseksi voimaksi.

Hydraulisen voimansiirron ohjaus voidaan toteuttaa monella eri tavalla (Björk ym., 2014 s. 477). Moottorin sekä pumpun molempien ollessa kiinteätilavuuksisia, jolloin hydrauliikkamoottoreiden pyörimisnopeus on riippuvainen hydrauliikkapumppua pyörittävän voimanlähteen pyörimisnopeudesta sekä hydrauliikkamoottorin ja -pumpun kierrostilavuuden suhteesta. Toisaalta järjestelmässä voi olla säädettävä hydrauliikkamoottori tai -pumppu tai molemmat.

Hydrauliikkamoottorit ja -pumput voidaan jakaa neljään ryhmään: Hammaspyörä-, ruuvi-, siipi- ja mäntäkoneisiin. Lisäksi koneet voidaan jakaa vielä kahteen ryhmään: Hidaskäyntiset ja nopeakäyntiset (Björk ym., 2014 s. 477). Jotkin nopeakäyntiset voivat toimia myös hydrauliikkapumppuna.

Nopeakäyntiset moottorit tarvitsevat useasti vaihteiston, jotta saadaan lisättyä vääntömomenttia sekä vähennettyä nopeutta (Chapple, 2014, s. 17). Ajoneuvot ja työkoneet, joiden nopeuden vaihteluväli on nollan ja muutaman sadan kierrosta per minuutin välillä, käytetään hidaskäyntisiä moottoreita. Hidaskäyntisiä moottoreita käyttäen ei välttämättä tarvita käyttää vaihteistoja sekä tarjoaa hyvän hyötysuhteen matalimmille kierroksille.

### 5.7.1 Hydrostaattista voimansiirtoa koskevat säädökset ja standardit

Hydrauliset laitteistot tulee asentaa ja suunnitella siten, että laitteistosta löytyy paineenrajoittimia, jolloin suurinta mitoituspainetta ei ylitetä ja paineenvaihteluista eikä häviämisestä aiheudu vaaraa (SFS), 2011, s. 32). Kaikki laitteistoon kuuluvat komponentit, tulisi suojata hyvin etenkin putket ja letkut ulkoisilta vaikutuksilta, mutta jos tästä huolimatta jokin laitteiston

komponentti vikaantuu, se ei saa aiheuttaa vaarallista nestesuihkua tai äkillistä vaarallista liikettä.

Suunnittelustandardien ohjeiden ja säädösten mukaisesti soveltuvat paineakut tulisi purkautua paineesta automaattisesti, kun kone irrotetaan tehonsyötöstä (Suomenstandardoimisliitto (SFS), 2011, s. 32). Mutta toisaalta jos tämä ei ole mahdollista, jolloin laitteistosta tulisi löytyä laitteita, jolla voidaan erottaa paineakku muusta laitteistosta, purkaa paine paikallisesti tai osoittaa paineen lukeman. Jos hydraulikkalaitteistossa jää osia paineen alaisiksi tehonsyötön katkaisun jälkeen, olisi ne ennen huolto- ja kunnossapitotöiden aloittamista olla varustettu paineenpurkulaitteilla ja merkittynä selkeästi tunnistettavilla varoituskilvillä. Varoituskilvessä on osoitettava paineen purkamisen välttämättömyys.

### **5.7.2 Hydrostaattinen voimansiirto työkoneessa**

Suunniteltavaan työkoneeseen tullaan kytkemään myös erilaisia työlaitteita, joiden toimintojen liikkeet voidaan toteuttaa hydraulisesti. Työkoneessa tulisi olemaan, joka tapauksessa hydraulijärjestelmään kuuluvat olennaiset osat, kuten säiliö, pumppu ja venttiilejä. Tällöin olisi helppoa myös toteuttaa samalla työkoneen voimansiirto hydraulisesti. Hydraulikkamoottorit voitaisiin asentaa suoraan pyörien napaan kiinni, jolloin pyörien liike ei ole rajoitettu niin kuin mekaanisessa voimansiirrossa, jossa nivelakselilla on suurimmat sallitut murtokulmat.

## 6 POHDINTA

Vaikka työkoneesta tulisikin hyvä ja toimiva, epävarmuustekijöitä tulee kuitenkin markkina-puolelta. Suunniteltava työkone lähtee haastamaan hyvin tunnettuja ja jo toimiviksi todettuja modulaarisia ratkaisuja. Suunniteltavan työkoneen kilpailueduksi on ajateltu, että se olisi edullisempi ja ketterämpi kuin jo tunnetut ratkaisut. Suunniteltava työkone kohtaa myös epävarmuustekijöitä, jotka voivat uhata tuotteen markkinallista potentiaalia. Ottaen huomioon erilaisia megatrendejä, joista yksi on väestön kaupungistuminen. Kaupungeissa asutaan useamman asunnon taloissa, kuten kerrostaloissa tai rivitaloissa, joka tarkoittaa sitä, että yksittäisellä asunnolla ei ole välttämättä takkaa tai uunia missä polttopuuta polttaa. Tämän takia olisi varmasti hyvä suunnitella työkone sellaiseksi, että se palvelisi myös kaupungeissa asuvia. Se kuitenkin toisi lisää haastajia suunniteltavalle työkoneelle, jotka sen pitäisi voittaa, että se saisi jalansijan markkinoilla.

Jos työkoneetta lähdetään suunnittelemaan mahdollisimman monikäyttöiseksi, jolloin siitä voi tulla sellainen, joka ei ole enää missään tarpeeksi hyvä ja pystyisi voittamaan jo tunnettuja ratkaisuja. Tämän takia sen täytyisi keskittyä yhdenlaiseen ympäristöön.

## LÄHTEET

- Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., Miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen, J., & Salonen, P. (2014). *Koneenosien suunnittelu*. (6.painos). Sanoma Pro.
- braidwoodgear. (i.a.). The main types of Mechanical power transmission system. <https://braidwoodgear.com/en/mechanical-power-transmission-systems/>
- Chapple, P. (2015). *Principles of hydraulic system design*. (2.painos). Momentum Press, LLC, New York.
- Engineering product design. (20.12.2021). Mechanical power transmission. <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/mechanical-power-transmission/>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1230/2023. Asetus koneista ja Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2006/42/EY ja neuvoston direktiivin 73/361/ETY kumoamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1230/oj?locale=fi>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston Direktiivi 2014/35/EU. tietyllä jännitealueella toimivien sähkölaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=celex:32014L0035>
- Hietalahti, L. (2011) *Sähkökäyttö ja hybriditekniikka: Ajoneuvo- ja työkonekäyttöön*. Tammertekniikka.
- Karhima, M. (2011) *Autotekniikka 6 voimansiirto*. Otava.
- Lepola, P., & Makkonen, M. (2005) *Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet*. WSOY.
- Linja-Aho, V. (2021) *Sähkö- ja hybridiautojen sähkötyöturvallisuus* (3.painos). autoteknillinen liitto.
- Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelmä, E., & Hultin, S. (2011). *Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja*. Teknologiainfo Teknova.
- Siirilä, T. (2008) *Koneturvallisuus: EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus*. (2.painos). Inspecta koulutus Oy
- Sild, S. (8.2.2022) *Belt drives and types of belts*. Fractory. <https://fractory.com/belt-drives/>
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2010) *Koneturvallisuus: Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskien arviointi ja riskien pienentäminen (SFS-EN ISO 12100)*.

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2011) *Hydraulinen tehonsiirto: Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset (SFS-EN ISO 4413)*.

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2018) *Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. OSA 1: Yleiset vaatimukset (SFS-EN ISO 60204-1)*.

The Engineering Choice. (i.a). What is chain drive? types- and application.  
<https://www.theengineeringchoice.com/what-is-chain-drive/>

## **LIITTEET**

### **Liite 1. Työkoneen vaatimuslista**

## Liite 1. Työkoneen vaatimuslista

Työkoneen vaatimuslista		Pvm:	
Vaativuudet	Suuruus	Merkitys	Huomautukset
<b>Toivomukset</b>			
Modulaarisuus		3	Pihti pankot, kippilava, nostolaite, kuormain
käyttö sisätiloissa		1	
Kuljetettavissa henkilöauton peräkärjessä		4	
Kyky edetä vaikeakulkuisessa maastossa		4	
Painopisteen muutos kaltevassa maastossa		3	
kone pysyy paikallaan mäessä		4	Kytkeytyvä seisontajarru
<b>Suorituskyky</b>			
Max. Nousukulma	100 %	3	
Max. Maastokaltevuus	50-100%	3	
Nopeus	5-10 km/h	2	
Kiihtyvyys	3 - 5 m/s <sup>2</sup>	1	
<b>Geometria ja paino</b>			
Korkeus	< 2 000 mm	2	
Pituus	< 3 400 mm	4	
Leveys	< 1 400 mm	4	
Paino ilman kuormaa	200-400 kg	3	
Paino kuorman kanssa	600-900 kg	3	
<b>Käyttöolosuhteet</b>			
Käyttölämpötila	+40 ... -25 °C	3	
Melu	82 dB	3	
kosteus		4	Veden kestävä
<b>Ergonomia ja turvallisuus</b>			
Kauko-ohjauksen toiminta etäisyys	min. 1 m <; max < 10 m	3	
Ajonesto		4	Kaukoohjamen kuolleen miehen kytkin
Kuormauskorkeus	0,5- 1 m	2	
pysähtymisen mäessä		4	Pysäköinti jarru
<b>Huolto ja kunnossapito</b>			
määräaikaishuolto	200 - 500 h	2	
Helppo huoltainen		2	Hyvät ohjeet
<b>Tuotteen kustannukset ja hinta</b>			
Valmistus kustannukset	< 3 500 €	4	
Myyntihinta	5 000 - 10 000€	3	Täytyy olla halvempi kuin 1000cc mänijä + peräkärri
<b>Aikataulu</b>			

1 = vähäinen merkitys; 2 = jonkin verran merkitystä; 3 = Suurimerkitys; 4 = ratkaiseva merkitys