

LANNOITTEENLEVITTIMEN ASENNUS
METSÄKONEESEEN

Jussi Olkkonen
2010
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

LANNOITTEENLEVITTIMEN ASENNUS METSÄKONEESEEN

Jussi Olkkonen
Opinnäytetyö
7.12.2010
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma
Kone- ja tuotantotekniikka

Opinnäytetyö
Insinööriyö

Sivuja + Liitteitä
69 + 2

Suuntautumisvaihtoehto
Auto- ja kuljetustekniikka

Aika
2010

Työn tilaaja
Kotitila

Työn tekijä
Jussi Olkkonen

Työn nimi
Lannoitteenlevittimen asennus metsäkoneeseen

Avainsanat
keskipakolevitin, metsänlannoitus, metsänlannoitusmenetelmät, suunnittelu

Työssä tutkittiin vanhan traktorikäyttöisen keskipakolannoitteenlevittimen asennusta pieneen kumitela-alustaiseen metsäkoneeseen ja yhdistelmän soveltuvuutta metsänlannoituskäyttöön. Työssä tuli suunnitella kiinnitys rakenne ja valita käyttövoima levittimelle.

Kiinnitysrakenteen ja suunniteltavan asennuksen perustana suunnittelussa käytettiin konedirektiiviä sekä kyseisiä koneita koskevia standardeja. Levittimen tehontarve laskettiin sekä vertailtiin eri käyttövoimavaihtoehtoja. Käyttövoimaksi valittiin sopiva hydraulimoottori. Hydrauliletkuille valittiin oikea koko sekä määritettiin lisäksi tarvittavat hydraulikomponentit, joita ovat suuntaventtiilin ohjauksen muutos sähköiseksi sekä paineenrajoitus- ja vastaventtiilit. Teräsrakenteiden ja hydrauliiikan toteutus suunniteltiin mahdollisimman yksinkertaisesti. Suunnittelussa hyödynnettiin tietokoneavusteista mallinnusta sekä lujuuslaskennassa elementtimenetelmää. Työssä esitetään myös jatkokehitysideoina sivulaidat kuormatilaan, ritilärakenne levittimen päälle, hydraulisynterillä toteutettava syötön säätö, hydraulimoottorin kierrosluvun seuranta, kameränäyttö levittimelle sekä lannoitekohtaisten levittimen säätötaulukoiden laadinta.

Työn tuloksena saatiin asennukseen tarvittavien teräsrakenteiden piirustukset sekä hydraulikaavio. Valmistettavia teräsrakenteita ovat levittimen kiinnitysrunko, hydraulimoottorin kiinnike, käsijohteet sekä kädensijat. Kiinnitysrunkoon kuuluu myös työskentelytaso metsäkoneen kuormatilassa liikkumisen helpottamiseksi. Työssä suoritettun teoreettisen tarkastelun perusteella levitinyksikkö täyttää sille asetetut tavoitteet ja suoriutuu metsänlannoitustyöstä.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

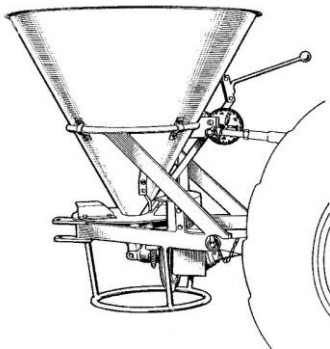
SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	METSÄNLANNOITUS	7
2.1	Perusteet	7
2.2	Metsän ravinnetila	8
3	LANNOITTEEN LEVITYS	10
3.1	Levitysmäärät	10
3.2	Levitysmenetelmät	11
3.3	Ympäristön kuormitus	12
3.4	Levittimen toiminta	13
3.4.1	Syötön säätö	13
3.4.2	Sekoittaja	14
3.4.3	Kenttäkoe	14
3.5	Käytössä olevia levitinratkaisuja	15
4	RAKENTEEN SUUNNITTELU	17
4.1	Suunnittelua koskevat määräykset	18
4.1.1	Konedirektiivi	18
4.1.2	Standardit	22
4.2	Käyttövoiman valinta	31
4.3	Tehontarpeen määrittely	32
4.4	Hydrauliikka	36
4.4.1	Hydraulimoottori	38
4.4.2	Paineenrajoitusventtiili	41
4.4.3	Hydrauliletkut	42
4.5	Tehonsiirto	43
4.6	Asennuksen suunnittelu rungolle	45
4.7	Rakenteen lujuuslaskenta	53
4.7.1	Kiinnitysrungon kuormitustarkastelu	55
4.7.2	Käsijohteiden ja kädensijojen kuormitustarkastelu	59

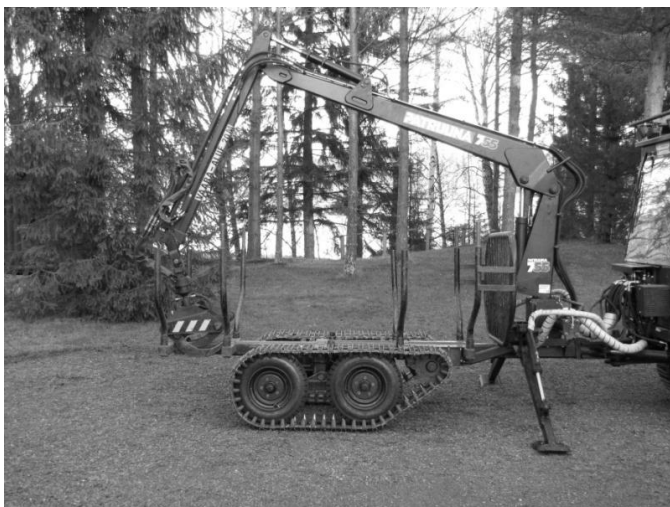
5 TULOKSET.....	61
5.1 Suunnittelun tulokset.....	61
5.2 Laskennallinen levitysyksikön tehokkuus	62
5.3 Jatkokehitysideoita	63
6 YHTEENVETO	64
LÄHTEET.....	66
LIITTEET	
Liite 1. Vaatimuslista	
Liite 2. Hydraulikaavio	

1 JOHDANTO

Tarve työlle tuli kotitalan kautta, jonka metsissä on alkanut ilmetä lannoitustarpeita erilaisten puiden kasvuhäiriöiden ja vajaakasvuisuuden vuoksi. Aktiivikäytöstä pois jäänyt traktorin nostolaitesovitteinen keskipakolevitin (kuva 1) on tarkoitus asentaa pienen metsäkoneen kuormatilaan takarungolle (kuva 2). Kyseessä on siis suunnittelutyö. Rakenteesta on tarkoitus tehdä toimiva, yksinkertainen ja edullisesti toteutettava. Suunnitteluun sovelletaan koneita koskevia määräyksiä ja standardeja soveltuvin osin. Lopputuloksena saadun levittimen kiinnitysrakenteen tarkat mittapiirroksot jäävät työn tilaajalle ja työssä esitetään vain rakennekuvia.



KUVA 1. Traktorin nostolaitesovitteinen keskipakolevitin (1)

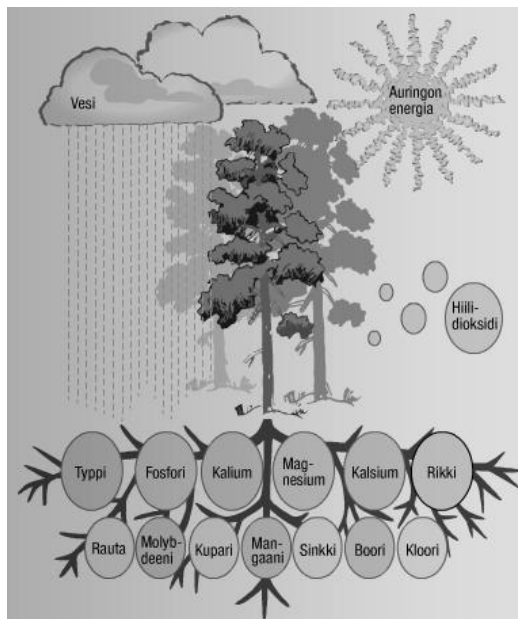


KUVA 2. Metsäkoneen takarunko

2 METSÄNLANNOITUS

2.1 Perusteet

Metsän puuston kasvuun vaikuttavia tekijöitä ovat valo, lämpö, vesi sekä maaperän ominaisuudet ja ravinteet (kuva 3). Puuston tarpeeseen nähden vähiten saatavissa oleva tekijä määrää kasvun tason. Kangasmailla minimitekijä on usein ravinteiden, varsinkin typen puute. Turvemaidella puolestaan yleinen ravinteiden puute tai niiden epätasapaino. Turvemaiden ojituksen jälkeen puusto alkaa kasvaa ja ravinteiden tarve lisääntyy. Ravinteiden keskinäiset suhteet muuttuvat, kun luonnontilainen suo kehittyy turvekankaaksi. (2, s. 4.)



KUVA 3. Puuston kasvutekijät (2, s. 4)

Puuston tarvitsemat ravinteet voidaan jakaa pää- ja hivenravinteisiin kuvan 3 mukaisesti. Siinä juuriston ylemmän kerroksen ravinteet ovat pääravinteita. Hivenravinteita ovat puolestaan juuriston alemman kerroksen ravinteet. (2, s. 4.)

Metsänlannoituksessa lisätään maaperään niitä ravinteita, joita on puiden tarpeeseen nähden niukasti. Lisäravinteita tarjoamalla saadaan puustolle kasvunlisäystä ja siten tuottoa metsälle. (2, s. 8.)

Metsänlannoitus voidaan jakaa kasvatus- ja terveyslannoitukseen. Kasvatuslannoitus on tehokkainta nuorissa ja keski-ikäisissä metsissä ensiharvennuksesta alkaen. Parhaat kasvunlisäykset saadaan hoidettuja, ennestään hyväkasvuisia metsiköitä lannoittamalla. (2, s. 8.) Terveyslannoituksessa parannetaan puiden ravinnetilaa ja estetään uusien kasvuhäiriöiden syntymistä. Esimerkiksi metsitetyillä pelloilla, vettä helposti läpäisevillä kangasmailla ja viljavilla kasvu- paikoilla esiintyy puiden ravinneperäisiä kasvuhäiriöitä. (3, s. 6.) Yleinen kasvuhäiriö on viljavien maiden kuusikoissa boorinpuutos. Siinä oireita ovat puun latvakasvun tyrehtyminen ja pensastuminen (kuva 4). (2, s. 14.)



KUVA 4. Kuusen kasvuhäiriö (2, s. 5)

Kangasmaiden parhailla lannoituskohteilla Etelä- ja Keski-Suomessa yksi lannoituskerta lisää keskimäärin puuston kasvua 13–25 m³ hehtaarilla kahdeksan vuoden aikana. Jos puuston vuotuinen kasvu on ennen lannoitusta yli 12 m³ hehtaarilla, ei lannoituksella enää kannata yrittää lisätä sitä. (2, s. 11.)

2.2 Metsän ravinnetila

Onnistuneen lannoituksen edellytys on metsän ravinnetilan määrittäminen. Se voidaan tehdä joko silmämääräisesti puuston ulkoisten merkkien perusteella tai luotettavammin kuviokohtaisen ravinneanalyysin avulla. Ravinneanalyysi tehdään joko maa- tai neulasanalyysinä. Suositeltavin menetelmä on maa-analyysiä tarkemmaksi osoittautunut neulasanalyysi. (2, s. 6–7.) Turvemaiden

tärkeimpien ravinteiden osalta neulasanalyysistä voi tehdä tulkintoja esimerkiksi taulukon 1 perusteella.

TAULUKKO 1. Neulasanalyysin tulkinta turvemaiden metsissä (3, s. 11)

Ravinne	Mänty		Kuusi	
	Ravinteiden ankara puutos	Ravinnetta sopivasti	Ravinteiden ankara puutos	Ravinnetta sopivasti
N, %	alle 1,2 *	yli 1,3	alle 1,2 *	yli 1,4
P, g/kg	alle 1,3	yli 1,6	alle 1,7	yli 2,3
K, g/kg	alle 4,0	yli 4,5	alle 5,0	yli 6,0
B, mg/kg	alle 5,0	yli 10	alle 7,0	yli 10

Neulasanalyysiä varten neulasia kerätään 5–10 vallitsevan latvuskerroksen puusta viimeisimmistä vuosikasvaimista etelän puolelta. Lehtipuilla uusimmat ja vanhimmat lehdet poistetaan näytteestä. Eri puulajeja ei saa sekoittaa keskenään. Havupuiden näytteet kerätään joulukuun alun ja maaliskuun lopun välisenä aikana. Lehtipuiden näytteet kerätään puolestaan elokuussa. (2, s. 7.)

3 LANNOITTEEN LEVITYS

3.1 Levitysmäärät

Taulukossa 2 on Yaran metsänlannoitusoppaasta (2) löytyvät yleisohjeet kangasmetsien lannoitukseen sopivien lannoitteiden valinnasta ja ohjeellisista levitysmääristä. Oppaasta löytyvät myös vastaavat taulukot suometsien lannoitukseen sekä boorinpuutosalueiden terveyslannoituksiin.

TAULUKKO 2. Kangasmetsien lannoituksen yleisohjeet (2, s. 11)

Kohde	Suosittelavat lannoitteet ja käyttömäärät
Lehtomainen kangas	
Kuusikko	Metsän NP 1 (600 kg/ha)
Tuore ja kuivahko kangas	
Kuusikko	Metsän NP 1 (600 kg/ha) Suomensalpietari (600 kg/ha)
Männikkö	Suomensalpietari (600 kg/ha) Urea (325 kg/ha) Metsän NP 1 (600 kg/ha)

Taulukossa 3 on yksityiskohtaisemmin Yaran metsänlannoitukseen käytettävien lannoitteiden ravinnesisältö, sekä lannoitteiden toimituskoot. Kaikki lannoitus tuotteet ovat tilaustuotteita, joten lannoituksen toteuttaminen vaatii hyvää ennakosuunnittelua.

TAULUKKO 3. Metsälannoitteiden ravinnesisältö sekä toimituskoot (2, s. 20)

Lannoite	N-P-K %	Muut ravinteet, %											Kulvara- keistettu	Säkki/ lava kg	Suursäkki kg	
		Ca	Mg	Na	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Se				
Suometsän Y 1	10-4-10	8,5	1,5		5,5	0,2	0,1					0,2		x		650
Metsän NP 1	25-2-0	5,5	1			0,15						0,1			40/1200	650
Rauta-PK	0-8-14	14,8	0,4		2,4	0,3	0,1	2,5						x	40/1200	650
Pellonmetsityksen PK 1	0-6-9	10,8	3,3		2,5	0,67	0,1					0,5		x	40/1200	650
Booriravinne		10,5	2,0		14,5	0,75								x	35/1050	650
Metsän NP 2	19-4-0	4,3	1,0		12,0	0,4						0,15				650
Suomensalpietari	27-0-1	3	1		3	0,02							0,001		40/1200	650, 1200
Urea	46,3-0-0														25/1000	600

3.2 Levitysmenetelmät

Metsänlannoituksessa lannoite tulisi levittää mahdollisimman tasaisesti kuviolle. Kuitenkin puut ottavat ravinteet useiden metrien päästä juurisientensä avulla. (2, s. 23.)

Metsänlannoitus voidaan toteuttaa joko maa- tai lentolevityksenä. Maalevitys on laitteiden kehittymisen myötä palaamassa voimakkaasti takaisin metsänlannoitukseen. Etuina ovat pienet levityskustannukset ja parempi levitystarkkuus. Maalevitys voidaan suorittaa usealla erilaisella menetelmällä. Tehokkain maalevitin on metsäkoneen päälle rakennettu levitin. Maalevityksessä lannoitteen levitysaika voidaan sovittaa paremmin lannoituskohteen olosuhteiden mukaan. (2, s. 22–23.) Levitystyö metsäkoneella tehdään olemassa olevia ajouria pitkin (3, s. 14). Harvennushakkuussa ajouravälisuositukseksi pidetään vähintään 20 metriä. Ajouran leveydeksi suositellaan 4–4,5 metriä. (4, s. 7.) Ajoura on ura, joka tehdään puuston harvennushakkuun yhteydessä (4, s. 10).

Myös traktoria ja siihen kytkettyä pintalevitintä, maastomönkijää ja levitintä tai käsinlevitystä voidaan käyttää. Omatoimisesti lannoitus on helpointa ja edullisinta toteuttaa käsinlevityksenä. Käsinlevitystä voi helpottaa hyvällä ennakkosuunnittelulla ja jakamalla lannoitesäkit kuviolle tasavälein esimerkiksi moottorikelkan tai mönkijän avulla. (2, s. 22–23.)

Hakkuu-ura sijoittuu varsinaisten ajourien väliselle alueelle. Hakkuu-ura aukaistaan ainoastaan hakkuukoneen toimintaa varten ja on leveydeltään enintään kolme metriä. (4, s. 11.) Traktorilla, mönkijällä tai tämän työn kaltaisella pienen metsäkoneen päälle rakennetulla levittimellä normaali ajouraverkosto on usein liian harva, joten joudutaan käyttämään mahdollisia hakkuu-uria tai pujottelemaan puiden väleissä. Hyvällä ennakkosuunnittelulla lannoitus huomioidaan jo harvennushakkuuvaiheessa ja mahdollistetaan pujotteleminen. Nykyisten harvennussmallien mukaisesti tehdyn harvennushakkuun puiden runkojen keskietäisyys on 3,6 metriä tiheydellä 1 000 kpl/ha (4, s. 13).

Lentolevityksessä levitystyö suoritetaan helikopterilla. Lentolevitys on tehokasta suurilla pinta-aloilla ja siten soveltuu hyvin usean tilan yhteishankkeisiin. Kustannukset tulevat sitä pienemmiksi mitä suurempia lannoitettavat pinta-alat ovat ja mitä yhtenäisempiä kokonaisuuksia kuviot muodostavat. Lentolevityksessä tarvitaan yksi tai useampi varastopaikka, josta helikopteri käy hakemassa lannoitteet. Varastopaikalta lannoituskuviolle lentomatkan tulisi olla alle 2,0 km. (2, s. 22.)

3.3 Ympäristön kuormitus

Metsäsertifiointin kriteereissä metsänlannoitus määritellään hyväksi metsänhoidoksi kunhan huolehditaan siitä, että estetään ravinteiden huuhtoutuminen vesistöihin. Lannoituksen ympäristöhaitat minimoidaan huolellisella työn suunnittelulla, kohteen ja lannoitteen oikeaoppisella valinnalla sekä huolellisesti toteutetulla levitystyöllä. (2, s. 24–25.)

Lannoitteen joutuminen vesistöihin vältetään jättämällä niiden varteen lannoitamaton kaista estämään lannoitteen huuhtoutumista. Metsäluonnon monimuotoisuuden kannalta tärkeiden elinympäristöjen reunoille jätetään vähintään 20-metrinen suojavaiohyke. Vesistöjen rannoille jätetään maastosta riippuen 20–50 metriä leveä suojavaio. Lannoitteiden joutuminen metsäoisiin on myös estettävä. (2, s. 24–25.) Lannoitteet levitetään aina sulaan maahan. Poikkeuksena on tuhka, jota voidaan levittää myös talvella. (3, s. 16–17.) Taulukossa 4 on Yaran antamat ohjeelliset lannoitteiden levitysajat.

TAULUKKO 4. Metsälannoitteiden levitysajankohdat (2, s. 21)

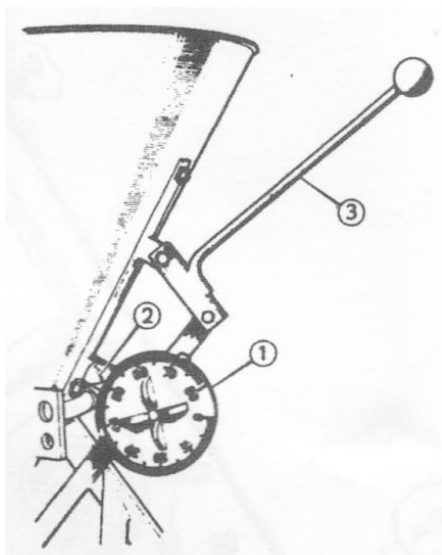
Metsän NP 1	Levitys koko kasvukauden ajan
Rauta-PK	
Pellonmetsityksen PK 1	
Suometsän Y 1	
Booriravinne	
Metsän NP 2	
Suomensalpietari	Levitys alkusyksystä pysyvän lumen tuloon saakka
Urea	

3.4 Levittimen toiminta

Keskipakolevittimen toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Siinä nopeasti pyörivä levityslautanen heittää lannoitteen ja levityskuviosta tulee aina tasainen. Levityslautasen levityssiipiä säätämällä voidaan muuttaa levittimen levityssektoria tarpeen mukaan, joko oikealle tai vasemmalle (1).

3.4.1 Syötön säätö

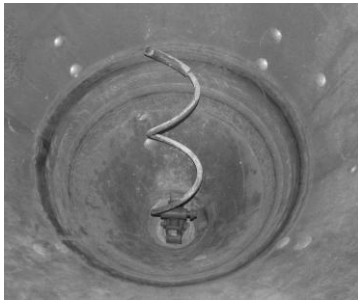
Levittimen syöttömäärä on riippuvainen syöttöaukon suuruudesta ja levityslautasen pyörintänopeudesta. Kuvassa 5 näkyvä kierrettävä syötönsäätölevy (1) on varustettu asteikolla 0–80, jonka asennon nuoli (2) määrää. Syötönsäätölevy rajoittaa vivulla (3) avattavan syöttöaukon suuruutta ja siten vaikuttaa levityslautaselle tulevan lannoitteen määrään. Syöttöaukkoon voidaan asentaa supistusarja pientä pinta-alakohtaista levitysmäärää tai levitettävän tuotteen pientä raekokoa varten. Syöttöaukko sulkeutuu painettaessa vipu ala-asentoon. (1.) Suunniteltavassa levittimen asennuksessa metsäkoneeseen syötön säätö on tarkoitus muuttaa metsäkoneen ohjaamosta hallittavaksi, joko mekaanisesti tai hydraulisesti.



KUVA 5. Levittimen syötön säätömekanismi osanumeroin (1)

3.4.2 Sekoittaja

Levittimen säiliössä on kierukan muotoinen sekoittaja, jonka tarkoitus on hajottaa mahdollisesti paakkuuntunut lannoite ja siten estää syöttöaukon tukkeutuminen. Kuvassa 6 näkyvä sekoituskierukka voidaan myös poistaa. Levitysmäärää sekoittajan käyttö lisää noin 5–10% verrattuna ilman sekoittajaa levitykseen. (1.)



KUVA 6. Sekoituskierukka levittimen lannoitesäiliössä

3.4.3 Kenttäkoe

Tavoitellun lannoitteen levitysmäärän toteutuminen voidaan todeta kenttäkokeella. Keskipakolevittimen lannoitteen syöttömäärä aikayksikköä kohti on traktorin kulkunopeudesta riippumaton samalla levittimen kierrosluvulla, mutta pinta-alayksikköä kohti syöttömäärä taas muuttuu nopeuden mukaan. Helpoin ja nopein tapa on laskea, kuinka pitkälle yksi 40 kg:n lannoitesäkki riittää. Levittimen keskimääräinen työleveys kierrosnopeudella 540 rpm on noin 7 metriä. Hehtaaria kohden haluttu levitysmäärä sijoitetaan myös kaavaan 1 ja tuloksena saadaan matka, jonka säkillisen lannoitetta tulisi riittää, jotta saavutetaan tavoiteltu lannoitemäärä pinta-alayksikköä kohti. (1.)

$$\frac{10000\text{m}^2 * 40\text{kg}}{x * 7\text{m}} = y$$

KAAVA 1

x = lannoitemäärä hehtaaria kohden (kg)

y = matka, jonka lannoite riittää (m)

Suunniteltavan metsänlannoituskäytön osalta kaavaan joudutaan vielä lisäämään yksi muuttuja, jos levittimellä ei saavuteta ajouraverkostosta riippuen yhtenäistä lannoitteen levitysleveyttä. Muuttuja on lannoittamattoman alan leveys z , jonka muodostamalle pinta-alalle kuitenkin lasketaan lannoitteen olevan käytössä lannoitetulta alalta puiden juuriston välityksellä. Toisaalta tällä menettelyllä metsäojien viereen jää riittävä lannoittamaton kaista estämään lannoitteen huuhtoutumista vesistöihin. Siten kaava 1 muuttuu kaavan 2 muotoon.

$$\frac{10000\text{m}^2 * 40\text{kg}}{x * (7\text{m} + z)} = y$$

KAAVA 2

z = lannoittamattoman alan leveys (m)

3.5 Käytössä olevia levitinratkaisuja

Eryyisesti ammattimaiseen metsänlannoituskäyttöön markkinoilta löytyy Ponsen valmistama Ponsse-metsäkoneisiin kiinnitettävä apulannanlevitin (kuva 7). Levitin on tehokas, työleveydeltään 10–38 metriä ja sitä ohjataan koneen oman ohjausjärjestelmän kautta. Levittimessä on muun muassa lannoitteen levitysmääränsäätöautomatiikka ajonopeuden mukaan. (5, s. 1–2.)



KUVA 7. Ponsse-metsäkoneisiin asennettava apulannanlevitin (5)

Koneviesti on seurannut mönkijällä suoritettavan metsänlannoituksen kehitystä laitteistojen osalta. Koneviesti 5/2010 on tutustunut kuvassa 8 näkyvään Kauhavan Kone ja Metallin ja Nord Millsin yhteistyönä kehittelemään levittimen prototyyppiin, joka on asennettu mönkijän perävaunuun (6, s. 52).

Rakeisilla lannoitteilla laite toimi hyvin, mutta rakenteeltaan murustuva Rauta-NK-lannoite ei kulkenut syöttöruuvissa odotetulla tavalla vaan tukki sen. Yleisesti tavoiteltu lannoitteen levitysmäärä hehtaarille vaati kaksi levityskertaa. Käytännössä mönkijä sekä perävaunu tulisi testin perusteella olla varustettu teiloilla, jotta maastokelpoisuus olisi riittävä. Testin perusteella prototyyppi on jo varsin toimiva ja pienellä hienosäädöllä jopa valmis tuotantoon. Levittimen toimintaidean, jossa lannoite nostetaan ruuvilla lavalta levityslautaselle, todetaan olevan käyttökelpoinen isompiinkin laitteisiin. (6, s. 52–53.)



KUVA 8. Koneviestin testaama mönkijäyhdistelmä metsänlannoitukseen (6, s. 52)

4 RAKENTEEN SUUNNITTELU

Rakenteen suunnittelussa voidaan käyttää apuna vaatimuslistaa. Siinä tehdään selväksi vaaditut tavoitteet ja rajoitukset tuotteelle, jotta välttyttäisiin virheellisiltä suunnitelmilta. Vaatimuslistaan asiat kirjataan vaatimusten ja toivomusten muodossa. Vaatimukset tulee täyttää kaikissa olosuhteissa. Toivomukset otetaan mahdollisuuksien mukaan huomioon, esimerkiksi kustannusten sallimissa rajoissa. Vaatimuslistaa voidaan laatia esimerkiksi kuvan 9 päätunnusten mukaisesti ja lyödä lukkoon määrälliset ja laadulliset vaatimukset tuotteelle. (7, s. 64–67.) Lannoituskoneen rakenteen toteutukselle on asetettu tavoitteita jo tämän opinnäytetyön lähtötietomuiston laadinnan yhteydessä. Ne ja myöhemmin lisätyt tavoitteet suunnittelulle on laadittu vaatimuslistan muotoon (liite 1).

Geometria	Suuruus, korkeus, leveys, pituus, läpimitta, tilantarve, lukumäärä, järjestely, liitäntä, lisäys ja laajennus
Kinematiikka	Liiketapa, liikesuunta, nopeus, kiihtyväisyys
Voimat	Voiman suuruus, suunta ja useus, paino, kuorma, muodonmuutos, jäykkyys, jousto-ominaisuudet, vakavuus, resonanssitilat
Energia	Teho, hyötysuhde, häviö, kitka, ilmanvaihto, olosuureet kuten paine, lämpötila, kosteus, lämmitys, jäähditys, liitäntäenergia, varaaminen, työn tarve, energiamuunnos
Aines	Tulo- ja lähtötuotteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, apuaineet, laatumääräykselliset aineet (elintarvikelaki yms.) Ainesvuo ja materiaalin kuljetus
Signaali	Tulo- ja lähtösignaalit, osoitustapa, käyttö- ja valvonta laitteet, signaalin muoto
Turvallisuus	Välitön turvallisuustekniikka, suoja järjestelmät, käyttö-, työ ja ympäristöturvallisuus
Ergonomia	Ihminen-kone-suhde: käyttö, käyttötapa, havainnollisuus, valaistus, muotoilu
Valmistus	Tuotantopaikkojen määräämät rajoitukset, suurin valmistettavissa oleva mitta, suosituin valmistus menetelmä, valmistusväline, mahdolliset laatu- ja toleranssi- vaatimukset
Tarkastus	Mittaus- ja testausmahdollisuudet, erityiset määräykset (SFS, ASME, DIN, ISO, TÜV, muut ohjelehdet)
Asennus	Erytyiset asennusohjeet, kokoonpano, lisäasennus, asennus rakennuspaikalla, perustukset
Kuljetus	Nosturien aiheuttamat rajoitukset, rataprofiili, koon ja painon mukaiset kuljetustiet, lähetystapa ja -ehdot
Käyttö	Meluttomuus, kulumisnopeudet, käyttö- ja markkina-alue, käyttöpaikka (esim. rikki pitoinen ilma, tropiikki..)
Kunnossapito	Huollon tarpeettomuus tai huoltojen lukumäärä ja ajan tarve, tarkastus, vaihdot ja kuntoonpano, maalaus, puhdistus
Kierrätys	Jälleenkäyttö, jälleenhyödyntäminen, päätevarastointi, poisto
Kustannukset	Sallitut maksimivalmistuskustannukset, työkalukustannukset investoinnit ja kuoletukset
Määräajat	Kehitystyön loppu, välivaiheiden toimintaverkko, toimitusaika

KUVA 9. Ohjelista vaatimuslistan laadintaa varten (7, s. 68)

4.1 Suunnittelua koskevat määräykset

Koneen suunnittelua koskevat useat määräykset. Tämän työn suunnittelussa on huomioitu konedirektiivi sekä standardeja soveltuvin osin. Tärkeimmät suunnitteluun vaikuttaneet asiat on käyty pääkohdin läpi.

4.1.1 Konedirektiivi

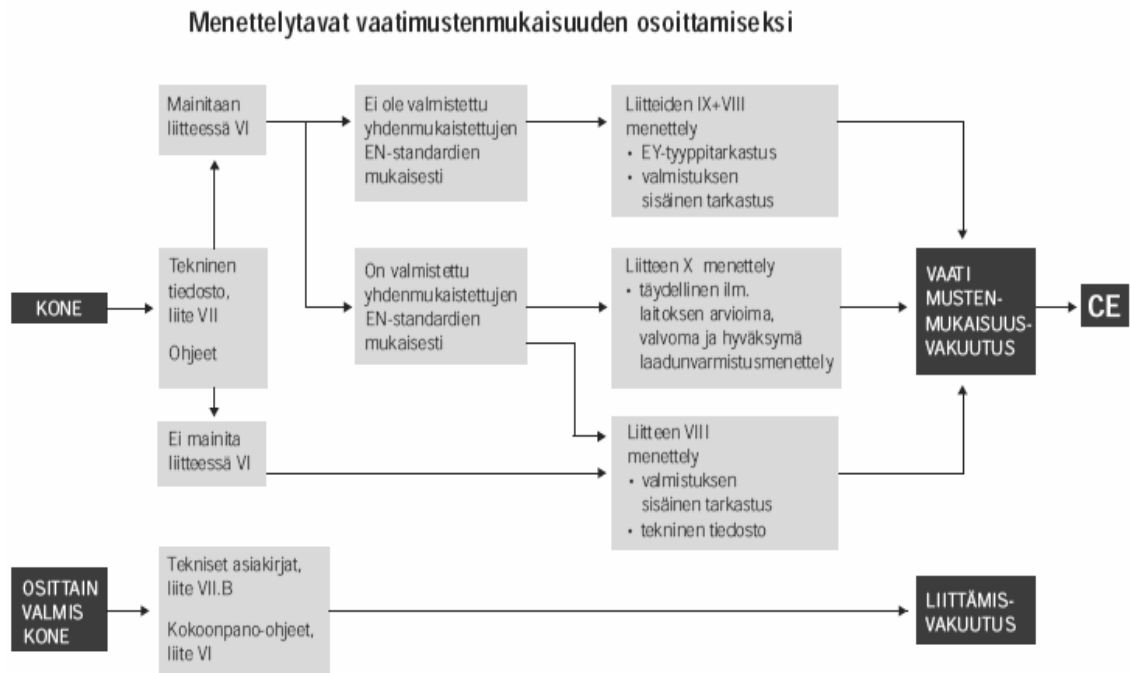
Koneen valmistajan on noudatettava Euroopan talousalueella vuonna 2006 uusittua konedirektiiviä vastaavia kansallisia säädöksiä 29.12.2009 alkaen. Suomessa tätä uutta konedirektiiviä vastaa valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta (8). (9, s. 3.) Työsuojeluhallinto on laatinut ohjeen (9) auttamaan koneiden markkinoille saattajia soveltamaan uutta konedirektiiviä eli niin sanottua koneasetusta. Ohjeessa on esitetty tärkeimmät seikat, joilla kone saadaan täyttämään koneasetuksen määräykset.

Kun kone suunnitellaan ja rakennetaan turvallisuusvaatimusten mukaisesti, laaditaan tekninen tiedosto, tehdään vaatimustenmukaisuusvakuutus ja kiinnitetään CE-merkintä, kone voidaan saattaa koneasetuksen mukaisesti markkinoille. Koneasetus koskee sitä osapuolta, joka saattaa koneen markkinoille, esimerkiksi valmistajaa tai jälleenmyyjää. Koneasetusta sovelletaan kaikkiin 29.12.2009 alkaen valmistettuihin koneisiin. Asetus koskee Euroopan talousalueelle toimitettavia, kotimarkkinoille ja omaan käyttöön valmistettavia niin sarjavalmisteesia kuin yksittäin valmistettuja aina pienistä käsikäyttöisistä koneista suuriin konelinjoihin saakka. Asetusta sovelletaan siis jokaiseen uuteen koneeseen. Jos koneen käyttäjä itse rakentaa konelinjan esimerkiksi eri valmistajien koneista, vastaa hän myös kokonaisuudesta. (9, s. 3–4.) Koneasetuksessa on lisäksi lueteltu ne kone- ja laiteryhvät joita asetus ei koske. Valmistajan tekemä riskinarviointi määrittää, mitkä muut säädökset voivat koskettaa konetta (9, s. 5). Olennaiset turvallisuusvaatimukset esitetään koneasetuksen liitteessä 1. Apuna voidaan käyttää yhdenmukaistettuja standardeja tulkittaessa kyseisiä turvallisuusvaatimuksia. (9, s. 8.)

Koneasetuksen tulkintaa varten on tehtävä selväksi, minkä määritelmän mukainen työn aihe on. Vaihtoehdot ovat joko kone, vaihdettava laite tai osittain valmis kone. Koneasetuksen soveltaminen riippuu kyseisestä määrittelystä.

Koneasetuksessa koneella tarkoitetaan: "toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten". Vaihdettava laite kytketään koneeseen tai traktoriin käyttäjän toimesta ja sillä muutetaan koneen tai traktorin toimintaa tai saadaan aikaan uusi toiminto. Osittain valmis kone on melkein kuin kone, mutta ei sellaisenaan pysty suorittamaan erityistä toimintoa. Voimansiirtojärjestelmä esimerkiksi on osittain valmis kone. Osittain valmis kone on ainoastaan tarkoitettu liitettäväksi toisiin koneisiin tai muihin osittain valmiisiin koneisiin siten, että niistä muodostuu kone, johon sovelletaan koneasetusta. (8, s. 3–4.)

Näiden tietojen pohjalta tämän opinnäytetyön suunniteltavaa rakennetta pidetään osittain valmiina koneena ja siihen sovelletaan osittain valmista konetta koskevia määräyksiä. Suurin osa koneasetuksen koneita koskevista määräyksistä koskee myös osittain valmista konetta sekä osa pelkästään osittain valmista konetta. Työsuojeluhallinnon laatimassa ohjeessa (9) on hyvä kaavio helpottamaan konedirektiivin ymmärtämistä ja sen soveltamista käytäntöön (kuva 10).



KUVA 10. Koneasetuksen soveltaminen (9, s. 19)

4.1.1.1 Koneen riskin arviointi

Koneen riskit ja vaaratekijät tulee arvioida ja määrittää niiden suuruus sekä merkitys. Riskit ja vaaratekijät poistetaan tai niiden aiheuttamaa riskiä vähennetään niin pieneksi kuin mahdollista huomioimalla suunnittelussa koneasetuksen turvallisuusvaatimukset ja käyttämällä standardeja. Riskien arvioinnissa otetaan huomioon mahdollisen vamman tai terveyshaitan esiintymistodennäköisyys ja ennakoitava vakavuus. Riskeihin vaikuttavat tekijät tunnistetaan ja suunnitellaan turvallisuustoimenpiteet. Tavoitteena on saada kone turvalliseksi huomioiden sen ennakoitu käyttö koko elinkaaren aikana. (9, s. 6–7.) Koneen toiminnan kannalta on kuitenkin tärkeää, että suojaustoimenpiteet sallivat koneen helpon ja turvallisen käytön eivätkä estä sen tarkoituksenmukaista käyttöä (10, s. 32). Riskien arvioinnissa ja vaaratekijöiden tunnistamisessa voidaan käyttää apuna standardia SFS EN-ISO 12100; osia 1 ja 2 sekä konekohtaisia standardeja (9, s. 7).

4.1.1.2 Koneen ohjeet

Koneen mukana tulee toimittaa ohjeet. Niiden vähimmäisisältö on esitetty koneasetuksessa. Osittain valmiin koneen valmistajan tulee toimittaa koneen mukana kokoonpano-ohjeet. Niistä tulee selvittää miten osittain valmis kone liitetään lopulliseen koneeseen vaarantamatta turvallisuutta ja terveyttä. (9, s. 10.)

4.1.1.3 Koneen tekninen tiedosto

Valmistajan tulee laatia koneesta tekninen rakennetiedosto, jonka avulla valmistaja voi tarvittaessa osoittaa koneen vaatimustenmukaisuuden. Tiedosto on säilytettävä vähintään 10 vuoden ajan valmistuspäivästä tai sarjavalmistuksessa viimeisen koneen valmistuspäivästä alkaen. Tiedoston ei tarvitse olla jatkuvasti kirjallisessa muodossa. Valmistajan on kohtuullisessa ajassa kyettävä kokoamaan aineisto viranomaisen sitä pyytäessä. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa nimetään henkilö, joka kykenee kokoamaan teknisen tiedoston ja antamaan sen viranomaisen käyttöön. (9, s. 13.)

Osittain valmiin koneen valmistajan on myös laadittava tekniset asiakirjat. Asiakirjoilla tulee pyydettyäessä voida osoittaa viranomaisille, mitä koneasetuksen vaatimuksia on sovellettu. Asiakirjoihin tulee liittää myös tiedosto, jonka vaatimukset vastaavat pääosin valmiin koneen teknisen tiedoston vaatimuksia. (9, s. 14.)

4.1.1.4 Vaatimustenmukaisuusvakuutus

Valmistajan on laadittava koneesta vaatimustenmukaisuusvakuutus, jonka avulla valmistaja vakuuttaa, että kone täyttää kaikki sitä koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Siinä on myös lueteltava ne säännökset ja standardit, joiden pohjalta kone on suunniteltu. (9, s. 14.)

Osittain valmiista koneesta tulee laatia liittämismvakuutus. Siinä koneen valmistaja vakuuttaa, että osittain valmis kone on tarkoitettu rakenteelliseksi osaksi liitet-

täväksi toiseen koneeseen, eikä siten voi toimia itsenäisesti. Siitä syystä joh-
tuen kyseinen kone ei välttämättä täytä koneasetuksen vaatimuksia eikä sitä
saa CE-merkitä. (9, s. 16.)

4.1.1.5 CE-merkintä

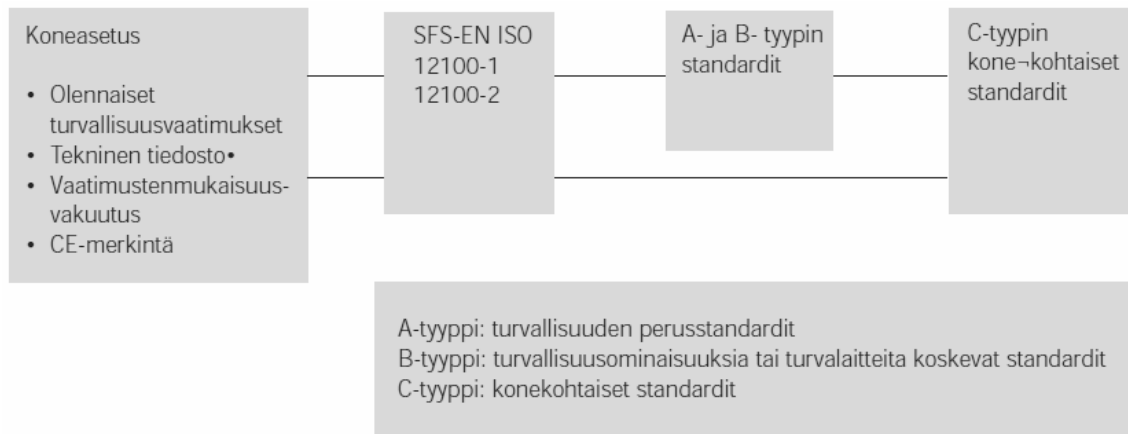
Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatimisen myötä valmistajan on itse kiinni-
tettävä CE-merkintä koneeseen ja täten valmistaja osoittaa, että kone täyttää
koneasetuksen turvallisuusvaatimukset ja mahdollisesti muut konetta koskevat
CE-merkintää edellyttävät säännökset. Kaikkiin koneasetuksen piiriin kuuluviin
koneisiin tulee tehdä CE-merkintä ennen markkinoille saattamista, paitsi osittain
valmiisiin koneisiin. (9, s. 16.)

4.1.1.6 Muuta huomioitavaa

Jos koneen komponentin paino estää sen liikuttamisen käsin, on se varustetta-
va kiinnityskorvakkeilla nostolaitteen kiinnittämistä varten (8, s. 10). Koneen
käyttötarkoituksen sallimissa rajoissa, koneen kosketeltavissa osissa ei saa olla
mahdollisesti vammoja aiheuttavia teräviä muotoja. Koneen suunnittelussa ja
rakentamisessa on estettävä riski koskettaa liikkuvia osia, tai jos riskiä ei voida
poistaa, ne on varustettava suojuksilla. Voimansiirron suojusten tulisi olla kiinteitä
suojuksia. (8, s. 15–16.)

4.1.2 Standardit

Koneensuunnittelussa standardien soveltaminen on vapaaehtoista. Noudatta-
malla koneen suunnittelussa ja rakennuksessa eurooppalaisia yhdenmukaistet-
tuja standardeja, saavutetaan lainsäädännön edellyttämät turvallisuusvaatimuk-
set. Muutoin valmistaja voi valita keinot turvallisuusvaatimuksien toteuttamiseksi
ja samalla se joutuu osoittamaan, että vaadittava turvallisuustaso on saavutettu.
(9, s. 20.) Koneasetuksen ja standardien suhde toisiinsa ja niiden soveltaminen
näkyvät kuvassa 11.



KUVA 11. Koneasetuksen ja standardien soveltaminen (9, s. 21)

4.1.2.1 SFS-EN 14861

Standardi SFS-EN 14861 + A1 koskee standardissa ISO 6814 määriteltyjä metsäkoneita, erityisesti itsekulkevia koneita ja niiden turvallisuusvaatimuksia. Kyseessä on C-tyypin standardi, joten sen vaatimukset ovat ensisijaisia muiden standardien vaatimuksiin nähden. Standardissa on käsitelty kaikki merkittävimmät metsäkoneiden vaarat, vaaratilanteet ja vaaralliset tapahtumat. Standardin käyttö yksinään ei kuitenkaan kata kaikkia merkittäviä riskejä. Standardin liitteessä A on luetteloitu merkittävät vaarat metsäkoneille. (11, s. 6.)

Kulkutien tulee täyttää seuraavat vaatimukset kun työskentelypaikka on yli 550 mm korkeudella maanpinnasta. Henkilön on voitava käyttää kolmipisteotetta kulkutiellä, jonka tulee olla standardien EN ISO 2860 ja EN ISO 2867 mukainen. Askelmat on suunniteltava sellaisiksi, että epäpuhtauksien kertyminen niille on niin vähäistä kuin mahdollista ja jalansijojen tulee estää liukastuminen. (11, s. 16.)

Koneessa tulee olla standardin EN ISO 12100-2:2003 kohdan 6.5 ja tapauskohtaisesti joko standardin ISO 3600 tai ISO 6750 mukainen käyttöohjekirja, jossa annetaan ohjeet koneen turvallisesta käytöstä ja kunnossapidosta (11, s. 24). Koneessa tulee olla myös standardin EN ISO 12100-2:2003 kohdan 6.4 mukaiset merkinnät ja varoitukset (11, s. 26–28). Suunnittelussa on lisäksi otettava huomioon standardeissa EN ISO 12100-1 ja EN ISO 12100-2 esitetyt periaat-

teet muiden ominaisten vaarojen torjumiseksi, joita ei ole esitetty tässä standardissa (11, s. 12).

4.1.2.2 SFS-EN ISO 2867

Standardissa SFS-EN ISO 2867 esitetään maansiirtokoneiden kulkuteitä kuten tasoja, käsijohteita ja kädensijoja koskevat vaatimukset. Seuraavia merkittäviä vaaroja on käsitelty: liukastuminen, kompastuminen, putoaminen, epäterveelliset asennot sekä liialliset ponnistelut. (12, s. 8.)

Käden ja jalan sijoittamisen kulkutiellä on oltava itsestään selvää ilman erikoiskoulutusta. Kaksipistetuenta on sallittua liikuttaessa kulkutasoilla ja tasoilla. Kaksipistetuenta mahdollistaa henkilön kahden jalan tai yhden käden ja yhden jalan käyttämisen samanaikaisesti liikuttaessa. Telaketjujen pintaa voidaan käyttää astinpintana, mikäli kolmipistetuennan käyttö on mahdollista. Kolmipistetuenta mahdollistaa henkilön kahden käden ja yhden jalan tai kahden jalan ja yhden käden käyttämisen samanaikaisesti liikuttaessa. (12, s. 14.) Ensimmäisen askelman korkeus maasta saa olla enintään 700 mm. Yksittäinen joustavasti asennettu askelma ei saa siirtyä minkään tason suhteen enempää kuin 80 mm standardissa mainitulla testikuormalla ja suurin sallittu kallistuvuus on 15 °. (12, s. 20.) Epäselväksi jää onko teräsivoin varustettu kumitela astinpintana verrattavissa telaketjuun. Metsäkoneen kumitelan korkeus maan pinnasta on 680 mm, joten se täyttää mittojen puolesta ehdot askelman osalta. Askelmille annetaan standardissa tarkat mitoitusohjeet.

Kulkuteiden tai tasojen kävely- ja seisomapintoihin ei saa muodostua pysyviä muodonmuutoksia kohdistettaessa niihin seuraavia kohtisuoria voimia peräkkäisesti, ei kuitenkaan samanaikaisesti. 2 000 N voima kohdistetaan mihin tahansa kohtaan halkaisijaltaan 125 mm ympyrän muotoisen kiekon välityksellä. Tasaisesti neliömetrin suuruiselle pinta-alalle kohdistettava 4 500 N voima. Suhteutettu voima sallitaan jos pinta-ala on alle 1 m². Kulkutasojen pinnoissa ei saa olla aukkoja, joista halkaisijaltaan suurempi kuin 40 mm kuula mahtuisi läpi. (12, s. 16.) Kulkutien astumiseen käytettävien pintojen on oltava liukastumista estä-

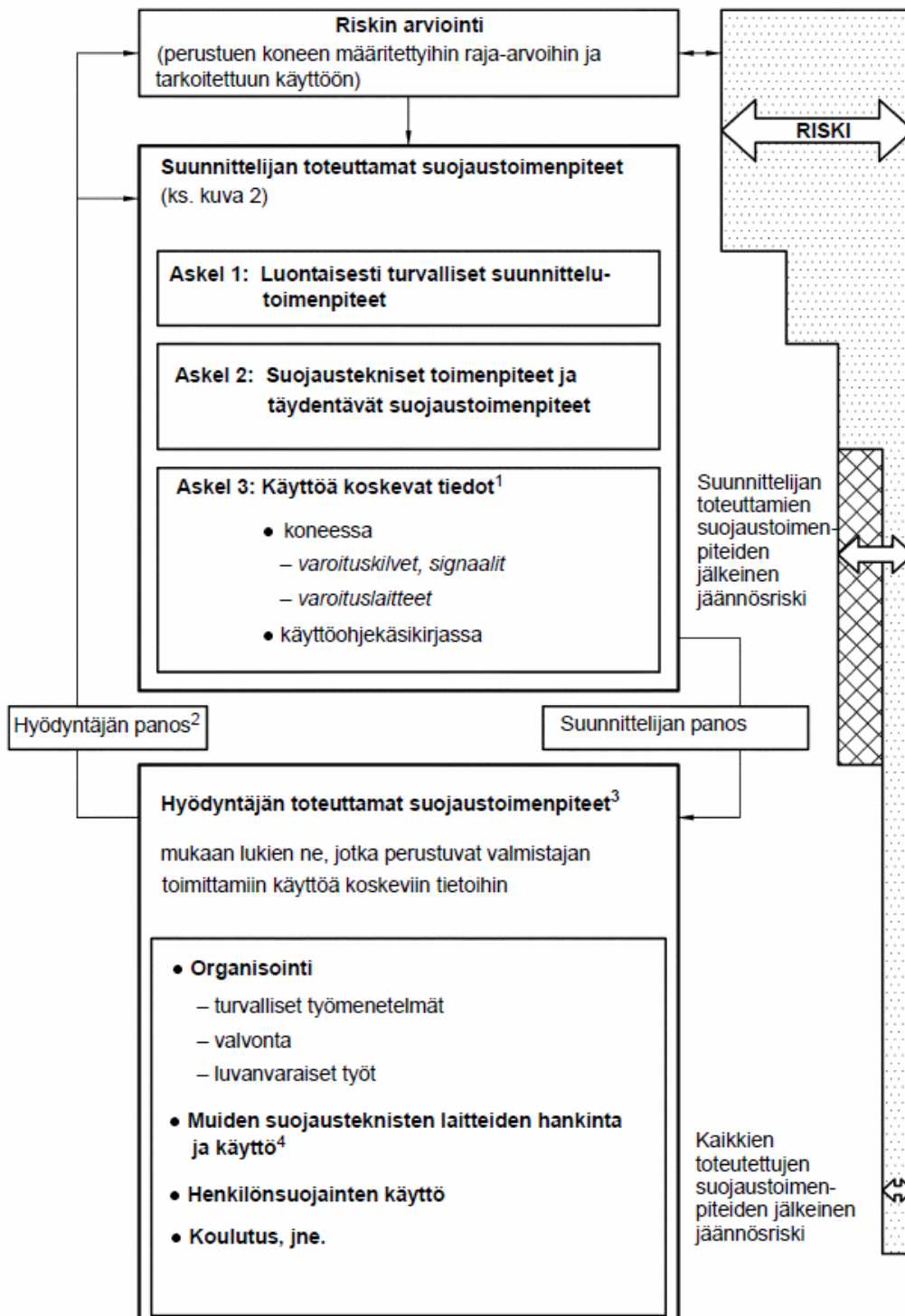
viä (12, s. 14). Jos jalka voi luiskahtaa kulkutasolta, se on varustettava jalkalislalla. Tasojen ja jalkalistojen on oltava annettujen mittojen mukaisia. (12, s. 26.)

Käsijohteiden ja kädensijojen on kestävä jokaisessa kohdassa mistä suunnasta tahansa vaikuttava vähintään 1 000 N voima ilman pysyviä muodonmuutoksia. Joustavat rakenteet saavat joustaa kuormitettaessa enintään 80 mm. (12, s. 16.) Käsijohteen ja kädensijan suositeltava poikkileikkaus on ympyrä (12, s. 22). Käsijohteiden ja kädensijojen mitoitukseen ja muihin muotoihin on annettu myös tarkat ohjeet.

4.1.2.3 SFS-EN ISO 12100

Standardi SFS-EN ISO 12100 koostuu kahdesta osasta, jotka molemmat käsittelevät koneturvallisuutta. Osassa 1 ovat koneiden suunnittelun ja niiden turvallisuusstandardien laadinnassa noudatettavat yleiset menettelytavat sekä alan terminologiaa. Osassa 2 esitetään periaatteet siitä kuinka osaa 1 voidaan soveltaa. Standardin tarkoituksena on esittää suunnittelijoille puitteet ja ohjeet, jotta voidaan kehittää koneita, jotka ovat turvallisia niille tarkoitetussa käytössä. Tämä on A-tyypin standardi, joka esittää niin sanotut turvallisuuden perusstandardit, joita voidaan soveltaa kaikkiin koneisiin. (10, s. 8–10.)

Osassa 1 esitetään riskin pienentämisen strategia, jonka mukaan koneessa oleva vaara johtaa ennemmin tai myöhemmin vahinkoon, jos sen estämiseksi suojaustoimenpiteitä ei toteuteta. Kokonaisuutena suojaustoimenpiteet koostuvat sekä koneen suunnittelijan, että sen hyödyntäjän toteuttamista toimenpiteistä kuvan 12 mukaisesti. (10, s. 32.)



KUVA 12. Riskin pienentämisprosessi (10, s. 40)

Koneen suunnittelu alkaa raja-arvojen määrittämisellä, vaarojen tunnistuksella ja riskien suuruuden sekä niiden merkityksen arvioinnilla (10, s. 34). Suunniteltavan koneen osalta kyseisiä kohtia on käyty läpi standardin avulla ja listattu tuloksia.

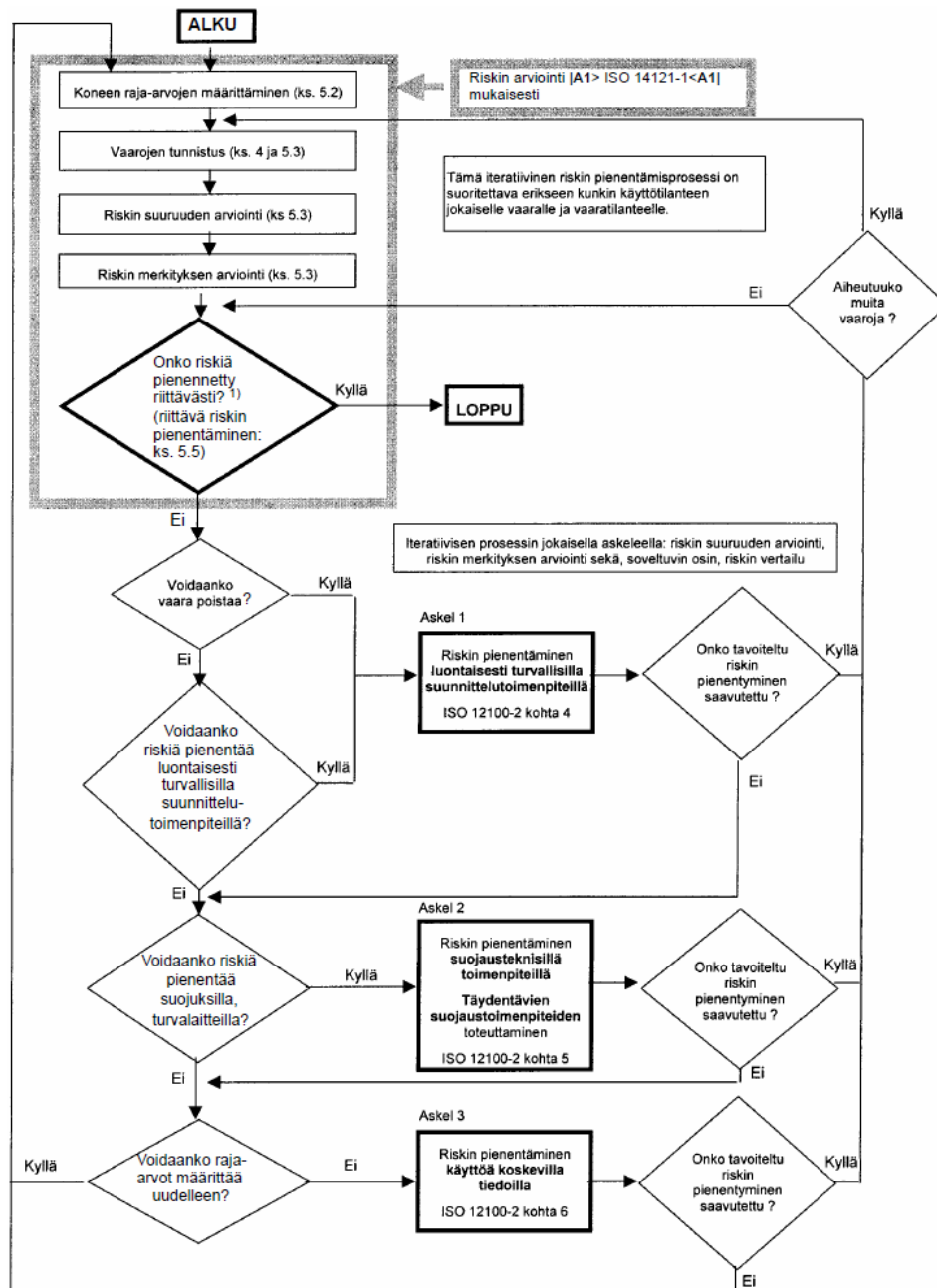
Raja-arvoihin liittyviä riskejä ovat seuraavat:

- asennuksen myötä metsäkoneen painopisteen muutos haitalliseksi
- liian suuri pyörintänopeus levittimelle
- rakenteen ylikuormittaminen
- ennakoidun käyttöiän jääminen huomattavasti pienemmäksi.

Seuraavaan on koottu suunniteltavalle rakenteelle määritetyt vaarat ja vaaratilanteet. Suluissa on arvioitu niiden aiheuttaman riskin suuruus:

- rakenteen geometriset muodot esimerkiksi terävät nurkat (keskisuuri)
- lannoitteen täyttö levittimeen (keskisuuri)
- levittimen ja kiinnitysten asennus rungolle sekä asennuksen purkaminen (pieni)
- käytössä levittimen pyörivät osat (pieni)
- levittimen jääminen toimintaan lannoitetta lisättäessä (suuri)
- liukastuminen tai takertuminen rakenteisiin lannoitesäiliötä täytettäessä (suuri)
- levitystyössä riittävä vaara-alue sivullisiin levityslautaselta sinkoilevien lannoiterakeiden ja mahdollisten epäpuhtauksien vuoksi (suuri)
- lannoitesäkkien nosto ja sijoittelu kuormatilaan (keskisuuri)
- nosturin tai riippuvan lannoitesäkin alle joutuminen (suuri).

Suojaustoimenpiteitä tavoitteiden saavuttamiseksi standardin mukaan on sovellettava peräkkäisessä järjestyksessä kuvan 13 kaavion mukaisesti, jota kutsutaan 3-askeleen menetelmäksi (10, s. 36). Ensimmäisessä vaiheessa vaarat pyritään poistamaan tai niitä vähennetään suunnittelemalla ja rakentamalla kone mahdollisimman turvalliseksi. Toisessa vaiheessa vaarat poistetaan suojausteknisillä toimenpiteillä, jos niitä ei voida poistaa tai rajoittaa suunnitteluvaiheessa. Kolmannessa vaiheessa mahdollisesti vielä kahden ensimmäisen vaiheen jälkeen jäljellä olevista vaikuttavista vaaratekijöistä ilmoitetaan koneen vastaanottajalle. Tarvittaessa ilmoitetaan erikoiskoulutuksen tarpeesta ja mahdollisista henkilösuojainten tarpeesta. (9, s. 8–9.)



KUVA 13. Riskin pienentämisprosessin iteratiivinen 3-askeleen menetelmä (10, s. 42)

Riskin pienentämisprosessi voidaan lopettaa, kun on saatu aikaan riittävä riskin pienentäminen sekä myönteinen lopputulos riskin vertailussa kuvan 13 kaaviossa. (10, s. 36). Standardin osan 2 avulla voidaan etsiä ratkaisuja riskien pienentämiseksi. Levitinyksikön suunnittelussa riskiä pienentäviä ratkaisuja ovat

- oikean painopisteaseman tavoittelu
- hydraulikkaletkujen kotelointi
- liukastumista estävän pinnan käyttö

- ohjeistus suurimmasta sallitusta kuormasta
- rakenteen lujuuslaskenta riittävällä varmuuskertoimella
- terävien nurkkien ja kulmien välttäminen rakenteessa
- jäljelle jäävästä pyörivien osien vaarasta varoittaminen kuvatunnuksella
- ohjeistus ja levittimen kiinnityksen asennus- ja purkuvaiheiden menetelmöinti
- metsäkoneen nosturissa sijaitsevan vaara-alue-varoitusmerkinnän vaikutusalueen nostaminen 20 metristä harkinnan mukaan 50–70 metriin.

4.1.2.4 SFS-ISO 3600

Standardissa SFS-ISO 3600 annetaan ohjeet käyttöohjekirjojen sisällöstä sekä esitysmuodosta ja se koskee traktoreita, maatalous- ja metsäkoneita sekä puutarhakoneita. Standardi on tarkoitettu koneiden valmistajien avuksi käyttöohjekirjojen tekemiseen. (13, s. 6.) Tunnistetiedoista tulee olla tunnistettavissa konejohon käyttöohje kuuluu (13, s. 8). Standardissa annetaan hyvin yksityiskohtaiset tiedot mitä ja miten tulee käyttöohjekirjassa esittää. Ohjeet kattavat koko koneen elinkaaren.

4.1.2.5 SFS-ISO 11684

Standardissa SFS-ISO 11684 esitetään muun muassa maatalous ja metsäkoneisiin luokiteltaviin koneisiin pysyvästi kiinnitettävien turvallisuuskilpien ja vaaratekijöiden kuvatunnusten suunnittelun ja käytön periaatteet. Turvallisuus on otettava huomioon koneen elinkaaren kaikissa vaiheissa. Riskejä on vähennettävä niin paljon kuin mahdollista. Rakenneratkaisuista ja turvalaitteista huolimatta joitakin riskejä voi jäädä jäljelle. Turvallisuuskilvet varoittavat vaaralle alttiina olevia henkilöitä sellaisista riskeistä. Turvallisuuskilven tarkoitus on yksilöidä vaaratekijä ja kuvailla sen luonnetta, osoittaa siitä aiheutuva mahdollinen vamma sekä neuvoa, miten vaara voidaan välttää. (14, s. 4.)

Turvallisuuskilpi koostuu kahdesta tai useammasta suorakaiteen muotoisesta kentästä, joilla välitetään tietoa vaaroista (14, s. 4). Varoitusviestikenttä sisältää

yleisen varoitusmerkin ja jonkin kolmesta varoitusviestistä, vaara, varoitus tai huomio. Kuvatunnuksia on kahta perustyyppiä, itse vaaratekijää havainnollistavat ja vaaratekijän välttämistä esittävät. (14, s. 8.) Hyvin laaditusta kuvatunnuksesta tulisi selvästi tunnistaa vaaratekijä ja saada käsitys mahdollisista seurauksista, joita ohjeen noudattamatta jättäminen voi aiheuttaa (14, s. 10). Turvallisuuskilpien väreille löytyy myös standardista selkeät ohjeet käytettävästä varoitusviestistä riippuen.

Levittimen pyörivien osien vaarasta varoittava turvallisuuskilpi on kuvan 14 mukainen ja se kiinnitetään levittimen takaosaan. Turvallisuuskilven välittämän kuvallisen viestin mukaan tulee odottaa, että kaikki osat ovat pysähtyneet ennen niihin koskettamista (14, s. 50). Noudattamatta jättämisestä voi olla seurauksena sormen tai kämmenen leikkautuminen (14, s. 28). Väriytyksen tulee olla kuvan 14 mukainen.

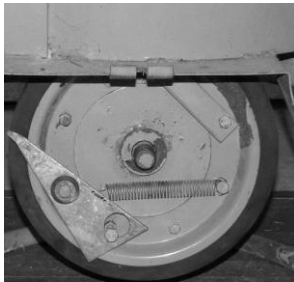


KUVA 14. Levittimeen kiinnitettävä turvallisuuskilpi (14, s. 50)

4.2 Käyttövoiman valinta

Traktorikäyttöisenä levitin saa tarvittavan käyttövoiman traktorin voimanulosoton kautta. Levittimen suositeltu pyörintänopeus on 540 rpm, jolla myös saavutetaan suurin työleveys.

Metsäkoneessa ei ole traktorin kaltaista nostolaitekiinnitystä eikä myöskään traktorin kaltaista voimanulosottoa. Tästä johtuen levittimelle on valittava ja suunniteltava uusi tapa käyttövoiman saamiseksi. Levitin on tarkoitus rakenteeltaan säilyttää edelleen tarvittaessa traktoriin liitettävänä, joten levittimen rakenne kiinnityspisteiden sekä levitinlautasen voimansiirron osalta säilytetään ennallaan. Traktorin voimanulosotosta voima siirretään levittimelle nivelakselilla kuvassa 15 näkyvään vasenkätisellä M24-kierteellä varustettuun akseliin kierrettävän nivelristikon välityksellä.



KUVA 15. Levittimen käyttövoiman kytkentäpaikka

Käyttövoimaksi levittimeen voidaan valita joko sähkö, hydraulikka tai erillinen oma polttomoottori. Sähkömoottoriksi tarvittaisiin niin tehokas moottori ettei metsäkoneen oma sähköjärjestelmä kykene sitä käyttämään, joten se jää vaihtoehtoista heti pois.

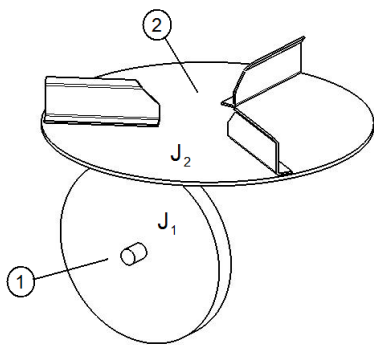
Polttomoottorille on tyypillistä epätasainen käynti, joka aiheuttaa jatkuvaa värähtelyä. Pahimmillaan kyseinen värähtely voi tuhota koko voimansiirtojärjestelmän, jos herätteen taajuus osuu vääntöresonanssin ominaistaajuudelle. Mäntämoottorikäyttöön tulee aina rakentaa riittävä resonanssin vaimennus ja joustavien kytkimien avulla saadaan ominaistaajuutta laskettua alas. (15, s. 74.) Erillinen polttomoottori olisi vaihtoehtoista kaikista kallein toteuttaa, koska sii-

hen tulisi valita luotettava ja käyttövarma moottori sekä sovittaa tarvittava voimansiirto, eli kytkin ja alennusvaihde.

Metsäkoneen omasta kuormaimen hydraulikkapiiristä on mahdollista ottaa käyttövoimaa hydraulipumpun tuoton rajoissa, koska koneella ajon aikana nosturia ei tarvitse käyttää. Hydraulimoottorikäytöllä myös levittimen pyörintänopeutta voidaan säätää helposti ja levittimen voimansiirto voidaan kytkeä toimintaan ja pois toiminnasta pehmeästi. Valitaan alustavasti hydraulimoottori käyttövoimaksi, tai jos siitä saatava teho ei riitä, ainoaksi vaihtoehdoksi jää polttomoottori.

4.3 Tehontarpeen määrittely

Sopivan hydraulii- tai polttomoottorin valinta edellyttää levittimen tehontarpeen laskentaa, koska mistään ei löydy vähimmäisvaatimusta tehontarpeelle. Kuvan 16 merkintöjen mukaisesti levittimen levityslautasta (2) pyöritetään kitkapyörän (1) avulla, johon kytketään levittintä käyttävä ulkopuolinen voima.



KUVA 16. Levittimen voimansiirron periaatekuva

Levittimen voimansiirron tarkka tehontarpeen määrittäminen on työlästä laskemalla. Voimansiirtorakenteessa on pyörimistä jatkuvasti vastustavia kuormia, jotka aiheuttavat pyörimistä vastustavan kuormamomentin (16, s. 277). Levitinlautaseen ja kitkapyörään vaikuttavia pyörimistä jarruttavia momenteja ovat molempien akseleiden laakerikitkat, kitkapyörän vierintävastusvoima ja levitinsiipiin kohdistuva ilmanvastusvoima. Yksinkertaistamalla saadaan laskettua suuntaa antava arvo.

Pyörivälle kappaleelle voidaan määrittää liikemäärämomentti. Se on pyörivän kappaleen ominaisuus, jota vastaa kappaleen liikemäärä etenemisliikkeessä. Mekaniikan kolmas säilymlaki, eli liikemäärämomentin säilymlaki liittyy pyörivien kappaleiden muodostamaan systeemiin. Ulkoisten voimien vaikuttaessa kappaleeseen sen liikemäärämomentti muuttuu. Kokonaismomentin impulssi vastaa siis kappaleen liikemäärän muutosta. (17, s. 230–235.) Momentin impulssi lasketaan kaavalla 3, liikemäärämomentti kaavalla 4 ja momentin impulsilaki nähdään kaavasta 5 (18, s. 93).

$$K = Mt$$

KAAVA 3

K = momentin impulssi (kgm^2/s)

M = voiman momentti (Nm)

t = momentin vaikutusaika (s)

$$L = J\omega$$

KAAVA 4

L = liikemäärämomentti (kgm^2/s)

J = hitausmomentti (kgm^2)

ω = kulmanopeus (rad/s)

$$K_A = L_2 - L_1$$

KAAVA 5

K_A = liikemäärämomentin muutos (kgm^2/s)

L_1 = liikemäärämomentti alussa (kgm^2/s)

L_2 = liikemäärämomentti lopussa (kgm^2/s)

Umpinaisen sylinterin hitausmomentti lasketaan kaavalla 6 (19, s. 113). Lasketaan kuvan 16 mukaisten kappaleiden hitausmomentit J_1 ja J_2 yksinkertaistaen ne umpinaista sylinteriä vastaaviksi käyttäen todellisia massoja ja halkaisijoita. Kytkimelle lasketaan suuntaa antava hitausmomentti. Hydraulimoottorille ei valmistaja ilmoita hitausmomenttia, joten käytetään yhtä suurta arvoa kuin kytkimellä on.

$$J = \frac{1}{2}mr^2$$

KAAVA 6

m = kappaleen massa (kg)

r = kappaleen säde (m)

$$J_1 = \frac{1}{2} * 5,0 \text{ kg} * (0,14 \text{ m})^2 \approx 0,05 \text{ kgm}^2$$

$$J_2 = \frac{1}{2} * 10,2 \text{ kg} * (0,24 \text{ m})^2 \approx 0,30 \text{ kgm}^2$$

$$J_{\text{kytkin}} = J_{\text{moottori}} = \frac{1}{2} * 1,44 \text{ kg} * (0,035 \text{ m})^2 \approx 0,0009 \text{ kgm}^2$$

Voimansiirron kokonaishitausmomentti koostuu yhteenlasketuista tehon lähteen perässä olevien osien hitausmomenteista. Kaikki hitausmomentit redusoidaan käyttävän moottorin akselille kaavalla 7. (16, s. 278.)

$$J_{\text{red}} = J_{\text{moottori}} + J_{\text{kytkin}} + J_1 + J_2$$

KAAVA 7

J_{red} = redusoitu kokonaishitausmomentti (kgm²)

$$J_{\text{red}} = 0,0009 \text{ kgm}^2 + 0,0009 \text{ kgm}^2 + 0,05 \text{ kgm}^2 + 0,30 \text{ kgm}^2 \approx 0,352 \text{ kgm}^2$$

Levittimen voimansiirtoa hidastavan kuormamomentin suuruus selvitettiin kokeellisesti. Levittimen lautanen kiihdytettiin nopeuteen 540 rpm ja annettiin vapaasti pyöriä pysähdyksiin asti. Pysähtymiseen kulunut aika t_1 otettiin ylös (taulukko 5). Keskiarvoksi pysähtymisajalle tuli 5,3 s. Laskennan helpottamiseksi oletetaan, että kaikkien aiemmin mainittujen jarruttavien voimien muodostama kokonaismomentti pysyy vakiona koko hidastumisen ajan. Kulmanopeus lasketaan pyörimisnopeudesta kaavalla 8 (17, s. 192). Kun kaavat 3 ja 4 sijoitetaan kaavaan 5, saadaan kaava 9, josta lasketaan levittimen voimansiirron pyörimistä jarruttava kokonaismomentti M_{kok} .

TAULUKKO 5. Levittimen voimansiirron hidastumiskokeiden ajat

Koe	Aika (s)
1	5,9
2	4,7
3	5,0
4	5,2
5	5,8
6	5,4
7	5,1
8	5,2
9	5,2
10	5,2
Keskiarvo	5,3

$$\omega = 2\pi n$$

KAAVA 8

n = pyörimisnopeus (r/s)

$$\omega = 2\pi * \frac{540}{60 \text{ s}} \approx 56,5 \text{ 1/s}$$

$$M_{kok}t_1 = 0 - J_{red}\omega$$

KAAVA 9

t_1 = levittimen pysähtymisaika (s)

$$M_{kok} = -\frac{J_{red} \omega}{t_1} = -\frac{0,352 \text{ kgm}^2 * 56,5 \text{ 1/s}}{5,3 \text{ s}} \approx -3,8 \text{ Nm}$$

Useimmissa tapauksissa vaaditun laitteen käynnistysajan t_s perusteella lasketaan lopullinen tarvittava moottorin momentti. Se voidaan laskea karkeasti kaavalla 10. Moottorin keskimääräinen momentti käynnistytksen aikana lasketaan kaavalla 11. (16, s. 279.)

$$t_s = \frac{J_{red} * \omega}{T_{a(av)}}$$

KAAVA 10

$T_{a(av)}$ = keskimääräinen kiihdytysmomentti käynnistytksen aikana (Nm)

t_s = käynnistysaika (s)

$$T_{a(av)} = \frac{J_{red} * \omega}{t_s} = \frac{0,352 \text{ kgm}^2 * 56,5 \frac{1}{s}}{2,0 \text{ s}} \approx 9,9 \text{ Nm}$$

$$T_{a(av)} = T_{(av)} - T_{v(av)} \quad \text{KAAVA 11}$$

$T_{(av)}$ = moottorin keskimääräinen momentti käynnistyksen aikana (Nm)

$T_{v(av)}$ = keskimääräinen vasta- tai myötömomentti (Nm)

$$T_{(av)} = T_{a(av)} + T_{v(av)} = 9,9 \text{ Nm} + 3,8 \text{ Nm} = 13,7 \text{ Nm}$$

Edellisen perusteella määritetty ensiöakselin vääntömomentti toimii lähtöarvona tehonsiirtoelimiä mitoituksessa. Tarvittava teho voidaan laskea kaavalla 12. (16, s. 279.)

$$P = T_{(av)} * \omega \quad \text{KAAVA 12}$$

P = teho (W)

$$P = 13,7 \text{ Nm} * 56,6 \frac{1}{s} \approx 776 \text{ W}$$

Hydraulimoottorin täytyy siis vähintään tuottaa 13,7 Nm suuruinen vääntömomentti ja 776 W teho. Todellisuudessa levittimen sekoittaja ja levitinlautaselle säiliöstä tuleva lannoite suurentavat hieman näitä arvoja.

4.4 Hydrauliikka

Metsäkoneen ulkopuolisen hydrauliikan eli nosturin tarvitsema hydrauliikan tilavuusvirta tuotetaan omalla erillisellä hydraulipumpulla. Hydraulipumpun kierros-tilavuus on 8 cm³ ja suurin sallittu paine 175 bar. Rakenteeltaan pumppu on ulkoryntöinen hammaspyöräpumppu.

Ulkoryntöisen hammaspyöräpumpun toiminta-arvot riippuvat pumpun sisäisestä rakenteesta, kuten laakeroinnista ja vuotojen kompensoinnista. Parhaimmat

saavutettavat kokonaishyötysuhteet ovat $\eta_t \approx 0,9$, käytännössä kuitenkin usein hieman vähemmän. (20, s. 153.) Huomioimalla hyötysuhde todellinen pumpun tuotto saadaan kaavalla 13 (21, s. 63). Kuva 17 esittää graafisesti käytettävissä olevan hydrauliiikan tuoton. Laskennassa käytetään kokonaishyötysuhteelle arvoa 0,85.

$$Q = \frac{v * n * \eta}{1\,000}$$

KAAVA 13

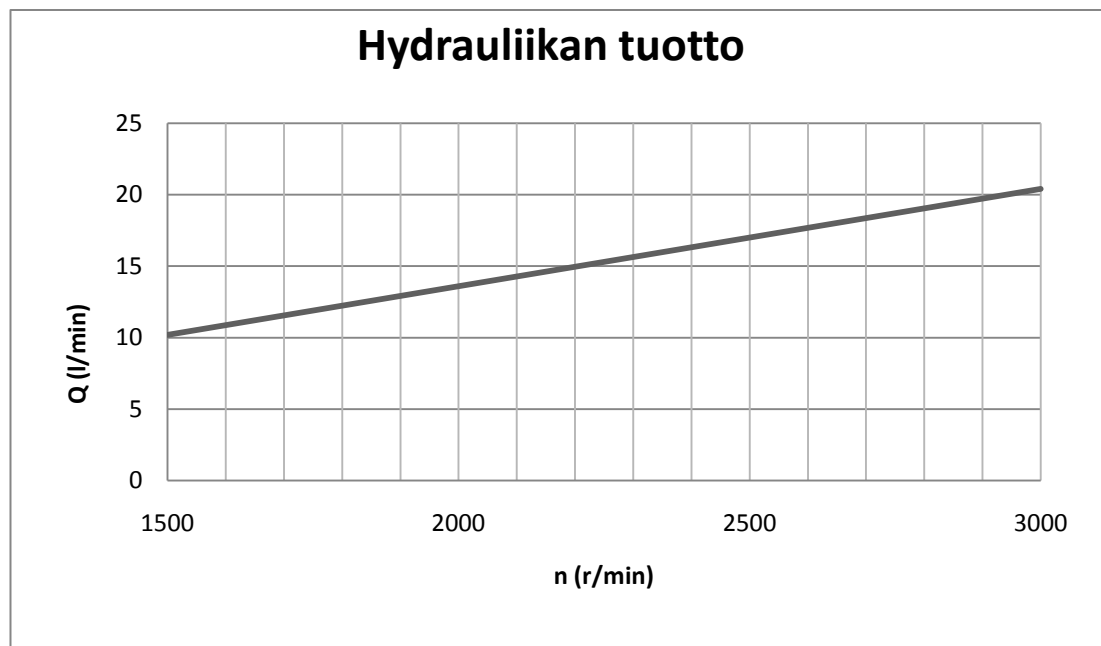
Q = öljymäärä (l/min)

v = kierroslavuus (cm^3)

n = pyörimisnopeus (r/min)

η = hyötysuhde

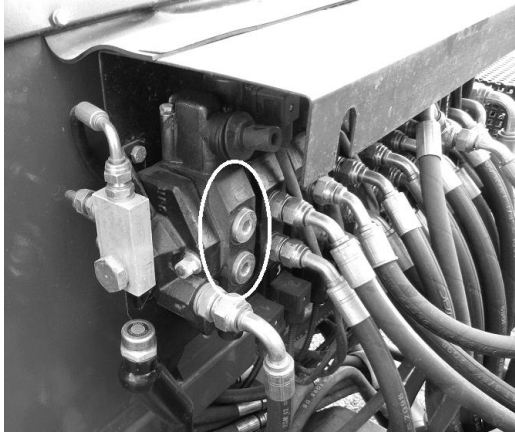
$$Q = \frac{8 \text{ cm}^3 * 2\,500 \text{ r/min} * 0,85}{1\,000} \approx 17 \text{ l/min}$$



KUVA 17. Hydrauliikan tuotto moottorin pyörimisnopeuden mukaan

Metsäkoneen nosturin hydraulikkalohkossa on yksi vapaa hydrauliiikan ulosotto, merkitty ellipsillä kuvaan 18. Vakiona siinä on käsikäyttöinen ohjaus. Suunta-venttiilin kara on liitteenä 2 olevan hydraulikaavion mukainen ja levittimen myötä

karan ohjaus muutetaan sähköiseksi. Silloin kyseessä on niin sanottu ON/OFF-tekniikka ja tavoitteena on toteuttaa levittimen käyttömoottorin pyörivä liike ja syöttöaukon ohjauksen lineaarinen liike.



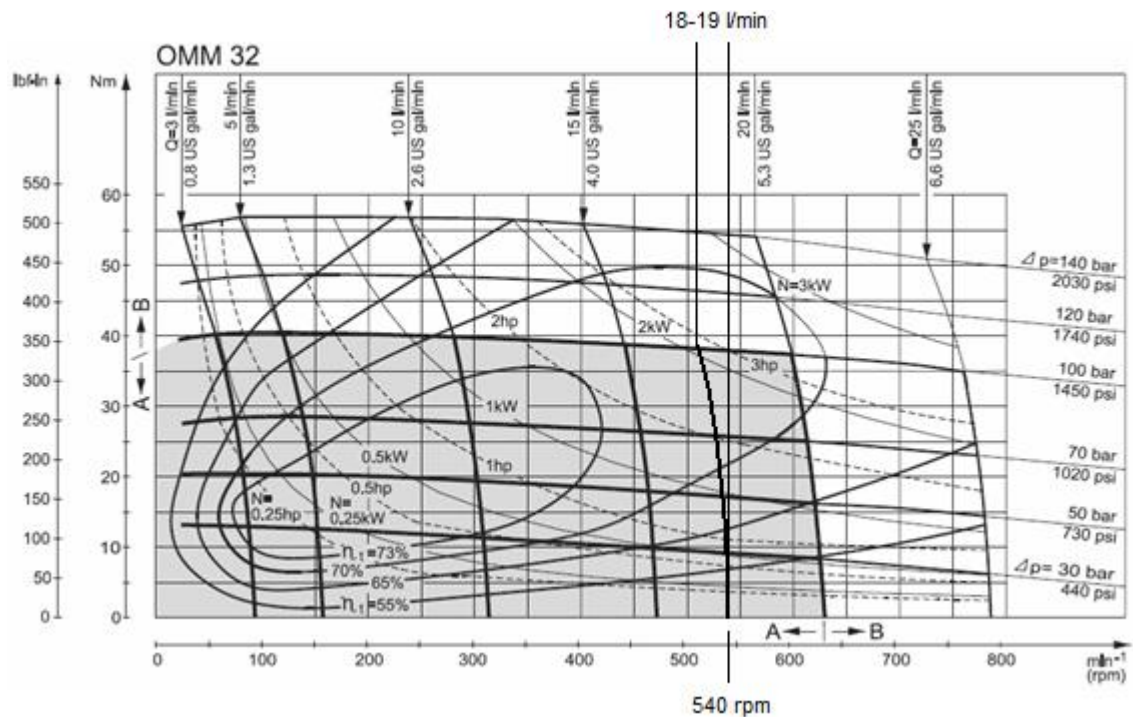
KUVA 18. Nosturin hydrauliikkalohko

ON/OFF-tekniikka on edullinen ratkaisu, kun kyseessä on vain muutama nopeus- tai voimaohje (22, s. 692). Siinä hydraulikan komponenttien mitoituksena käytetään usein pelkkää staattista mitoitusta, jossa öljyn jousto, dynaamiset kuormitukset ja ohjausviiveet jätetään ottamatta huomioon (22, s. 698). Suunniteltavassa hydraulijärjestelmässä on jo valmiina pääkomponentit: pumppu, venttiililohko, suodatin sekä jäähdytin, joten mitoituksessa keskitytään vain valitsemaan sopivan kokoinen hydraulimoottori sekä mitoittamaan käytettävien letkujen oikea koko.

4.4.1 Hydraulimoottori

Hydraulimoottorit voidaan rakenteensa perusteella jakaa hammaspyörä-, siipi- ja mäntämoottoreihin. Moottorit voidaan edelleen jakaa vakio- ja säätötilavuuksiin. Vakio-tilavuusmoottorissa pyörimisnopeuden säätö edellyttää moottorille tuotavan tilavuusvirran säätämistä. (20, s. 173.) Vakio-tilavuusmoottorit ovat hankintahinnaltaan huomattavasti edullisempia verrattuna säätötilavuusmoottoreihin.

Orbitaalimoottori kuuluu rakenteeltaan sisäryntöisiin hammaspyörämoottoreihin, ja sen rakenne on vakioilavuuksinen. Orbitaalimoottoreiden pyörimisnopeusalue moottorikoon mukaan on noin 5–2 400 r/min ja käyttöpainealue noin 3–18 MPa. Näiden moottoreiden kokonaishyötysuhde on parhaimmillaan $\eta_t \approx 0,80$ –0,85. Moottori soveltuu hyvin sekä avoimiin että suljettuihin järjestelmiin. Tyypillisissä orbitaalimoottorin sovelluskohteissa pääpaino on asennuksen helppouudessa sekä käytön joustavuudessa. Moottorin hyötysuhde ei ole tällöin tärkein valintaperuste. (20, s. 187–189.) Hydraulimoottoriksi valitaan Sauer-Danfoss OMM 32 -orbitaalimoottori, jonka ominaiskäyrästä on kuvassa 19. Ominaiskäyrästä havaitaan, että moottori saavuttaa pyörimisnopeuden 540 rpm, kuormituksesta riippuen suunnilleen tilavuusvirran arvoilla 18–19 l/min.

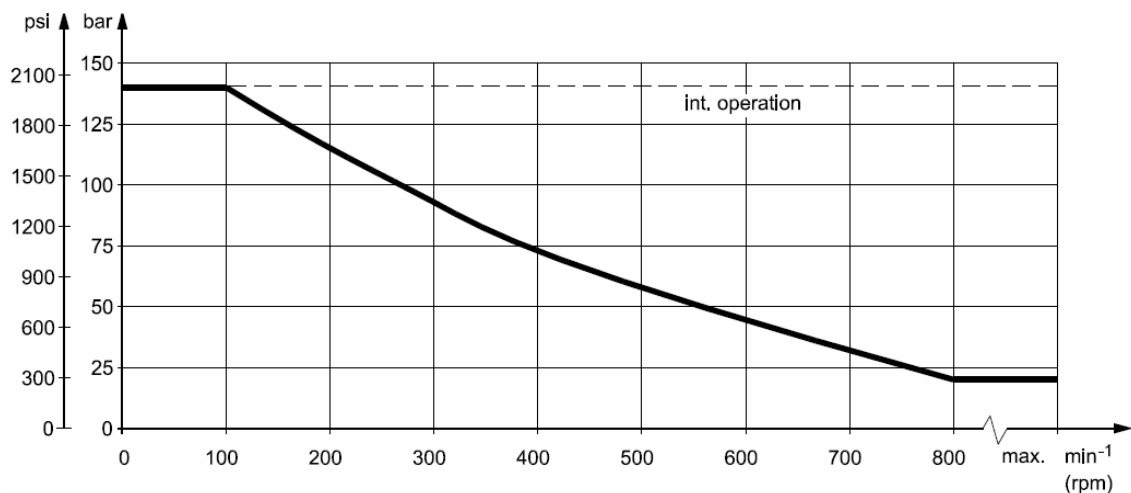


KUVA 19. Hydraulimoottorin ominaiskäyrästä (23, s. 24)

Hydraulimoottorissa esiintyy tulo- ja lähtöliitäntöjen välillä vallitsevan paine-eron vuoksi vuotoja, jotka voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin. Sisäisellä vuodolla tarkoitetaan tilavuusvirtaa, joka kulkee moottorin tuloliitännästä sisäisten välysten kautta paluuliitäntään. Ulkoinen vuoto eli niin sanottu kotelovuoto on tilavuusvirta, joka kulkee tuloliitännästä välysten kautta moottorin koteloon ja sieltä omaa kanavaa pitkin järjestelmän säiliöön. (20, s. 177.)

Valittu hydraulimoottori voidaan kytkeä järjestelmään joko omalla kotelovuodon paluulinjalla varustettuna tai ilman, jolloin kotelovuoto virtaa moottorin paluulinjaan. Moottorissa olevat vastaventtiilit huolehtivat, ettei kotelovuodon moottorin akselitiivisteeseen kohdistama öljynpaine ylitä paluulinjan painetta. (23, s. 21.)

Suunniteltavan rakenteen hydraulikaaviossa (liite 2) kotelovuodolle ei ole suunniteltu omaa paluulinjaa, joten suunnittelussa on otettava huomioon suurin sallittu paine moottorin paluulinjassa. Valmistajan laatimasta kuvaajasta (kuva 20) nähdään suurin sallittu paine moottorin pyörintänopeuden mukaan. Moottorin paluulinja liitetään suoraan öljysäiliöön, joten sen paine ei ylitä missään tilanteessa kuvassa 20 annettuja raja-arvoja.

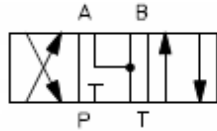


KUVA 20. Kotelovuodon suurin sallittu paine (23, s. 21)

Toisaalta suunnitellulla moottorin liitännällä varmistetaan myös se, ettei moottoria voi käyttää vahingossa väärään suuntaan. Väärä pyörimissuunta voi aiheuttaa kytkimen irtoamisen levittimen kitkapyörästä.

Hydraulimoottorin kanssa on järjestelmään kytketty rinnakkain vastaventtiili liitteenä 2 olevan hydraulikaavion mukaisesti. Levittimen voimansiirtojärjestelmässä on moottori mukaan lukien iso hitausmomentti ja paljon pyörimisenergiaa suuntaventtiilin sulkemishetkellä, koska moottoria ohjataan ON/OFF-periaattella. Suuntaventtiilin sulkemisen jälkeen vastaventtiili sallii öljyn siirtymisen paluupuolelta tulopuolelle ja moottori voi pysähtyä hyvin pienellä viiveellä

ilman rikkoontumisvaaraa. Sama asia voitaisiin järjestää vaihtoehtoisesti kalliimmalla tavalla vaihtamalla suuntaventtiilin kara kuvan 21 mukaiseksi. Se sallisi öljyn vapaan virtauksen moottorin pyörinnän hidastuessa.



KUVA 21. Vaihtoehtoinen suuntaventtiilin kara

4.4.2 Paineenrajoitusventtiili

Paineenrajoitusventtiili vaikuttaa merkittävästi järjestelmän hyötysuhteeseen. Venttiilin rajoittaessa painetta, säiliöön kulkevaa tilavuusvirtaa ei käytetä hyödyksi ja siten sen tuottamiseen käytetty teho on häviötehoa. Häviötehon minimoimiseksi tulee järjestelmä mitoittaa siten, ettei tuotettaisi tarvetta suurempaa tilavuusvirtaa. Käytännössä usein ainakin jossain vaiheessa järjestelmään tuotetusta tilavuusvirrasta osa joudutaan johtamaan paineenrajoitusventtiilin kautta takaisin säiliöön. Jatkuvan painesäädön lisäksi paineenrajoitusventtiiliä voidaan käyttää suojaamaan komponentteja paineiskuilta. (20, s. 261–262.)

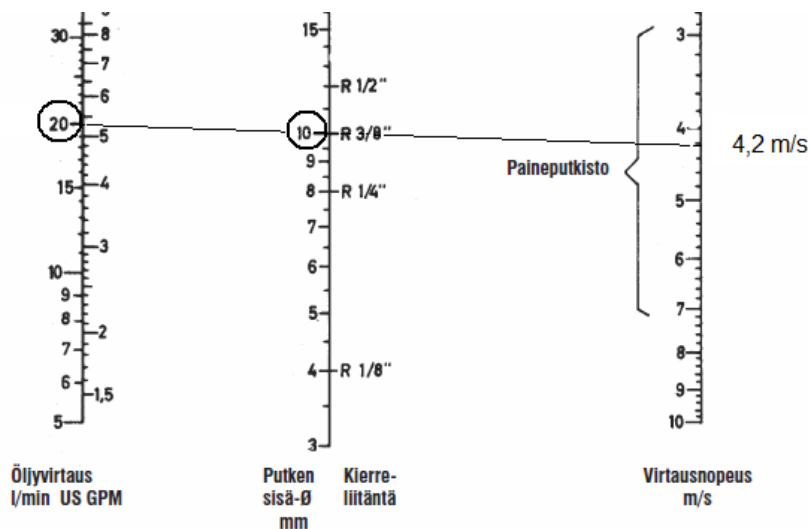
Toimilaitteen liikenopeutta vakio-tilavuuksisella rakenteella voidaan säätää ai-noastaan muuttamalla sille tulevaa tilavuusvirtaa. Liikenopeuden säätäminen tilavuusvirtaa kuristamalla edellyttää ylimääräisen tarpeettoman tilavuusvirran ohjaamista muualle, tavallisesti paineenrajoitusventtiilin kautta säiliöön. Paineenrajoitusventtiilin kautta kulkevan virtauksen aiheuttaman tehohäviön lisäksi myös kuristus itse aiheuttaa hyötysuhdetta heikentävän painehäviön. Kyseisten haittojen vuoksi kuristussäätöä käytetään vain pieni- ja keskitehoisissa järjestelmissä. (20, s. 299–300.)

Häviötehon minimoimiseksi hydraulimoottori on valittu siten, että se tuottaa riit-tävän tehon ja toimii oikealla pyörimisnopeudella levittimeen nähden. Hydrauli-kaavion (liite 2) mukainen järjestelmään kytkettävä paineenrajoitusventtiili ase-tetaan moottorin valmistajan suosittamaan suurimpaan arvoon, eli 140 bar. Suuntaventtiilin kara on sen ohjaustavasta johtuen täysin auki käytettäessä levi-

tintä ja moottorin pyörintänopeus säätty sille tulevan tilavuusvirran mukaan eli hydraulipumpun pyörintänopeuden mukaan.

4.4.3 Hydrauliletkut

Hydrauliöljyn siirrosta putkia tai letkuja pitkin aiheutuu myös virtaushäviöitä. Siksi niissä tulee käyttää riittävän suurta kanavakokoa ja pyrkiä mahdollisimman lyhyeen ja yksinkertaiseen putkistoon tai letkutukseen. Kanavakoko määräytyy virtauskanavalle sallitun painehäviön tai virtausnopeuden perusteella. Letkuilla on suositeltavaa käyttää hieman suosituksia pienempiä virtausnopeuksia ettei letkun sisäosa irtoaisi virtauksen voimasta. (20, s. 414–418.) Kuvassa 22 on nomogrammi, jonka avulla helposti voidaan valita sopivan kokoinen virtauskanava. Kuvaan on merkitty laskennallinen tilavuusvirta ja valittu sopiva halkaisija letkulle, joka on 3/8". Öljyn virtausnopeudeksi tulee tällöin 4,2 m/s.



KUVA 22. Suositellut virtausnopeudet (21, s. 61)

Hydrauliletkujen painehäviö voidaan laskea kuvan 23 mukaisen taulukon avulla. Letkun sisähalkaisija 10 mm vastaa letkua DN 10. Paineletkun painehäviö on suunniteltavassa rakenteessa enintään $5 \text{ m} \cdot 0,462 \text{ bar/m} = 2,31 \text{ bar}$. Kyseinen painehäviö ei vaikuta hydraulimoottorin suoritusarvoihin, koska sen kanssa rinnakkain kytketty paineenrajoitusventtiili joudutaan asettamaan arvoon 140 bar ja hydraulipumppu tuottaa suurimmillaan 175 bar suuruisen paineen.

Painehäviö millibar (mb)/1 m letkun pituus

- ilman liittimiä
- läpivirtausmäärä 1–500 l/min
- ominaispaine 0,85/MIL-H-5606 +21°C

DN DIN	6	6	8	10	10	12	12	16	16	20	20	25	25	32	32	40	40	60	60					
DN (todellinen)	6,4	6,4	8	9,5	10,3	12,7	12,7	15,9	15,9	19	22,2	25,4	28,6	31,8	35	38,1	46	50,8	60,3	76,2				
l/min																								
1	75,4	75,4																						
2	146	146	66,1																					
4	293	293	133	58,6																				
8	613	613	250	117	85																			
10	880	880	335	144	103	45,4	45,4																	
15	1776	1776	660	273	182	68,6	27,4	27,4																
20	3080	3080	1129	462	308	116	116	41,4	41,4	18,1														
30			2159	887	592	228	228	81,8	81,8	31,8	31,8													
40				1496	1000	379	379	141	141	50	26,3	14												
50					1414	555	555	192	192	75	41,1	21,5	12,1											
60					1938	756	756	263	263	111	55,9	29,6	15,6	9,87										
70						970	970	373	373	154	71,4	37,4	18,3	13,3	8,51									
80						1250	1250	475	475	200	89,5	49,1	28	16,8	11	6,91								
90						1531	1531	560	560	237	115	66	34,1	21,1	13,5	8,5	3,61							
100								653	653	274	137	73,1	40,8	25,1	15,8	10	4,25	2,71						
125									964	964	393	196	103	59,2	35,6	22,7	14,5	5,78	3,79					
150											567	273	147	77,4	49,8	31,8	19,4	8,57	5,44					
175											735	349	186	106	60,4	41	26,5	11	7,12	3,06				
200											920	431	228	136	83,3	51,4	33,3	13,8	8,63	3,79				
250												642	347	198	124	78,5	49,9	20,8	13,2	6,01				
300												864	475	272	162	105	68,2	27,4	17,3	7,77	2,52			
400													832	483	303	177	118	47,7	32,4	13,9	4,54			
500													1159	590	425	250	164	66	43,3	19,4	6,38			
600															562	339	222	88,6	57,4	25,8	8,49			
700																733	461	301	120	78,2	34,6	11,2		
800																	924	584	383	151	98,4	43,3	13,8	
900																		1144	706	468	182	118	53,2	16,2
1000																			841	553	219	140	67,5	19,6

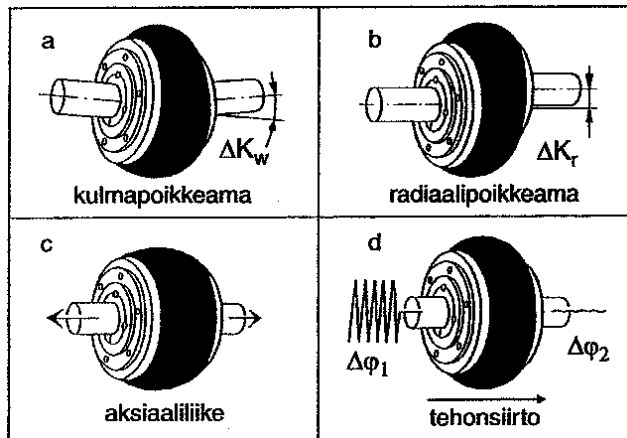
KUVA 23. Painehäviö hydrauliletkuilla (24, s. 168)

4.5 Tehonsiirto

Traktorikäytössä levittimelle käyttövoima siirretään traktorin voimanulosotosta nivelakselin välityksellä. Suunniteltavassa rakenteessa hydraulimoottorin ja levittimen välille tarvitaan akselinliitos eli kytkin.

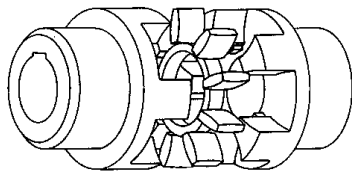
Akselinliitoksessa yhdistetään toisiinsa kaksi pyörivää akselia. Akselinliitoksessa kytkentä suoritetaan akselien ollessa liikkumatta. Joustavaa kytkintä tarvitaan akseleissa, jotka liikkuvat toisiinsa nähden käytön aikana tai joiden asennusta ei voida tehdä riittävän tarkasti. (22, s. 343.)

Joustava kytkin sallii pieniä pitkittäis-, poikittais- ja kulmapoikkeamia akseleiden välillä. Se myös vaimentaa värähtelyjä ja pienentää vääntömomenttisysäyksiä. Jos akselijärjestelmän ominaistajuus sattuu lähelle käyttötaajuutta, resonanssivaaralta voidaan välttyä alentamalla rakenteen ominaistajuutta käyttämällä joustavaa kytkintä. (22, s. 365.) Joustavan kytkimen sallimat akselien väliset liikkeet näkyvät kuvassa 24.



KUVA 24. Joustavan kytkimen sallimat akselien väliset liikkeet (22, s. 344)

Kumijousikytkimiä käytetään tasaisen käytön yhteydessä mahdollisten akselien asentovirheiden sekä käynnistyksen aikaisten sysäysten vuoksi. Jousto-osana näissä kytkimissä on kumi ja joustokäyrä on progressiivinen. (22, s. 365.) Kumijousikytkimen ulkohalkaisija on pieni verrattuna sen momentinsiirtokykyyn (22, s. 367). Kuvassa 25 on tämän suunnittelutyön mukaiseen rakenteeseen hyvin soveltuva joustava sakarakytkin.



KUVA 25. Joustava sakarakytkin (22, s. 368)

Joustavaksi sakarakytkimeksi rakenteeseen on valittu Mekanex 222-HF032, jonka tekniset tiedot näkyvät kuvassa 26. Momentinsiirtokyvyn puolesta pienempikin malli olisi riittänyt, mutta kytkimen toiseen päähän täytyy työstää sorvaamalla vasenkätinen M24-kierre kytkimen kiinnittämiseksi levittimeen, ja valitussa mallissa fyysiset mitat mahdollistavat sopivan mittaisen kierteen sorvaamisen. Kytkimen toiseen päähän työstetään hydraulimoottorin akselille oikean kokoinen reikä sekä kiilaura moottorin valmistajan antamien kuvan 27 mukaisien mittojen mukaisesti.

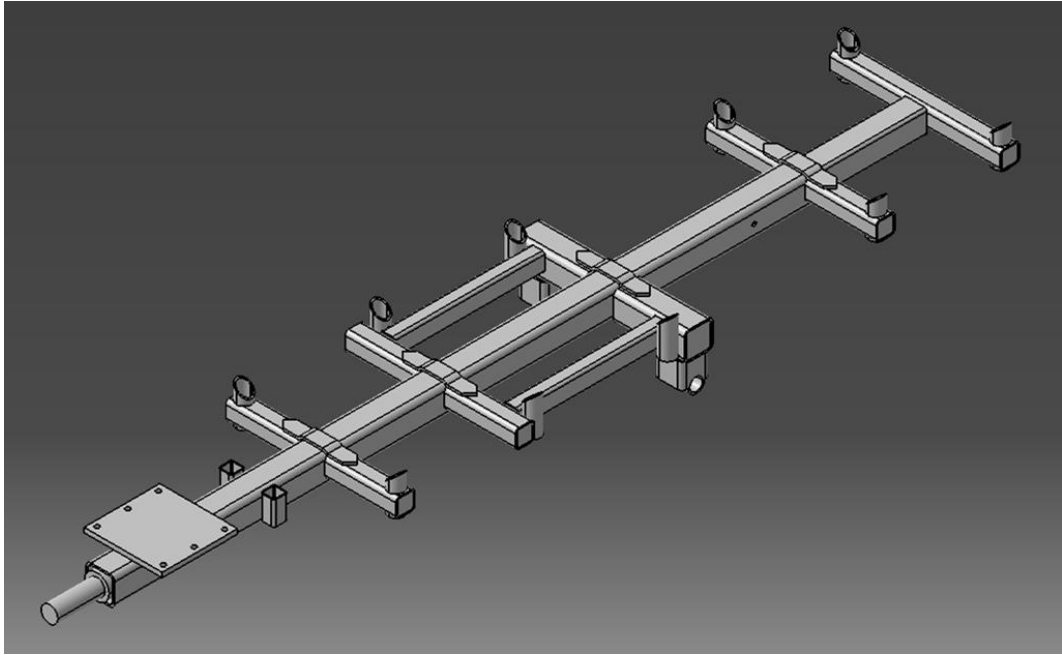
koska tietokonemallinnuksella ei ole tarkoituksenmukaista alkaa mallintaa kaikkia takarungon rakenteita nosturi mukaan lukien. Kuvaushetkellä havainnoitavia asioita olivat

- levittimen sijoituspaikka
- nosturin vaatima tila ja sen ajonaikainen niin sanottu lepoasento
- levittimen levityslautasen vapaa levityssektori
- mittojen otto kiinnitysrungon suunnittelua varten
- hydrauliletkujen ja hydraulimoottorin asennuspaikka sekä suojaus
- lannoitesäkkien paikka kuormatilassa
- painopisteen määrittely
- näkyvyys koneen ohjaamosta levittimelle.

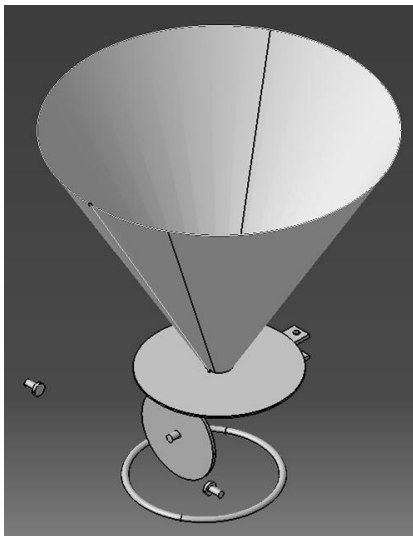


KUVA 28. Suunniteltavan kiinnitysrakenteen simulointia

Heti työn alkuvaiheessa metsäkoneen takarungosta, kytkimestä ja levittimestä luotiin Catia-ohjelmistolla päämitoiltaan mittatarkat mallit. Ainoastaan takarunko on mallinnettu yksityiskohtaisesti myöhempiä lujuslaskuja silmälläpitäen (kuva 29). Levittimen mallinnuksessa kiinnityskohdat sekä suunnittelussa tarpeelliset rakenteen piirteet on mallinnettu mittatarkasti (kuva 30). Hydraulikomponentteja ei ole käytetty mallinnuksessa, koska sopivia malleja niistä ei ollut helposti saatavilla. Komponentit ovat kuitenkin niin yksinkertaisia, että ne on helppo huomioida muuten suunnittelussa.



KUVA 29. Metsäkoneen takarunko mallinnettuna



KUVA 30. Suunnittelussa käytetty malli lannoitteenlevittimestä

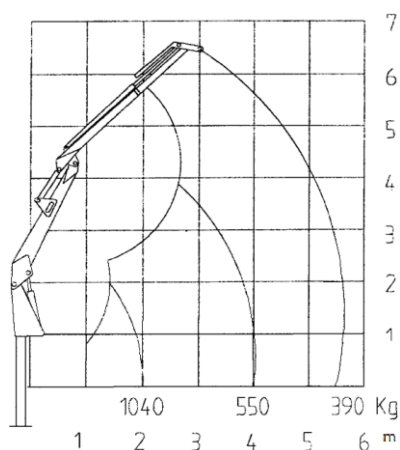
Koneasetuksen ja standardien soveltamisen myötä suunniteltavaksi rakenteeksi alkoi hahmottua pikakiinnitteinen apurunko, johon levitin ja hydraulimoottori kiinnitetään. Levittimen täyttöä varten koneen kuormatilaan on noustava ja liikumista varten täytyi suunnitella taso kuormatilaan ja käsijohteet sekä nousmista ja laskeutumista varten kädensijat, jotta voidaan käyttää kolmipisteotetta. Apurunkoon on suunniteltu myös nostopisteet helpon käsiteltävyyden varmistamiseksi, jotka tulee merkitä selvästi aikanaan valmiiseen laitteeseen.

Metsälannoitteiden toimituskoot ovat taulukon 3 mukaiset. Lannoitteita saa lannoitteesta riippuen sekä 25–40 kg:n säkkeihin, että 650 kg:n suursäkkeihin pakattuina. Kahta lannoitetta ei saa kuin 650 kg:n suursäkkeihin pakattuina. Molempia pakkauskokoja täytyy siis pystyä käsittelemään sekä täyttämään niillä levittimen säiliötä. Koneen suunnittelun lähtökohtana oli, että levittimen säiliön täytön lisäksi voidaan kuormatilaan ottaa lannoitetta mukaan myös myöhempää lisäystä varten, jotta vältetään tarpeetonta ajoa levitysalueen ja lannoitteiden varastopaikan välillä. Lannoitesäkit sijoitetaan kuvassa 31 suuntaa antavasti merkitylle paikalle kuormatilaan etusermin taakse. Siitä ne voidaan siirtää joko käsin tai nosturilla levittimelle tyhjennettäviksi.



KUVA 31. Lannoitesäkkien sijoituspaikka kuormatilassa

Nosturin liikerata ja sallitut kuormitukset näkyvät kuvassa 32. Suursäkin nostamista levittimen päälle tyhjennystä varten on simuloitu kuvassa 33. Kuvien 32 ja 33 perusteella voidaan vetää johtopäätös, että suursäkkiä nosturi ei jaksaa täytenä nostaa levittimen päälle tyhjennettäväksi, vaan sitä tulee tyhjentää jollain muulla tavalla ensin painon keventämiseksi.



KUVA 32. Kuormaimen liikeradat ja sallitut kuormat (26, s. 3)



KUVA 33. Lannoitteen täytön simulointia

Pienten säkkien käsittely voidaan tehdä joko käsin tai nosturilla. Säkkien tyhjentämiseksi levittimen päälle tulee vielä suunnitella ritilämäinen rakenne, jotta säkit voidaan helposti tyhjentää niiden putoamatta levittimen lannoitesäiliöön. Suursäkkien tyhjentämiseksi suoraan säiliöön täytyy suunnitella erityinen säkki-leikkuri, jotta säkin saa puhkaistua laskemalla sen pohjan levittimen päälle. Näiden yksityiskohtien suunnittelu on jätetty pois tästä työstä ja ne suunnitellaan myöhemmin. Levittimen täyttömenetelmän suunnittelussa tulee huomioida, että kuljettaja ei missään tilanteessa joudu menemään riippuvan säkin tai nosturin alle.

Suunnittelun edetessä ilmeni, että nosturin ja kouran niin sanottua lepoasentoa on muutettava kuvan 28 tilanteesta. Muuten kuormatilaan suunniteltavaa työkentelytasoa ei olisi saanut toteutettua tasaisena ilman aukkoja, eikä siitä olisi tullut standardien mukainen. Nosturin suunniteltu uusi lepoasento näkyy kuvassa 34. Kuvan 35 mukaisesti kouralle täytyi suunnitella tuki levitinkäyttöön, jotta estetään kuormaajan tarpeeton heiluminen ajettaessa levitystyön aikana.

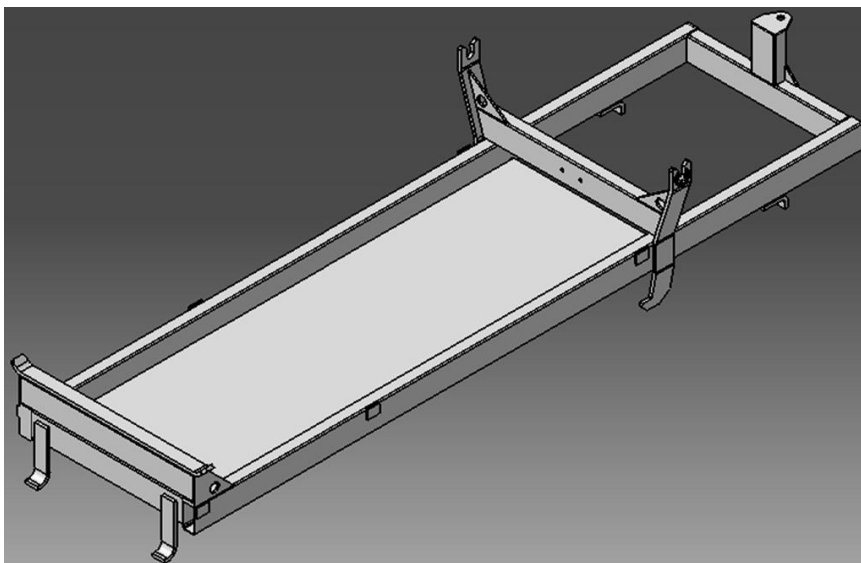


KUVA 34. Nosturin suunniteltu asento levittimen kanssa



KUVA 35. Kouraa ei ole riittävästi tuettu kuvan tilanteessa

Valmis levittimen kiinnitysrakenne näkyy kuvassa 36. Kävelytaso tulee kuvassa näkyvästä pinnasta poiketen olemaan kyynellevyä. Apurunkoon kiinnitetään myös käyttövoimana levittimelle toimiva hydraulimoottori erillisen kiinnikkeen avulla. Apurungon painoksi tulee hitsaussaumoinen noin 69 kg.

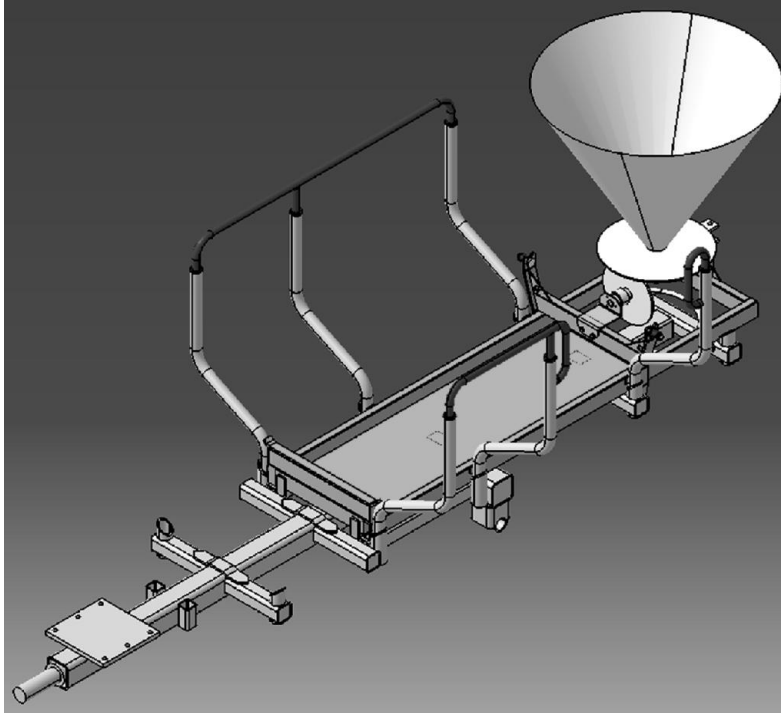


KUVA 36. Apurunko levittimen kiinnittämiseksi metsäkoneeseen

Suunniteltu rakenne kokonaisuutena sisältää kuvan 36 apurungon lisäksi myös käsijohteet ja kädensijat sekä hydraulimoottorin kiinnikkeen (kuva 37). Suunnittelussa on käytetty seuraavia ratkaisuja vaatimuslistan ja aiemmin listattujen riskien pienentämistoimenpiteiden toteuttamiseksi:

- Apurungon runkopalkit ovat suorakaiteen muotoista 80 x 40 x 2,0 mm rakenneputkea.
 - Runkopalkit toimivat myös jalkalistoina kävelytasoon nähden.
 - Vasemman sivun runkopalkin sisään sijoitetaan hydrauliletkut.
 - Apurungon sivujen runkopalkit tukeutuvat koneen kuormatilassa karikoiden kiinnitysholkkeihin.
 - Kaikki rakenneputket ovat samaa kokoa hankintatarpeen minimoimiseksi.
- Apurungon runkopalkkien sivuilla ovat karikoiden lukitusraudat.
 - Lukitusraudat estävät karikoita liikkumasta, jolloin saadaan toteutettua liikkumattomat käsijohteet ja kädensijat.
- Kourateline on vahvistettu päältä 40 x 10 mm lattateräksellä.
- Kävelytason pohja valmistetaan kyynelleevystä.
 - Kyynelleevyn pintakuviointi estää liukastumista.
 - Paksuudeltaan 5 mm levy kestää myös mahdolliset kouran osu-
miset siihen.
- Apurungon kiinnittäminen ja irrottaminen on suunniteltu helpoksi ja nopeaksi.
 - Apurunko lukittuu metsäkoneen liikuteltavan takarungon jatkeen avulla mekaanisesti.
 - Apurungon varsinaiset kiinnikkeet ovat 60 x 10 mm lattaterästä.
 - Apurungon muut kiinnikkeet ovat 40 x 10 mm lattaterästä.
- Levittimen vetovarsien kiinnitystapit lukitaan lukitusholkeilla.
- Takaa levitin kiinnitetään levittimessä olevalla vetokidan tapilla ja sokalla.
- Kädensijojen ja käsijohteiden materiaali on 33,7 x 3,2 mm teräsputkea.
 - Kädensijat ja käsijohteet kiinnitetään karikoihin 10 x 50 mm putkisokilla.
- Hydraulimoottori kiinnitetään erilliseen 4 mm teräslevystä valmistettuun kiinnikkeeseen.

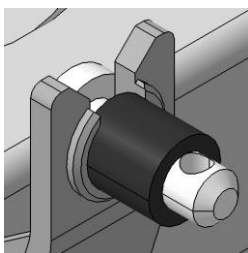
- Levittimessä oleva traktorikäyttöön tarkoitettu nivelakselin suojus suojaa myös kytkimen ja hydraulimoottorin pyörivät osat.
- Apurungon nostokorvakot toimivat samalla rakenteen vahvikkeina ja ne valmistetaan 6 mm teräslevystä.



KUVA 37. Suunniteltu rakennekokonaisuus

Erilaisia teräsprofileja tarvitaan asetettujen tavoitteiden mukaisesti vain muutamia. Teräkset on valittu Kontinon tuoteluettelosta (27) sekä Ruukin EN 10219 -rakenneputkivalikoimasta (28).

Levitin kiinnitetään vetovarren tapeista kuvan 38 mukaisesti molemmin puolin apurunkoon hitsattavien lukitusrenkaiden, lukitusholkkien ja vetovarsien kiinnitystappeihin tulevien rengassokkien avulla.



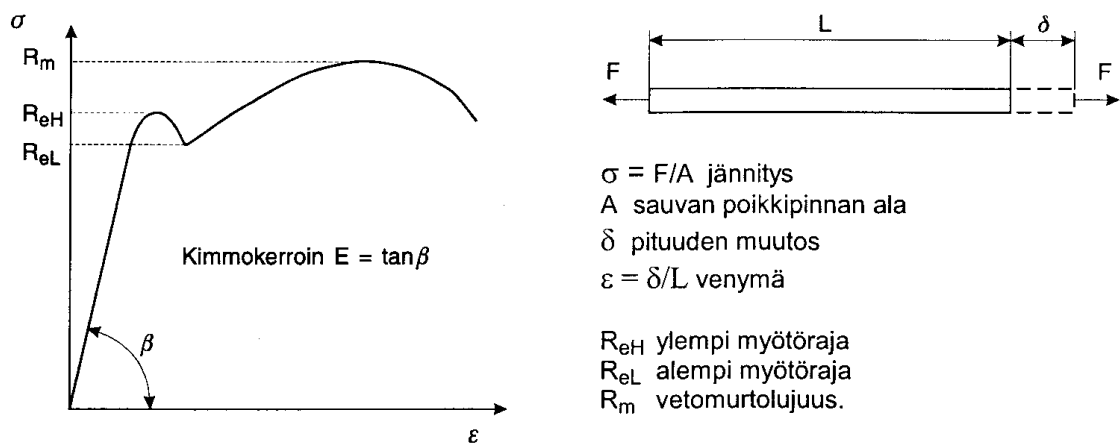
KUVA 38. Vetovarren tapin lukitusmekanismi (rengassokka puuttuu kuvasta)

4.7 Rakenteen lujuuslaskenta

Koneasetuksen mukaan kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että se kestää staattisten kokeiden ylikuorman ilman pysyviä vaurioita tai vikoja. Lujuuslaskelmissa tulee ottaa huomioon staattisen testin kertoimen arvot, joilla varmistetaan riittävä turvallisuustaso. Yleensä käsikäyttöisille koneille ja nostoapuvälineille käytetään arvoa 1,5 ja muille koneille arvoa 1,25. (8, s. 35.)

Kone tulee myös suunnitella ja rakentaa siten, ettei se vahingoitu dynaamisissa testeissä. Kyseiset testit tehdään käyttäen koneen suurinta sallittua työkuormaa kerrottuna dynaamisen testin kertoimella, jotta taataan riittävä turvallisuustaso. Kerroin on yleensä 1,1 ja testit on tehtävä rakenteen kuormittumisen kannalta epäedullisimmissa olosuhteissa. (8, s. 35.)

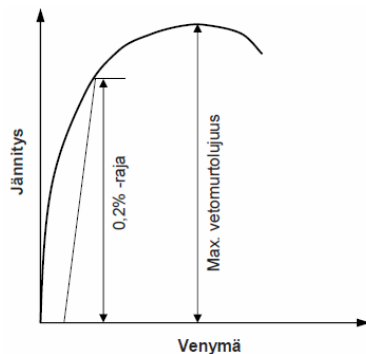
Kullekin materiaalille saadaan tyypillinen jännitys-venymäpiirros vetokokeella tutkittaessa. Kuvassa 39 on esimerkki tavallisen rakenneteräksen jännitys-venymäpiirroksista. (15, s. 11.)



KUVA 39. Tavallisen rakenneteräksen jännitys-venymäpiirros (15, s. 11)

Myötölujuus R_e kertoo, millä jännityksen arvolla vetomurtolujuus pysyy samana tai jopa pienenee, vaikka venymä kasvaa. Aiemmin vetomurtolujuus R_m on ollut perusteena terästen lujuuden luokittelussa. Myötölujuus on alkanut tulla enemmän sen tilalle, koska teräksen lujuuden muut kriteerit korreloivat paremmin myötölujuuden kanssa. Kun myötölujuutta on vaikea määrittellä terävän myötö-

rajan puuttuessa, voidaan käyttää niin sanottua 0,2 % -venymärajaa $R_{p0,2}$, jolloin pysyvän venymän suuruus on 0,2 % (kuva 40). (29, s. 17.)



KUVA 40. $R_{p0,2}$ -venymärajan määrittäminen (29, s. 17)

Rakenteen mitoituksessa varmuuslukua tarvitaan esimerkiksi kuormituksen arvioimisvirheiden, lujuuslaskuissa tehtyjen oletusten ja yksinkertaistusten sekä materiaalin epähomogeenisuuden takia. Minimiarvoa varmuusluvulle on vaikea antaa, koska se riippuu jokaisesta tapauksesta erikseen. Joissakin tapauksissa varmuusluku voidaan antaa esimerkiksi standardissa. Staattisessa kuormituksessa suurin sallittu jännitys lasketaan kaavalla 14. (15, s. 24.) Aiemmin kirjoitetun perusteella kaava 14 voidaan myös kirjoittaa kaavan 15 muotoon.

$$\sigma_{sall} = \frac{R_{eL}}{n}$$

KAAVA 14

σ_{sall} = suurin sallittu jännitys (MPa)

R_{eL} = alempi myötöraja (MPa)

n = varmuusluku

$$\sigma_{sall} = \frac{R_{p0,2}}{n}$$

KAAVA 15

$R_{p0,2}$ = 0,2 % -venymäraja (MPa)

Taulukossa 6 on Ruukin seostamattomasta teräksestä valmistettujen rakenneputkien EN 10219 mekaaniset ominaisuudet. Molemmille teräslaaduille käy-

tään laskennassa samoja $R_{p0,2}$ -arvoja myös muilta toimittajilta hankittavien vastaavien teräslaatuojen osalta.

TAULUKKO 6. Seostamattomasta teräksestä valmistettujen rakenneputkien mekaaniset ominaisuudet (28, s. 3)

	$R_{p0,2}$ MPa Vähintään	R_m MPa $T < 3$	$3 \leq T \leq 16$	A % Vähintään ¹⁾	Iskusitkeyden testauslämpötila ²⁾ °C
S235JRH	235	360 – 510	360 – 510	24	+20
S355J2H	355	510 – 680	470 – 630	20	-20

Ruukki testaa suorakaiteen muotoisten rakenneputkien mekaaniset ominaisuudet poikkileikkauksen pidemmältä sivulta.
¹⁾ Rakenneputkien, joiden $D/T < 15$ (pyöreät) tai $(B + H)/2T < 12,5$ (neliö ja suorakaide), murtovenymän minimivaatimus on 2 %-yks. matalampi.
²⁾ Iskusitkeysvaatimus on $\geq 27 J$ EN 10045-1 mukaisella $10 \times 10 \text{ mm}^2$ V-lovisauvalla.

$$\sigma_{sall\ S235} = \frac{235 \text{ MPa}}{1,5} \approx 156,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sall\ S355} = \frac{355 \text{ MPa}}{1,5} \approx 236,6 \text{ MPa}$$

Elementtimenetelmä (Finite Element Method, usein käytetään lyhennettä FEM) on tehokas numeerinen menetelmä lujuusopillisten ongelmien ratkaisemiseen, ja nykyään useilla tietokoneohjelmistoilla voidaan käyttää tätä menetelmää lujuustekniseen laskentaan (30, s. 24). Tässä työssä rakenteen lujuusopillinen tarkastelu on tehty Catia-ohjelmistolla von Mises -jännityksiä tarkastelemalla.

Von Mises -hypoteesi tunnetaan myös lyhenteellä VVEH eli vakiovääristymisenergihypoteesina. Siinä materiaali vaurioituu pisteessä, jossa sen vääristymisenergiatiheys saavuttaa kriittisen arvon, joka on tyypillinen materiaalille ja vauriotyypille. Kyseinen hypoteesi sopii hyvin sitkeiden materiaalien myötöhypoteesiksi. (30, s. 349–351.)

4.7.1 Kiinnitysrungon kuormitustarkastelu

Levitin kohdistaa suunniteltavaan apurunkoon painovoiman, joka muodostuu levittimen ja siihen lisätyn lannoitteen painosta. Levittimen oma paino on noin 150 kg ja täyden lannoitesäiliön paino on noin 300 kg, yhteensä siis 450 kg:n

kuorma kuormittaa kiinnitystä. Kiinnitysrakennetta kuormittavan painovoiman G suuruus saadaan kaavalla 16 (19, s. 112).

$$G = mg$$

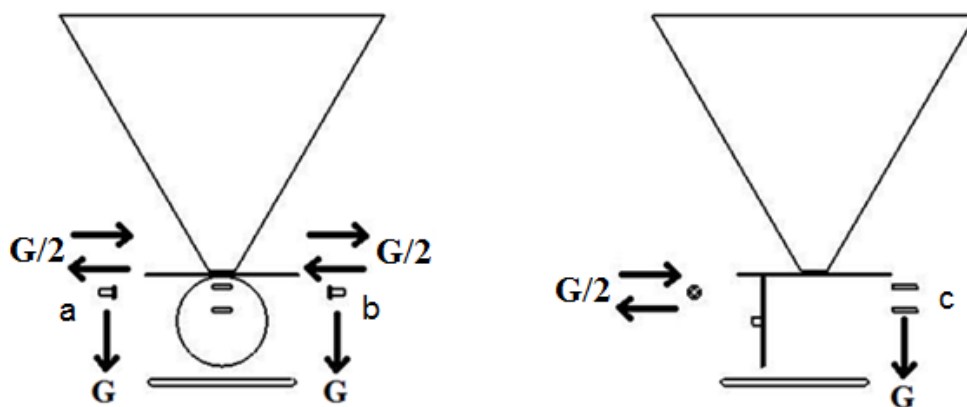
KAAVA 16

G = painovoima (N)

g = putoamiskiihtyvyyys (m/s^2)

$$G = 450 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 4\,414,5 \text{ N}$$

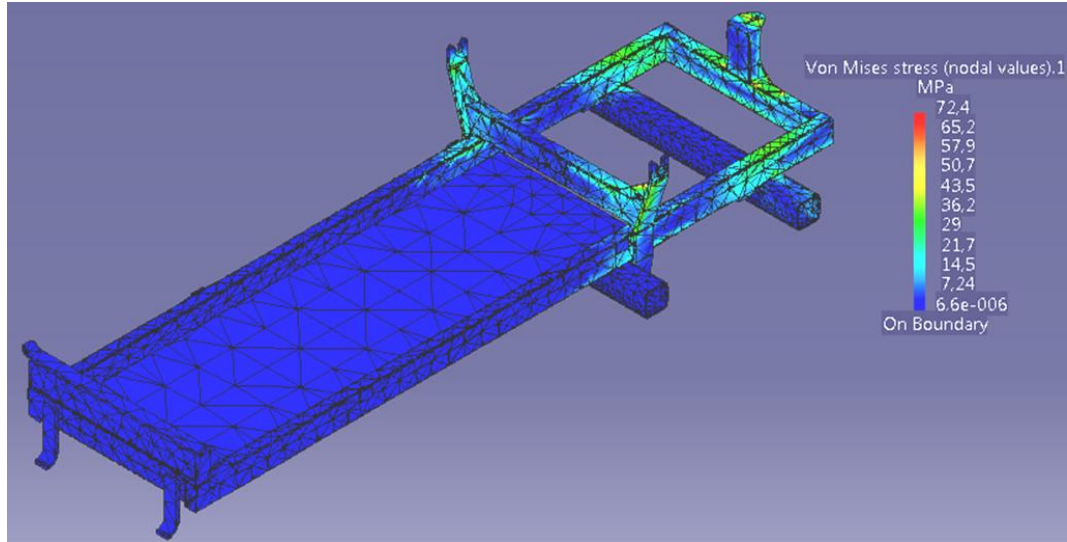
Levitin kiinnitetään runkoon kolmesta pisteestä, jotka ovat vetovarsien kiinnitystapit ja hinattavan laitteen vetokita. Lujuuslaskennassa lasketaan näiden kiinnityspisteiden kautta kohdistuvat kuvan 41 mukaiset staattiset kuormitukset. Rakenne mitoitetaan kahdella kuormitustapauksella, joissa molemmissa yhtä aikaa vaikuttaa kaikkiin kolmeen kiinnityskohtaan (kuvan 41 merkinnöin a, b ja c) painovoima G . Lisäksi kuormitustapauksessa 1 molempiin vetovarsien kiinnitystappeihin (a ja b) vaikuttaa yhdensuuntainen sivuttaisvoima $G/2$ vasemmalle kulkusuuntaan nähden sekä eteenpäin vaikuttava voima $G/2$. Kuormitustapauksessa 2 lisäksi vaikuttavat samat sivuttaisvoimat, mutta vetovarsien kiinnikkeisiin (a ja b) vaikuttaa taaksepäin voima $G/2$.



KUVA 41. Levittimen kiinnitysrakenteeseen kohdistamat voimat

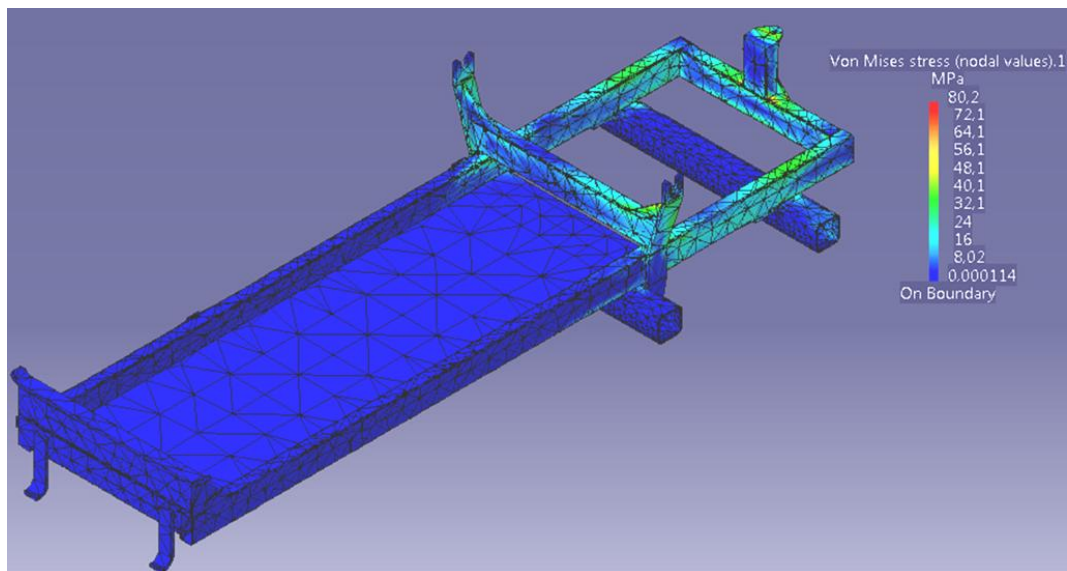
Kuormituksista syntyvien jännitysten analysointia varten apurungon lisäksi on mallinnettu kaksi metsäkoneen takarungon runkopalkkia kuvien 42 ja 43 mukaisesti, jotta apurungon tuenta laskentaa varten saadaan mahdollisimman to-

denmukaiseksi. Kuormitustapauksessa 1 suurin von Mises -jännityksen arvo on 72,4 MPa ja se esiintyy oikeassa sivupalkissa. Apurungon kuormitustapauksen 1 jännitysjaakauma näkyy kuvassa 42.



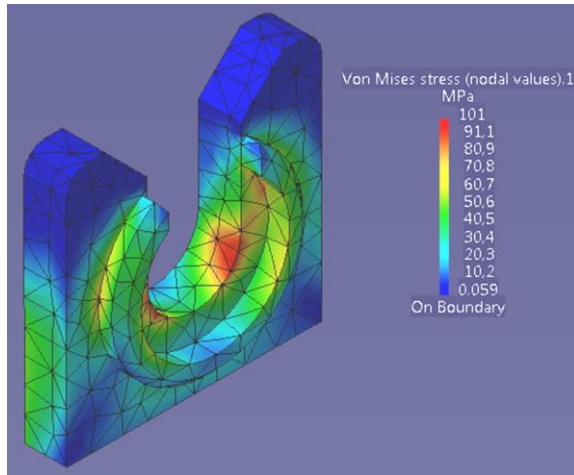
KUVA 42. Kuormitustapauksen 1 apurunkoon aikaansaamat jännitykset

Kuormitustapauksessa 2 suurin von Mises -jännityksen arvo on 80,2 MPa ja se esiintyy vasemmassa sivupalkissa. Apurungon kuormitustapauksen 2 jännitysjaakauma näkyy kuvassa 43.



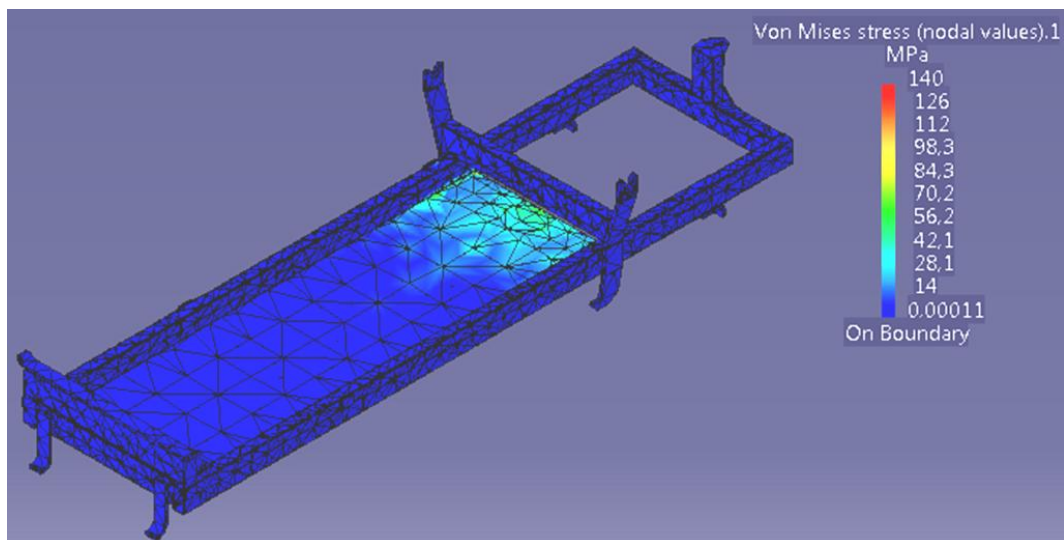
KUVA 43. Kuormitustapauksen 2 aikaansaamat jännitykset

Apurungon vetovarren kiinnikkeiden lukitusmekanismi on mitoitettu molempien kiinnikkeiden osalta ylöspäin kuormittavalla voimalla $G/2$, ja voiman aiheuttamat jännitykset näkyvät kuvassa 44.

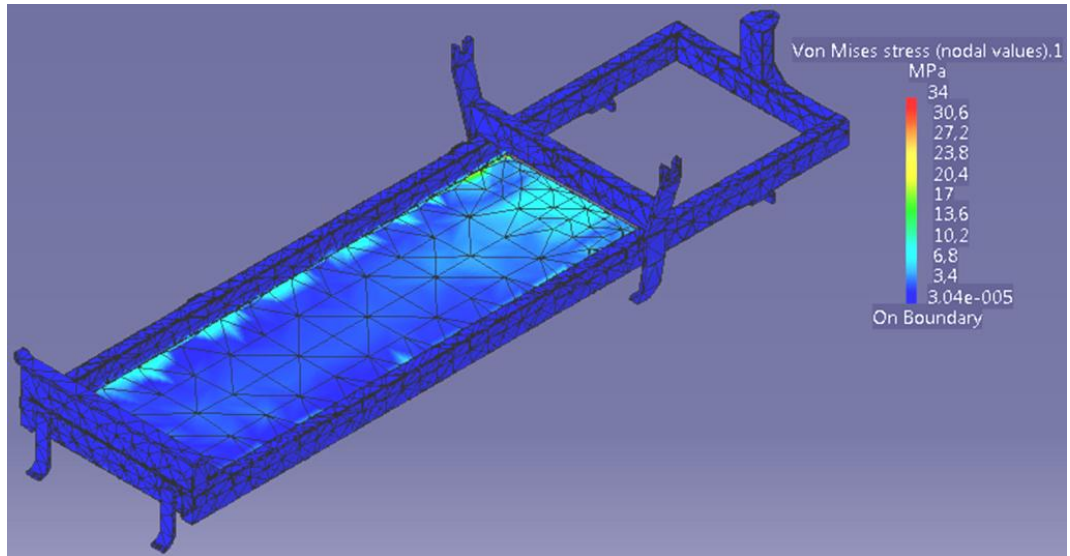


KUVA 44. Vetovarren kiinnikkeiden lukitusmekanismin jännitykset

Standardin SFS-EN ISO 2867 asettamien kulkutason kuormituksenkestovaatimusten mukaiset von Mises -jännitykset näkyvät kuvista 45 ja 46. Kuvassa 45 kävelytasoa on kuormitettu 2 000 N voimalla sen heikoimmasta kohdasta halkaisijaltaan 125 mm suuruisen kiekon välityksellä. Suurin jännityksen arvo on 140,4 MPa. Kuvassa 46 on kävelytason pintaa kuormitettu tasaisesti jakautuvala standardin mukaisesti alle 1 m² pinta-alaan suhteutetulla voimalla 3 465 N. Suurin jännityksen arvo on 34,0 MPa.



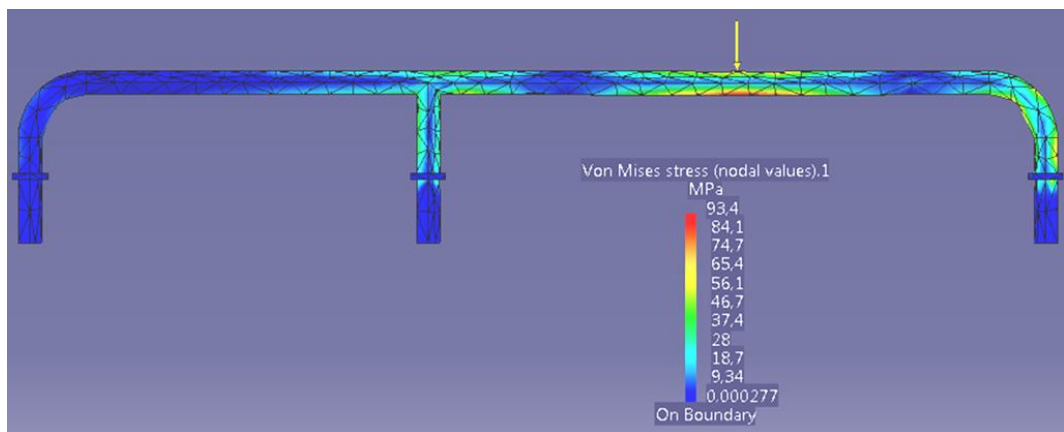
KUVA 45. Standardin mukainen kuormitus 125 mm kiekolla



KUVA 46. Standardin mukainen kuormitus tasaisesti jakautuneella voimalla

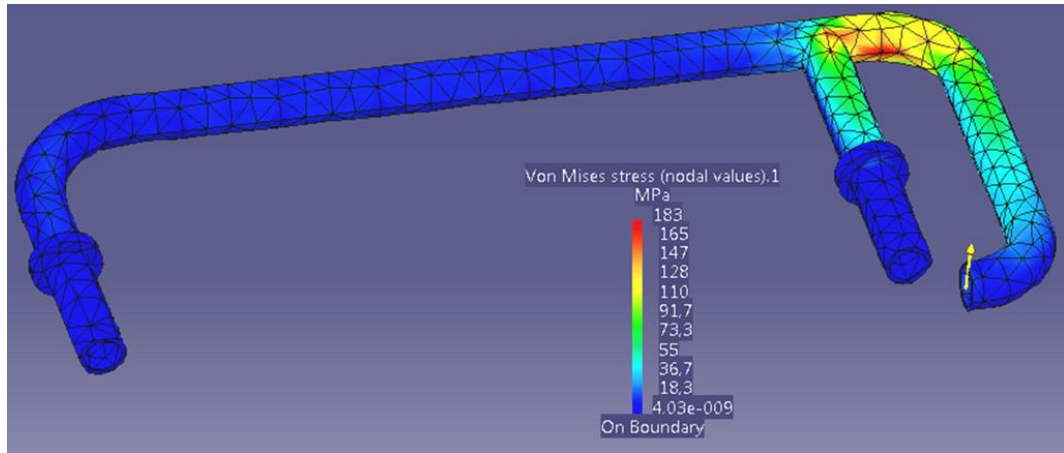
4.7.2 Käsijohteiden ja kädensijojen kuormitustarkastelu

Suunnitellut käsijohteet ja kädensijat näkyvät kiinnityspaikoillaan kuvassa 37. Standardin SFS-EN ISO 2867 mukaisesti 1 000 N voimalla kuormitettujen käsijohteiden ja kädensijojen kuormitustarkastelut näkyvät kuvissa 47, 48 ja 49. Kuormittavan voiman suunta näkyy kuvissa ja se on kyseisille rakenteille suurimman jännityksen aiheuttavassa paikassa. Pitkän käsijohteen suurin jännityksen arvo on 93,4 MPa. Jännitysjauma näkyy kuvassa 47.



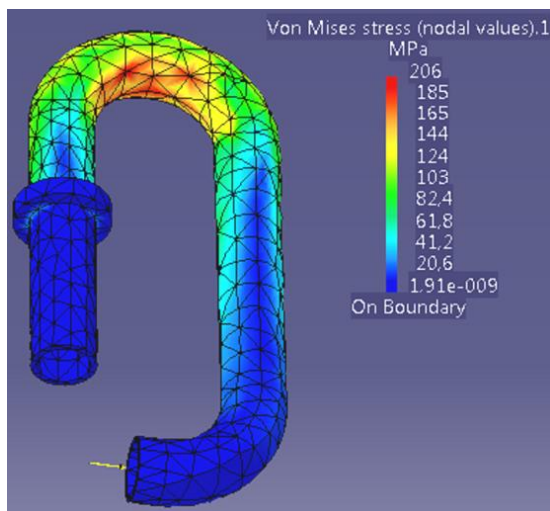
KUVA 47. Pitkän käsijohteen jännitysjauma

Yhdistetyn käsijohteen/kädensijan suurin jännitys on 183,4 MPa. Jännitysjauma näkyy kuvassa 48.



KUVA 48. Yhdistetyn käsijohteen/kädensijan jännitysjauma

Kädensijan suurin jännitys on 206,0 MPa. Jännitysjauma näkyy kuvassa 49. Kädensijan jännitykset ovat suurimmat, joten käsijohteiden ja kädensijojen materiaalivalinta on tehty sen perusteella.



KUVA 49. Kädensijan jännitysjauma

5 TULOKSET

5.1 Suunnittelun tulokset

Suunnittelutyön tuloksena muodostui toimiva rakenne. Yksinkertainen ja lujuuslaskujen perusteella kestävä. Lujuuslaskujen myötä kaikkien muiden terästen materiaaliksi voidaan valita S235-rakenneteräs, paitsi käsijohteiden ja kädensijojen materiaalin on oltava S355-rakenneterästä. Varmuusluvaksi saadaan reilusti yli 1,5 kaikkien suunniteltujen rakenteiden staattisen FEM-analyysin perusteella. Dynaamista tarkastelua ei tehdä vaan kuormitustapausten 1 ja 2 sekä muiden tästä raportista pois jätettyjen lujuustarkasteluiden perusteella rakenne kestää.

Hydraulimoottorikäyttö levittimelle voidaan laskelmien perusteella toteuttaa ja metsäkoneen hydraulikka kykenee tuottamaan riittävän tilavuusvirran. Levittimen syötön säätö toteutetaan hydraulisylinterillä toimivaksi. Liitteenä 2 olevan hydraulikkaavion mukaisesti sylinterin käyttöpaineksi muodostuu hydraulimoottorin yli vallitseva paine-ero. Tosin syötön säätöön tarvittava voima on pieni, joten hydraulikkaavion mukainen kytkentä toimii. Sylinteri valitaan ja sen asennus suunnitellaan vasta levittimen koekäytön jälkeen. Koekäytössä saadaan myös mitattua todellinen hydraulikan paine, jolla sylinteriä voidaan käyttää.

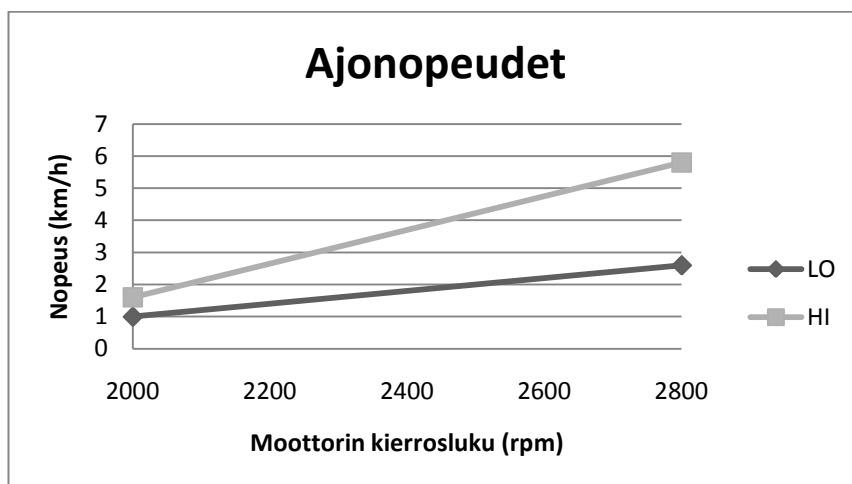
Ainakaan suunnitteluvaiheessa ei ole noussut esiin mitään syytä, mikä estäisi laitteen suunnitellun toiminnan ja metsänlannoitukseen soveltumisen. Toteutetut ratkaisut pohjautuvat konedirektiiviin ja aiemmin mainittuihin standardeihin. Levittimen tarkka vuosimalli ei ole tiedossa, mutta oletettavasti se on 1960-luvun loppupuolen tuotantoa. Tästä syystä tulee harkita myös konedirektiivin ja standardien soveltamista levittimeen ja tehdä tarvittavat muutostyöt, jos niihin aiheutta ilmenee.

Levittimen työleveys on valmistajan mukaan 6–7 metriä peltoviljelyssä, jossa levittimen suositeltu työskentelykorkeus on 20–25 cm (1). Levityslautasen kor-

keudeksi maasta tulee 55–60 cm. Tässä rakenteessa levittimen levityslautanen tulee 98 cm:n korkeudelle maasta, joten levittimen työleveys kasvaa ja sen koikeilemalla toteamisen jälkeen oikea työleveys tulee sijoittaa kaavaan 2. Työleveys kasvaa todennäköisesti tavoiteltuun lähes kymmeneen metriin.

5.2 Laskennallinen levitysyksikön tehokkuus

Ajonopeus metsäkoneella määräytyy maaston ja levittimen tarvitseman hydrauliiikan tuoton perusteella. Kokeellisesti GPS-laitteen avulla määritetyt kuvan 50 mukaiset ajonopeudet nähdään kuvaajista moottorin kierrosluvun funktiona.



KUVA 50. Metsäkoneen ajonopeudet moottorin eri kierrosluvuilla

Levittimen pyöriessä nopeudella 540 rpm, sen kuormituksesta riippuen koneella voidaan ajaa pienemmällä nopeusalueella (LO) nopeutta 2,2–2,6 km/h. Isomalla nopeusalueella (HI) puolestaan nopeutta 5,0–5,8 km/h, joka on selvästi liian suuri epätasaiseen maastoon kuten metsään. Kymmenen metrin lannoitusleveydellä laskettuna kone kykenee teoreettisesti lannoittamaan noin 2,3 hehtaarin alan tunnissa. Käytännössä hehtaarille levitetään taulukon 2 mukaisesti noin 600 kg lannoitetta. Levittimeen mahtuu kerralla noin 250 kg, ja koneen kuormatilaan saadaan mukaan noin 1 000 kg lannoitetta. Hehtaaria kohden tarvitaan siis laskennallisesti 2,4 levittimen täyttökertaa, ja lannoitteen lastaamiseen, hakemiseen ja täyttämiseen voidaan laskea keskiarvallisesti kuluvan 15

minuuttia yhtä säiliöllistä kohden riippuen varastopaikasta. Tästä saadaan odotettavissa olevaksi lannoitteen levitystehoksi noin hehtaari tunnissa.

5.3 Jatkokehitysideoita

Aiheen laajuuden vuoksi tästä opinnäytetyön raportista on jätetty pois muutamien jo aiemmin mainittujen itse levittimeen liittyvien yksityiskohtien suunnittelua. Niiden lisäksi kuormatilaan tulee vielä suunnitella jonkinlaiset karikoihin kiinnitettävät sivulaidat, jotta lannoitetta saadaan riittävästi kyytiin.

Levittimen kierrosluvun vakaana pitäminen arvossa 540 rpm ei ole työssä suunnitellulla rakenteella mahdollista, vaan vaihtelua siinä tulee esiintymään. Harkitsemisen arvoinen lisävaruste on hydraulimoottoriin saatava kierroslukua mittaava anturi. Siitä saataisiin kytkettyä helposti kierroslukunäyttö ohjaamoon ja seurattua levittimen toimintaa. Suunnitellun levitinyksikön ennakoitu käyttötarve ei ole niin suuri, että kannattaisi mitään kallista kierrosluvun säätöjärjestelmää rakentaa. Toisaalta kierrosluvun vaihtelu vaikuttaa merkittävästi ainoastaan levittimen työlevyyteen ja ohjaamosta voi seurata työlevyyttä helposti. Todennäköisesti muutaman säiliöllisen levityksen jälkeen kuljettajalla on jo tuntu metsäkoneen moottorin kierrosluvun vaikutuksesta levityslevyyteen. Edullisesti saatavissa olevalla peruutuskameralla ja näytöllä levittimen toiminnan ja säiliön tyhjenemisen seuraaminen metsäkoneen ohjaamosta voitaisiin tehdä helpoksi.

Syötönsäätölevyn asteikon avulla voidaan käytännössä kaavan 2 perusteella laatia lannoitekohtaisia taulukoita, jotta levitin voidaan nopeasti säätää kulloisenkin tavoiteltavan lannoitteen levitysmäärän mukaan oikein. Eri lannoitteissa on levittimen toimintaan vaikuttavia vaikutuksia, jotka ilmenivät myös Konevies-tin mönkijälevittimen testauksessa (6).

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli ottaa vanha keskipakolannoitteenlevitin uusiokäyttöön ja suunnitella sen asennus pienen kumitela-alustaisen metsäkoneen kuormatilaan metsänlannoitusta varten. Levitin saa käyttövoimansa metsäkoneen hydraulii-kan välityksellä.

Suunnittelun tuloksena on saatu asetettujen tavoitteiden mukainen rakenne. Vaatimuslista (liite 1) sisältää lähtötietomuistion tavoitteet ja vaatimukset. Vaatimuslistaa on päivitetty työn edetessä. Lähes kaikki vaatimuslistan vaatimukset ja toiveet on saatu suunnittelussa huomioitua. Ainoastaan rakennusvaiheeseen ja levittimen käyttöön liittyvien vaatimusten ja toiveiden toteutuminen ratkeaa vasta sitten, kun kyseiset vaiheet ovat ajankohtaisia.

Suunnittelua koskevat konedirektiivi ja standardit on huomioitu suunnittelussa. Vaaratekijöitä on saatu poistettua ja jäljelle jääneistä varoitetaan turvallisuuskilvellä sekä ohjeistuksella. Osittain valmista konetta koskevia asiakirjoja ei ole tässä työssä vielä laadittu, koska tämä on vasta rakenteen suunnittelua. Tämän työn myötä työn tilaajalle tulee suuri osa niissä vaadittavaa materiaalia, esimerkiksi piirustukset, lujuslaskennat ja tieto, mitä standardeja suunnittelussa on noudatettu. Ilman määräyksiä rakenteesta tuskin olisi tullut näin turvallinen. Nyt esimerkiksi kuormatilaan nousemisen sekä sieltä poistumisen ja lannoitteiden käsittelyn voi odottaa olevan turvallista. Käytännöllisyys on kuitenkin pystytty huomioimaan helposti suunnittelussa, vaikka standardeja noudatetaankin.

Teräsrakenteiden osalta hankittavien erilaisten terästen ja profiilien määrä on pieni. Lujuustekniset mitoitukset ovat riittäviä tavoitteisiin nähden. Rakenteissa ei haeta keveintä mahdollista ratkaisua lujouden osalta, vaan suunnitteluun on vaikuttanut myös laitteen tuleva työympäristö. Koska kyseessä on työkone ja nosturilla käsitellään lannoitteita rakenteiden läheisyydessä, ei ole haitaksi, että rakenteet ovat kolhuja kestäviä.

Suunnittelun lopputulosta arvioimalla ei rakenteen toimivuudelle ole mitään es-tettä. Laskennallinen lannoitteiden levitystehokkuus on hyvä. Hehtaarikohtainen lannoitteen tavoitemäärä saavutetaan kerta-ajolla. Levitinyksikkö kykenee lan-noittamaan tasaisesti kymmenen metrin ajoura-/haamu-uraväleillä toteutetulla harvennushakkuulla. Lannoitetta saadaan kuormaan yli kahden hehtaarin levi-tystarpeeseen kerralla. Laitteen rakennuskustannukset jäävät pieniksi. Jos met-sän ravinnetilan selvittämisessä todetaan lannoitustarpeita, työ kannattaa eh-dottomasti toteuttaa. Lannoituksella saatava taloudellinen hyöty on merkittävä verrattuna lannoittamatta jättämiseen, varsinkin kun levitin, metsäkone ja ra-kennesuunnitelma ovat jo valmiina.

Laitteen rakentamisen jälkeen sille tehdään useita testejä, jotta saadaan var-muus sille asetettujen odotuksien täytymisestä ja laitteen todellisesta toimivuu-desta. Hydrauliiikan suunnittelu on tehty niin yksinkertaisesti, että on mielenkiin-toista nähdä sen toimivuus käytännössä. Lähinnä levittimen muutos hydraulii-moottorilla toimivaksi ja muutoksen toimivuus on suuria odotuksia herättävä. Toisaalta metsäkoneen ulkopuolisella hydraulipiirillä ei ole vielä koskaan aiem-min käytetty hydraulimoottoria. Metsäkoneen hydrauliiikan jäähdyttimen tehon tulisi riittää, mutta hydraulioöljyn lämpötilan käyttäytymistä tulee seurata. Työssä mainittua kaavaa 2 käyttämällä täytyy kokeilemalla laatia lannoitekohtaiset sää-döt levittimeen. Myös levitettäessä saavutettava lannoitteen levitysmäärän ta-saisuus täytyy käytännössä kokeilemalla varmentaa. Kuivilla ja paakkuuntumat-tomilla lannoitteilla tulisi saavuttaa toistettavissa olevia levitysmääriä hehtaaria kohden samoilla levittimen säädöillä ja metsäkoneen ajonopeudella.

LÄHTEET

1. Junkkari-keskipakolevittäjä. Käyttöohje. Maaseudun Kone Oy.
2. Metsänlannoitusopas. Saatavissa:
http://www.ruutupaperi.fi/Yara_Suomi/Metsanlannoitusopas/. Hakupäivä 20.10.2010.
3. Makkonen, Timo – Häggman, Bjarne 2008. Metsänlannoitus. Metsäkustannus Oy.
4. Tuikkanen, Jari. Hakkuu-uramenetelmän opas. Saatavissa:
http://www.peda.net/img/portal/1793299/hakkuu-uramenetelma_web_72_2010-04.pdf?cs=1271415816. Hakupäivä 22.11.2010.
5. Ponsse apulannanlevitin. Esite. Saatavissa:
http://www.ponsse.fi/images/brochures_pdf/Brochures_fin/Apulannanlevitin_fin.pdf. Hakupäivä 24.11.2010.
6. Nykänen, Seppo 2010. Metsänlannoitusta mönkijällä, osa III. Koneviesti 31.3.2010. S. 52–53.
7. Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang 1990. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
8. 400/2008 Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta.
9. Koneturvallisuus. Saatavissa: http://www.tyosuojelu.fi/upload/tso_16-2009.pdf. Hakupäivä 16.11.2010.

10. SFS-EN ISO 12100-1 + A1. 2009. Koneturvallisuus. Perusteet ja yleiset suunnitteluperiaatteet. Osa 1: Peruskäsitteet ja menetelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
11. SFS-EN 14861 + A1. 2010. Metsäkoneet. Itsekulkevat koneet. Turvallisuusvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
12. SFS-EN ISO 2867. 2009. Maansiirtokoneet. Kulkutiet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.
13. SFS-ISO 3600. 2009. Traktorit, maatalous- ja metsäkoneet, moottorikäyttöiset ruohonleikkurit ja puutarhakoneet. Käyttöohjekirjat. Sisältö ja esitysmuoto. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
14. SFS-ISO 11684. 1999. Traktorit, maatalous- ja metsäkoneet sekä moottorikäyttöiset puutarhakoneet. Turvallisuuskilvet ja vaaratekijöiden kuvatunnukset. Yleiset periaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
15. Kivioja Seppo 2009. Konetekniikka. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.
16. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka – Nuutio, Erkki – Pekkola, Kari – Pyy, Seppo – Rautiainen, Hannu – Sampo, Arto – Seppänen, Pekka – Suosara, Eero 2001. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita Oyj.
17. Inkinen, Pentti – Tuohi, Jukka 2009. Momentti 1 Insinöörifysiikka. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
18. Tekniikan kaavasto 2000. Tampere: Tammertekniikka Oy.
19. MAOL-taulukot 1999. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
20. Kauranne, Heikki – Kajaste, Jyrki – Vilenius, Matti 2008. Hydraulitekniikka. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

21. Hydrauliiikkakomponentit 2010. Saatavissa:
<http://www.dunlophiflex.fi/upload/?id=f566a1cc8faec6c90cbab32e27898f24>.
Hakupäivä 24.11.2010.
22. Airila, Mauri – Ekman, Kalevi – Hautala, Pekka – Kivioja, Seppo – Kleimola, Matti – Martikka, Heikki – Miettinen, Juha – Niemi, Erkki – Ranta, Aarno – Rinkinen, Jari – Salonen, Pekka – Verho, Arto – Vilenius, Matti – Välimaa, Veikko 1995. Koneenosien suunnittelu. Juva: WSOY.
23. OML and OMM Orbital Motors Technical Information. Saatavissa:
<http://www.sauer-danfoss.com/Products/OrbitalMotors/MiniMotors/index.htm>. Hakupäivä 27.10.2010.
24. Hydrauliikkatuotteet 2009. Saatavissa:
<http://www.dunlophiflex.fi/upload/?id=b04d1db98c6dcf82d2dccb2964fc3219>.
Hakupäivä 24.11.2010.
25. Axelkopplingar. Saatavissa:
http://www.mekanex.se/pdf/pdfkat/211_212_o_214.pdf. Hakupäivä 22.11.2010.
26. Patruuna 747, 755 Käyttöohje ja varaosakuvasto. Pellonpaja Oy.
27. Kontino Tuoteluettelo 2008. Saatavissa:
<http://julkaisin.plusverkot.fi/kontino/2008/01/>. Hakupäivä 22.11.2010.
28. Rakenneputket EN 10219. Saatavissa:
[http://www.ruukki.fi/www/materials.nsf/materials/E24952A2FFAD42DBC22577C7003DB64C/\\$File/Rakenneputket%20EN%2010219_TP%201%202%201%2010%202010_FI.pdf?openElement](http://www.ruukki.fi/www/materials.nsf/materials/E24952A2FFAD42DBC22577C7003DB64C/$File/Rakenneputket%20EN%2010219_TP%201%202%201%2010%202010_FI.pdf?openElement). Hakupäivä 18.11.2010.

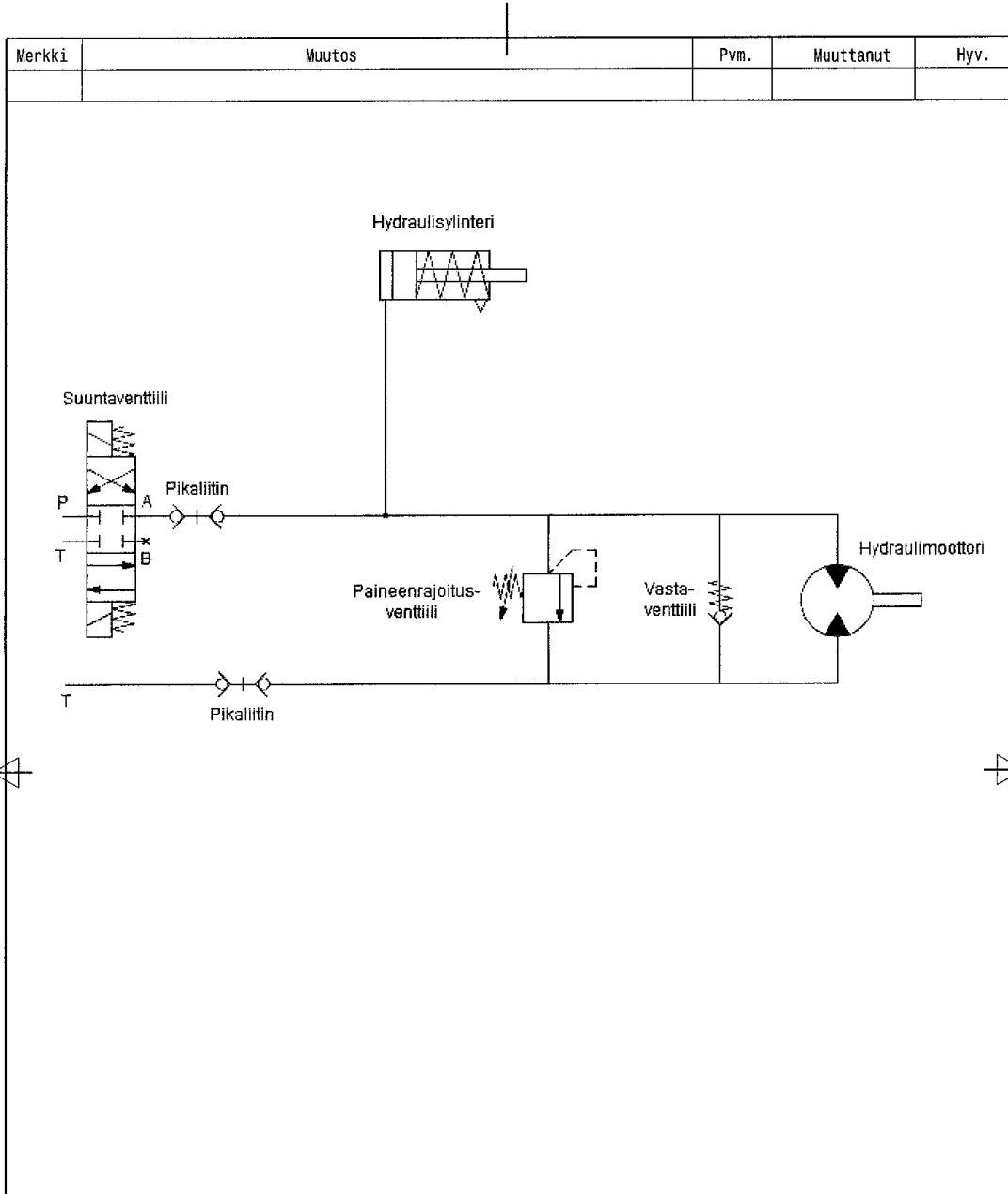
29. Mekaaniset ominaisuudet. Saatavissa:

http://www.ferrometal.fi/docs/teknisetsivut/teknisetsivut_mekaanisetominaisuudet.pdf. Hakupäivä 18.11.2010.

30. Outinen, Hannu – Salmi, Tapio 2004. Lujuusopin perusteet. Tampere: Pressus Oy.

		1. painos 10.11.2010	
		Vaatuslista: Lannoitteenlevittimen asennus metsäkoneeseen	Sivu:1
Muutokset	V T	Vaatimukset	Vastaava
		1. Kiinnitys rakenne	JO
	V	Ei saa kasvattaa alustakoneen leveyttä eikä korkeutta.	
	V	Asennus kuormatilaan takarungolle.	
	V	Asennus ilman muutostöitä levittimeen.	
	V	Asennus ilman muutostöitä kuormatilaan.	
	T	Lannoitesäkkejä mahdollista kyttyä myös vähintään yhteen lisätäyttöön.	
	V	Riittävät lujuusominaisuudet.	
	V	Terävät ja kantikkaat reunat pyöristetään.	
15.11.2010	V	Kourateline.	
23.11.2010	V	Varustettava nostokorvakkeilla.	
		2. Asennus	
	T	Nopea asentaa ja irrottaa.	
	T	Asennus ilman erikoistyökaluja.	
		3. Käyttövoima	
	V	Riittävä teho ja kierrosnopeus levittimen käyttämiseksi.	
	V	Toimintavarma.	
	T	Edullinen hankintakustannus.	
23.11.2010	V	Voimansiirron liikkuvat osat on oltava suojattuja.	
		4. Käytettävyys	
	V	Sovelluttava metsälannoitteiden levitykseen.	
	T	Kokoonsa suhteutettuna laitteen on oltava tehokas levitykseen.	
		5. Valmistettavuus	
	T	Laitteen valmistuksesta on suoriuduttava tilan työkaluilla.	
	T	Yksinkertainen rakenne valmistaa.	
		6. Valmistusmateriaalit	
	V	Varastokokoina oltavia teräksiä.	
	T	Edullisia.	
	T	Käytetään mahdollisimman pientä valikoimaa erilaisia teräsprofiileja.	
		7. Turvallisuus	
	V	Oltava konedirektiivin ja standardien mukainen.	
12.11.2010	V	Taso liikkumista varten kuormatilaan.	
12.11.2010	V	Käsikaide ja kädensijat rakenteeseen.	

		1. painos 10.11.2010	
		Vaatimuslista: Lannoitteenlevittimen asennus metsäkoneeseen	Sivu:2
Muutokset	V T	Vaatimukset	Vastaava
		8. Ergonomia T Ihminen-kone -rajapinnan huomiointi tuotteessa, oltava helppo ja takoituksenmukainen käyttää.	
		9. Kunnossapito T Mahdollisimman vähän huoltoa vaativia kohteita.	
		10. Kustannukset T Rakennusmateriaalit ja muut komponentit < 2 500€.	
		11. Määräaika V Suunnittelutyö oltava valmis vuoden 2010 loppuun mennessä.	
13.11.2010		12. Hydrauliiikka V Toimittava olemassa olevalla lisähydraulikalla.	
		T Edulliset hydraulikomponentit.	
		T Mahdollisimman vähän tehohäviöitä.	
20.11.2010		T Letkujen kotelointi niiden suojaamiseksi.	
		Korvaa painoksen	



	Osa	Piirustusnumero Tavaratunnus	Osan tai kokoonpanoryhmän nimitys	Standardi tai luettelo	Muoto, malli, määrä Lajimerkki	Laatu	Kpl
	Yleistoleranssit	Mittakaavat	Tuote	Liittyy	Hydraulikaavio		
	Piir	JO	OAMK Tekniikan yksikkö		Ent.	Uusi	
	Suun	JO					
	Park	Massa			kg		
	Hyv.						