



MOOTTORIEN ASENNUSVAATIMUKSET LIKKUVISSA TYÖKONEISSA

Miika Tuomisto

Opinnäytetyö
Joulukuu 2012
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

MIIKA TUOMISTO:

Moottorien asennusvaatimukset liikkuvissa työkoneissa

Opinnäytetyö 43 sivua, josta liitteitä 5 sivua
Joulukuu 2012

Opinnäytetyössä laadittiin uusien moottoreiden asennusohjeet, Cargotec Oyj:n käyttöön. Uusien asennusohjeiden tarkoituksena on ohjeistaa uusien Euroopan Unionin direktiivien täyttämistä, koskien haitallisten päästöjen alentamista työkoneiden moottorien käytössä. Direktiivit tiukennettiin työkoneiden osalta vuonna 1999, tämä toteutetaan kuitenkin eri osioissa, jolloin vältytään liian nopealta muutokselta. Vaiheita ovat I, II, III A, III B ja IV, viimeinen vaihe tulee voimaan vuonna 2014. Tämä opinnäytetyö käsittelee vaihetta, III B. Kyseessä on kolmen eri moottorivalmistajan moottoreiden yleisohjeet, suunnittelun sekä asennuksen helpottamiseksi. Moottoreiden käyttötarkoitus on terminaalitraktorien voimanlähde. Ohjeen kirjoituskieli on englanti, koska kyseessä on kansainvälinen ohjeistus.

Yhtiön käyttöön tarkoitettu ohje käsittelee, 6-sylinterisiä moottoreita, niiden kiinnitystä runkoon, moottorin värähtelyn vaikutusta, moottorin liityntää voimansiirtoon, imusarjaa, turboahtimen ilmanoton sekä jäähdytyksen, pakoputkiston, erilaisia jälkikäsitteilyjärjestelmiä ja moottorin jäähdytystä. Tämä ohje on luottamuksellinen, joka julkaistaan ainoastaan Cargotec Oyj:n käyttöön.

Opinnäytetyö käsittelee seuraavia aiheita, moottoreiden kiinnitykset runkoon, moottorin liitynnät voimansiirtoon, pakokaasun poisto ja jälkikäsitteilyjärjestelmät. Moottorin asennuksen vaatimukset, ovat paljon yhteneviä edellisten moottorimallien asennuksissa käytettävien ratkaisujen malleja. Uusien moottoreiden rakenteet ovat kuitenkin erilaiset, jolloin uudet kiinnitykset mitoitettiin ja suunniteltiin uudelleen. Jotkin jälkikäsitteilyjärjestelmät ovat täysin uusia ratkaisuja, joita edellisissä malleissa ei ole ollut käytössä ollenkaan. Näillä jälkikäsitteilyjärjestelmillä saadaan moottoreiden päästöjen haitalliset päästöt minimoitua, jolloin valmistettava kone täyttää Euroopan Unionin direktiivien vaatimukset haitallisten päästöjen rajoittamisesta.

Asiasanat: teollisuuden moottorit, voimansiirron liityntä, jälkikäsitteilyjärjestelmät

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical and Production Engineering
Option of Product Development

MIIKA TUOMISTO:
Guideline for engine installation in mobile equipment

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 5 pages
December 2012

The guideline for engine installation instructions were an assignment to do because of the new European Union directives, for engine emissions lower control. The Cargotec Plc in Finland was the task subscriber for installation instructions, to their engine manufacturers new engine models. These new models meet the requirements of European Union directives. The engines are used in Kalmar terminal tractors.

Instructions includes the engine mounting brackets, engine vibrations, interface for transmission, air intake and turbocharger system, engine cooling, exhaust system and different solutions for after-treatment system in inline six-cylinder engines. This document is fully confidential and it will be published only for the company use.

Bachelor's thesis contains the following parts of installation instructions, the engine mounting brackets, the interface for transmission, exhaust system and after-treatment system. The instruction follows a lot of the old solutions in engine installation. The structure of engines has been changed, so there is a new design for example in mounting brackets of engine. Some of the after-treatment systems are totally new design, which the engine models did not have before. With these new designs, the engine meets the requirements of new European Union directives in emissions reduce.

Key words: industrial engine, interface for transmission, after-treatment system

SISÄLLYS

1	ERITYISSANASTO	5
2	JOHDANTO.....	6
3	CARGOTEC YHTIÖNÄ	7
	3.1 Yhtiön esittely.....	7
	3.2 Yhtiön historia	8
	3.3 Tuotteet	9
	3.3.1 Hiab – tuotteet.....	10
	3.3.2 Kalmar – tuotteet.....	10
	3.3.3 MacGregor – tuotteet	12
4	MOOTTORIN KIINNITYKSET	13
	4.1 Kiinnikkeet.....	13
	4.1.1 Ruuviliitokset	14
	4.1.2 Joustavat liitokset.....	16
	4.2 Moottorin värähtely	18
	4.3 Moottorin kiinnitys	20
	4.4 Moottorin kiinnityksien sijainti	21
5	MOOTTORIN LIITYNTÄPINTA VAIHTEISTOON	23
	5.1 Liityntävaihtoehdot	23
	5.2 Nivelakseli	25
6	PAKOKAASU- JA JÄLKIKÄSITTELYJÄRJESTELMÄT	27
	6.1 Pakokaasun poistojärjestelmä	27
	6.1.1 Järjestelmässä huomioitavaa	27
	6.2 Jälkikäsitteilyjärjestelmät.....	29
	6.2.1 Käsiteltävät päästöt	30
	6.2.2 Hapetuskatalysaattori	32
	6.2.3 Partikkelisuodatin.....	32
	6.2.4 Pakokaasun takaisinkierätykset	33
	6.2.5 Pakokaasujen puhdistaminen pelkistyslisäaineella	34
	6.2.6 Typen oksidien sitoijat	35
	6.3 SCR – äänenvaimentimen asennus	35
7	POHDINTA.....	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	39
	Liite 1. Liikkuvien työkonoiden suurimmat sallitut päästörajat diesel- moottorilla.....	39
	Liite 2. Moottorin vasempaan takakiinnikkeeseen vaikuttavat jännitykset.....	40
	Liite 3. Moottorin oikeaan takakiinnikkeeseen vaikuttavat jännitykset	41
	Liite 4. Moottorin etukiinnikkeeseen vaikuttavat jännitykset	42
	Liite 5. Yleiset rakenneteräksset ja standardien vastaavuudet	43

1 ERITYISSANASTO

σ	Jännitys (Pa)
E	Kimmomoduuli (Pa)
τ	Leikkausjännitys (Pa)
γ	Liukukulma (rad)
f	Taajuus (Hz)
M	Momentti (Nm)
g	putoamiskiihtyvyys (m/s^2)
F	voima (N)
CO	Häkä
HC	Hiilivety
NO_x	Typhen oksidit
PM	Partikkelit
H_2O	Vesi
O_2	Happi
N_2	Typpioksidi
SCR	Selective Catalytic Reduction
EGR	Exhaust Gas Reduction
DEF	Diesel Exhaust Fluid

2 JOHDANTO

Terminaalitraktorit käyttävät voimanlähteenä kuusisylinterisiä dieselmoottoreita, joiden asennuksessa tulee ottaa huomioon useita eri asioita ja vaatimuksia. Jatkuvassa traktorien kehityksessä, myös moottorivalmistajat joutuvat tekemään oman osuutensa tästä kehityksestä. Euroopan Unionin asettamat vaatimukset haitallisten päästöjen alentamiseksi moottorien pakokaasuista, ovat vaikuttaneet siihen, että uusien mallien tulisi olla nykyisin vähemmän haitallisia ympäristölle.

Moottorin ja vaihteiston asennuksen suunnittelu, yhteistyössä moottorinvalmistajan kanssa on välttämätöntä. Kolme eri valmistajaa toimittaa moottorit terminaalitraktoreihin, jolloin heidän kanssaan on sovittava asennusmenetelmät erikseen. Asennusohjeita käsitellään tässä kuitenkin valmistajasta riippumatta ja yleisluontoisesti. Työn tarkoituksena on nopeuttaa ja ohjeistaa, suunnittelu- ja asennustyön suorittamista.

Moottorin ja vaihteiston asennus toteutetaan erillisillä kiinnikkeillä, jotka tulevat moottorin ja koneen rungon väliin, ja ovat kiristetty ruuviliitoksilla. Kiinnikkeen ja rungon kiinnityskohdan välillä käytetään kumivaimennusta runkoon kohdistuvan värinän ja melun minimoimiseksi. Kiinnikkeisiin kohdistuu dynaamisia kuormituksia sekä vääntömomentteja, johtuen moottorin omista liikkeistä, joita syntyy moottorin käydessä sekä moottorin suuresta massasta. Vaihteiston sijainnin mukaan asennuksessa käytetään erilaisia kiinnittämistapoja.

Dieselmoottorin palamisessa syntyvät hiukkaset tarvitsevat erilaisia ratkaisuja niiden poistamiseen, ja usein käytetäänkin useamman kuin yhden järjestelmän sarjaa. Täydellisesti palaessaan dieselmoottori synnyttäisi pääosin vesihöyryä ja hiilidioksidia. Kuitenkin käytännössä palamisen jälkeen pakokaasuista löytyy haitallisia aineita, kuten hiilimonoksidia, hiilivetyä, typen oksideja ja partikkeleita. Jälkikäsitelyjärjestelmät tarjoavat mahdollisuuksia päästöjen alentamiseen.

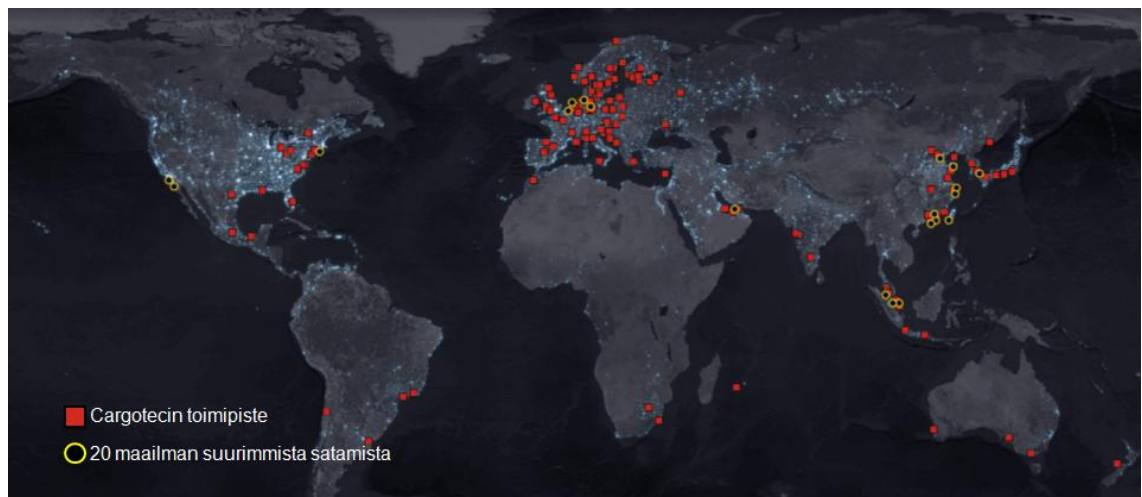
3 CARGOTEC YHTIÖNÄ

3.1 Yhtiön esittely

Cargotec Oyj on suomalainen pörssiyhtiö, jonka toimiala on teknologiateollisuus ja se tarjoaa lastinkäsittelyn tuotteita, palveluita ja ratkaisuja pääosin kolmella eri liiketoiminta-alueella. Liiketoiminta-alueet ovat Kalmar, Hiab ja MacGregor, jotka toimivat satamissa, merellä ja maalla. Cargotecin pääkonttori sijaitsee Helsingissä, hallituksen puheenjohtaja on Ilkka Herlin ja toimitusjohtajana toimii Tapio Hakakari.

Yhtiö työllistää kansainvälisesti n. 10 500 työntekijää, jotka toimivat 120 eri maassa. Työllisyys jakautuu alueittain siten, että 58 % työntekijöistä sijoittuu Euroopan, Lähi-idän ja Afrikan alueille. Aasian ja Tyynenmeren alueella työntekijöistä on 28 %. Pohjois- ja Etelä-Amerikan alueet puolestaan työllistävät Cargotecin henkilökunnasta 14 %. Yhtiön liikevaihto vuonna 2011 oli 3,1 miljardia euroa, josta liikevoittoa oli 207 miljoonaa euroa.

(Cargotec sisäinen tietokanta 2012)



KUVA 1. Cargotec toimipisteet ja suurimmat satamat kartalla.

(Cargotec sisäinen tietokanta 2012)

3.2 Yhtiön historia

Tampereen tehdas aloitti toimintansa vuonna 1936, jolloin valtion lentokonetehdas päätettiin siirtää pois Suomenlinnasta. Ensimmäisiä töitä tehtaalla olivat Tuisku, Viima ja Fokkeri lentokoneet. 1930-luvun lopulla sodan uhka moninkertaisti tehtaan työt, myös vanhoja lentokoneita tuli korjattavaksi. Tampereen tehtaasta tuli vuonna 1946 yksi Valtion Metallitehtaista, joka sai aluksi korjattavakseen sotakäytössä olleita kuorma-autoja. Tuolloin suunniteltiin myös laudankuljetusauto lukki, josta sittemmin kehittyi tehtaan maailmanmenestystuote. (Tampereen tehdas 70 vuotta 2006)

Ensimmäisen kiitojunan valmistus alkoi 1950-luvun puolivälissä, myös ensimmäisiä trukkeja ja lisää lukkeja toimitettiin Neuvostoliittoon. Lentokonetuotannon uuden aloituksen ensimmäinen malli oli Vihuri. Vuonna 1958 ryhdyttiin valmistamaan Fouga Magister – koulutuskoneita ranskalaisella lisenssillä. Lentokonetehtaalle perustettiin siirtokoneosasto, jonka tuotteita kehitettiin jatkuvasti, trukkeja, puominostureita, lukkeja teollisuudelle ja satamiin, pyöräkuormaajia, metsätraktoreita, kurottajia ja mobiilinostureita. Suurin työllistäjä oli kuitenkin vielä rautatiekalusto. Lentokoneiden valmistus siirtyi Kuoreveden tehtaalle 1964. (Tampereen tehdas 70 vuotta 2006)



KUVA 2. Kuormatraktori, Fokker CX – lentokone, teollisuuslukki, Smartrail ohjaus- ja paikannusjärjestelmä ja moottorijuna. (Tampereen tehdas 70 vuotta 2006)

1970-luvulla siirtokoneosasto kasvoi Valmetin tehtaan suurimmaksi osastoksi. Koneiden koko ja nostokyky kasvoivat, konttilukki alkoi valloittaa maailman satamia ja terminaaleja. Valtion rautateille toimitettiin yhä kalustoa, ja Helsingin kaupungille kehitet-

tiin nivelraitiovaunu ja metrojuna. Hissiosastolla tehtiin henkilö-, potilas-, pika-, ja tavarahissejä. Siirtokonetehdas kasvoi voimakkaasti 1980-luvulla, ja tuotteista yli 80 prosenttia meni vientiin ja vientimaita olikin jo yli 50. Merkittäviä toimituksia olivat mm. Helsingin metrojunat. Tehdasautomaatio tuotti automaattisia kuljetusjärjestelmiä ja joustavia valmistusjärjestelmiä teollisuudelle. Metsäkonetehdas muutti Kurikkaan vuonna 1983 ja hissitehdas siirtyi Valmetilta, Otis Oy:n omistukseen vuonna 1986. (Tampereen tehdas 70 vuotta 2006)

Valmet jatkoi yksiköiden yhtiöittämistä 1990-luvulla, jolloin kiskokalusteliiketoiminta yhdistyi Rautaruukkiin, Oy Transtech Ltd:ksi. Metsäkoneiden markkinointiyhtiö, Sisu Logging Oy, palasi Tampereelle. Tehdasautomaatio siirrettiin Oy Mercantile Ab Fas-temsille. Sisu ja Valmet yhdistivät kuljetusvälinetoimintansa, Tampereen tehtaan nimi muuttui Sisu Terminal Systems Oy:ksi ja siitä tuli osa Sisu -konsernia. Terminaalitruktorien tuotanto siirtyi Hämeenlinnasta, Tampereelle. Vuonna 1997, Sisu Terminal Systems tuli osaksi Partek -konsernia, joka hankki omistukseensa Kalmar LMV Ab:n. Kansainvälinen, Kalmar Industries -konserni syntyi ja tuotteiden kylkeen maalattiin tuotemerkki, Kalmar. (Tampereen tehdas 70 vuotta 2006)

Cargotec on muodostunut useiden lastinkäsittely-yritysten fuusioiden ja yritysostojen tuloksena. Yhtiö perustettiin kesäkuussa 2005, kun Kone Oyj jakautui kahdeksi pörssi-yhtiöksi, Cargotec Oyj:ksi ja uudeksi Kone Oyj:ksi. Jakautumisen jälkeen kuormankäsittelyliiketoiminta, Hiab, kontinkäsittelyliiketoiminta, Kalmar, ja laivojen lastinkäsittelytoiminta, MacGregor, muodostivat Cargotecin. (Cargotec sisäinen tietokanta 2012)

3.3 Tuotteet

Cargotecin nykyään valmistamat tuotteet on esitelty seuraavassa. Tuotteiden lisäksi yhtiö tarjoaa myös kattavia huoltopalveluja, joihin kuuluvat muun muassa sopimushuolto, kunnossapito- ja korjaustyöt, kuntotarkastukset, varaosat sekä muutos- ja uudistustyöt.

Myös automaation rooli on kasvussa. Esimerkkejä tuotekehityksestä ovat mm. täysin automaattinen konttilukkiterminaali, konttiterminaalin automatisointi sekä navigointi- ja kontinpaikannusjärjestelmät Smartrail ja Smartpath, joita on käytössä satamissa ympäri maailman niin Cargotecin kuin kilpailijoidenkin koneissa.

3.3.1 Hiab – tuotteet

Kuormausnosturit ovat ajoneuvoihin asennettavia nostureita, joita käytetään monenlaisissa sovelluksissa, kuten rakennustarvikkeiden ja teollisuustuotteiden kuljetuksissa sekä rakennusalalla. Vaihtolavalaitteita käytetään kuorma-autoissa esimerkiksi konttien ja vaihtolavojen kuormaamiseen. Takalaitanostin kuorma-autoon asennettuna tehostaa jakeluaajoa erityisesti silloin, kun pieniä eriä lastataan ja puretaan toistuvasti.

Ajoneuvotrukit kulkevat kuorma-auton perässä. Määränpäässä niillä voidaan purkaa kuorma sellaisiinkin paikkoihin, joihin kuorma-autolla ei pysty ajamaan. Ajoneuvotrukin purkaminen auton perästä tai sen takaisin asentaminen vie alle minuutin.

Puutavara- ja kierrätysnostureihin kuuluvat järeät puutavara-autoissa käytettävät nosturit ja kestävät metsäkonenosturit. Lisäksi nostureita käytetään kierrätysalalla sekä itsenäisinä yksikköinä teollisuudessa.



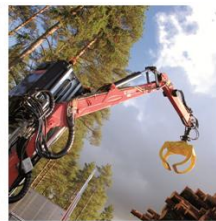
Rakennus



Ympäristö



Jakelu



Metsä



Puolustus

KUVA 3. Hiab – tuotteiden käyttöaloja.

3.3.2 Kalmar – tuotteet

Kenttänostureita käytetään suurissa terminaaleissa. Ne pystyvät pinoamaan kontteja leveämpiin ja korkeampiin pinoihin kuin muut kontinkäsittelylaitteet. Tuoteryhmään kuuluvat kiskoilla ja pyörillä kulkevat nosturit sekä automaattiset pinoamisnosturit. Kenttänosturi on saatavana myös täysin automaattisena. Tavallisesti kenttänostureita kutsutaan RTG -nostureiksi. Lyhenne tulee sanoista Rubber Tyred Gantry Crane. RTG -nosturit ovat perinteisesti käytössä maailman suurimmissa satamissa suuren kontinkäsittely- ja varastointikapasiteettinsa vuoksi. Satamanosturit lastaavat ja purkavat laiturilla laivan kontteja. Niitä käytetään suurissa satamissa ja konttiterminaaleissa.

Konttilukkeja taas käytetään yleensä keskikokoisissa satamissa ja suurissa terminaaleissa konttien kuljettamiseen laiturin, konttikentän ja lastausalueen välillä. Niiden avulla voidaan kuljettaa, pinota, lastata ja purkaa kontteja. Konttilukkeja käytetään konttien pinoamiseen ja siirtämiseen satamanosturin alta varastoalueelle ja päinvastoin sekä konttirekkojen lastaamiseen ja lastin purkamiseen. Konttilukkien ja kuljetuslukkien etu muihin järjestelmiin verrattuna on se, että satamanosturi voi lastata ja purkaa laivaa kontti- tai kuljetuslukkista riippumatta, sillä kontti- ja kuljetuslukki voivat nostaa ja jättää kontin suoraan maasta aivan kuten satamanosturikin.

Konttikurottajia käytetään konttien pinoamiseen pienissä ja keskisuurissa terminaaleissa, joissa tarvitaan monipuolista kontinkäsittelylaitteistoa. Terminaalitraktoreiden käyttötarkoitus on lyhyillä kuljetusmatkoilla satamissa, teollisuudessa ja jakelukeskuksissa. Niitä voidaan käyttää myös lastin siirtämisessä laivan ja laiturin välillä. Haarukkatrukkeja käytetään satamissa sekä konttien että muun raskaan lastin käsittelyyn ja raskaassa teollisuudessa esimerkiksi puutavaran, sellun, paperin ja teräksen siirtoihin. Puukurottajia taas käytetään puu- ja paperiteollisuudessa. Niillä puretaan raakapuuta kuorma-autoista ja junavaunuista ja kuljetetaan joko varastoon tai tuotantoon.

Konttitarttuja on strateginen komponentti missä tahansa kontinkäsittelylaitteessa satamanostureista konttikurottajiin.



Konttikurottajat



Terminaalitraktorit



ASC, RTG -nosturit



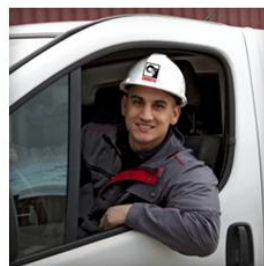
Satamanosturit



Haarukkatrukut



Bromma konttitarttujat



Huoltopalvelut



Navis TOS

KUVA 4. Kalmar – tuotteet.

3.3.3 MacGregor – tuotteet

Asiakkaan tarpeen mukaan suunniteltuja lastinkäsittelyratkaisuja toimitetaan kaiken-tyyppisiin kuivarahtialuksiin. Näihin ratkaisuihin sisältyvät kansinosturit, projektikohtaisesti toteutetut lastiluukut, lastinkiinnitysjärjestelmät sekä irtolastin käsittelyjärjestelmät. Satamille ja laivoihin suunnitellaan ja toimitetaan irtolastinkäsittelylaitteita.

Erilaisiin aluksiin kuten matkustaja-autolauttoihin, roll on / roll out- (ro-ro) ja roll on / roll out and passenger (RoPax) aluksiin sekä autojenkuljetusaluksiin toimitetaan lastinkäsittelylaitteita ja lastinkiinnitysjärjestelmiä. Lisäksi satamille ja terminaaleille tarjotaan laivanpääsyyn, lastaukseen ja kiinnitykseen sekä ankkurointiin tarvittavia laitteita.

Tankkilaivoihin toimitetaan sähköhydraulisia nostureita ja merivoimille lastiluukkuja, nostureita, roll on / roll off laitteita ja muita lastinkäsittelylaitteita.



KUVA 5. MacGregor – tuotteet.

4 MOOTTORIN KIINNITYKSET

4.1 Kiinnikkeet

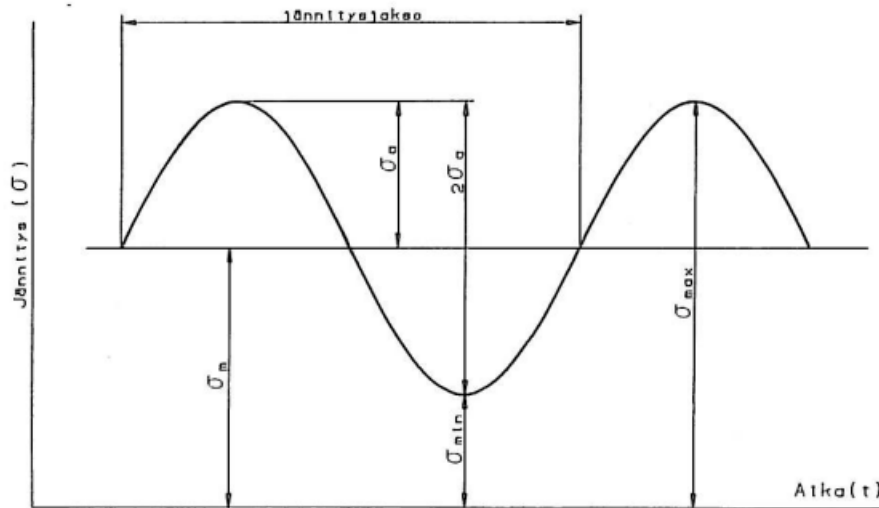
Kaikki moottorit tuottavat käydessään värähtelyä, joka syntyy palotilassa tapahtuvassa räjähdyksestä, mistä liike siirtyy kiertokankeen, joka pyörittää kampiakselia. Tämä aiheuttaa moottorin oman painon lisäksi liikevoimia kiinnikkeisiin. Osa näistä voimista on vaimennettu jo moottorinvalmistajan toimesta, käyttäen vastavoimia esimerkiksi ajoittamalla sylintereiden iskuja. Moottorin kiinnitysten on kestettävä jatkuvaa värähtelyä, sekä vaimennettava sen vaikutusta runkoon. Kiinnikkeiden materiaali tulee olla hitsattava rakenneteräs, jonka vähimmäismyötölujuus on 355 MPa ja murtolujuus vähintään 490 MPa.

Rakenneterästä on saatavana kuumamuovattuina levyinä, tankoina, nauhoina ja takeina. Ne ovat seokseltaan yleensä sopivia hitsattuihin ja hitsaamattomiin rakenteisiin. On huomioitavaa, että rakenneterästen myötölujuusarvot laskevat n. 10 % silloin kun materiaalinpaksuus on 100 millimetriä (mm). Korkeissa lämpötiloissa on myös huomioitavaa, että lämpötilan noustessa 200 °C, laskentalujuusarvoja lasketaan jo 20 %. (Kleimola 2010, 111–112)

Kiinnikkeiden valmistuksessa käytetään hitsausliitoksia, joka tarkoittaa työkappaleiden liittämistä siten, että syntyy atomien välinen metallinen sidos. Hitsausliitokset voidaan jakaa neljään tavallisimpaan ryhmään, päittäisliitokset, päällekkäisliitokset, kulmaliitokset ja reunaliitokset. Kiinnitysliitos on tarkoitettu kantamaan pääasiassa vain pituus-suuntaisia leikkausjännityksiä, jotka estävät osien välisen liukumisen. Liitettävissä osissa normaalijännitys on hitsin kannalta sekundaarinen jännitys. Kiinnitysliitos mitoitetaan vaikuttavan rasituksen perusteella siten, että niiden ylimitoittamista tulisi välttää koska ne aiheuttavat hitsausjännityksiä ja muodonmuutoksia. Avoimilla profiileilla on stabiili- ja korroosiosyistä syytä käyttää kaksoispienahitsejä tai riittävää läpihitsautumista. (Niemi, 1985b, 397,405–406)

Kiinnikkeisiin kohdistuva kuormitus on dynaamista, silloin kun kuormitus vaihtelee merkittävästi ajan funktiona (kuva 6). Materiaali käyttäytyy staattisen ja dynaamisen kuormituksen alaisena eri tavoin, jolloin dynaamisessa kuormituksessa kappale saattaa

murtua staattista murtolujuutta pienemmälläkin jännityksellä. Dynaamisessa kuormituksessa kappaleeseen kohdistuu väsymismurtuma, joka johtuu vaihtelevasta kuormituksesta. Tällöin yleensä murtumaan johtavien kuormituskertojen määrä on huomattavan suuri. Materiaalien väsymislujuusarvot saadaan koesauvoilla, jossa kuormitus voi olla vetoa, puristusta, vääntöä tai taivutusta. (Ranta, 1985a, 150–152)



KUVA 6. Puhdasmuotoista dynaamista kuormitusta, jännitysjakso. (Ranta 1985a)

Yleisimmin käytetty mitoitusmenetelmä dynaamisessa rasituksessa on mitoitus väsymisrajaan nähden. Mitoitustapa perustuu siihen, että suunnittelujännitys on varmuusluvun määräämä osa kappaleen väsymislujuudesta ja laskennallinen käyttöikä tulee ääretömän pitkäksi. Tapauksessa jossa kappaleelle halutaan kestopaja, kuten yleensä lentokone-, auto- ja ydinvoimalateollisuudessa, voidaan mitoituksessa käyttää Wöhler -käyrää aikariippuvalla alueella, jolloin saadaan kappaleelle rajattu kestoikä. (Ranta 2010, 25)

4.1.1 Ruuviliitokset

Ruuviliitoksella toteutetuissa liitoksissa on tärkeää, että kuormituksen aiheuttama rasitus jakautuu mahdollisimman tasaisesti kaikille liitoksille. Liitos suunnitellaan niin, että jännitysjakauma on mahdollisimman tasainen. Toisiinsa liittyvien osien vastinpisteiden siirtymät ovat samansuuntaiset ja mahdollisimman tasaisesti kuormitetut.

Korroosion huomioonottaminen on tärkeää. Epäjalompi metalli syöpyy nopeammin jalompaan liitettynä kuin yksin samassa ympäristössä, siksi on tärkeää, että liitettävät osat ovat lähellä toisiaan galvaanisessa jännitesarjassa. Ruuvien ja muttereiden tulisi aina olla vähintään yhtä jaloja kuin ympäristönsä. Korroosionkestävyyden lisäämiseen on mahdollisuuksina, joko pintakäsittely tai ruuvimateriaalien parantaminen. Pintakäsittelyssä korroosionkestävyyttä voidaan lisätä sähkösinkityksellä, passivoinnilla, kuumasinkityksellä, kromauksella tai niklauksella. Hehkutus ja fosfatoiointi eivät lisää ruuvien korroosionsieto-ominaisuuksia. Mikäli ympäristö on sellainen, että ruuvien pintakäsittely ei auta teräsrुuvien säilymiseen riittävän hyvin, on käytettävä ruuvimateriaalina kalliimpaa ruostumatonta tai haponkestävää materiaalia. (Verho 1985b, 191,193,198)

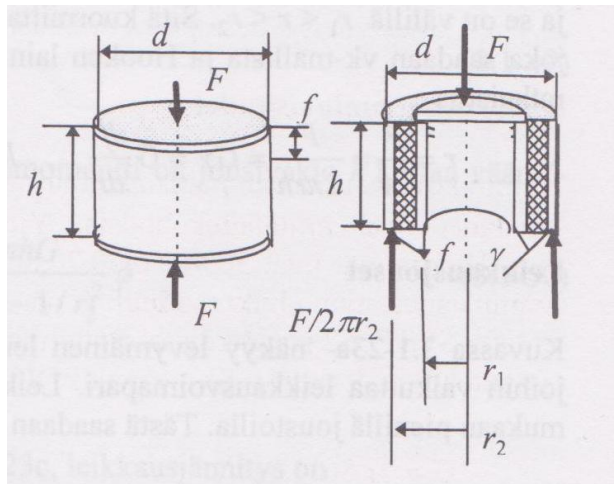
Yleisin käytettävä mutteri on kuusiomutteri, mutta myös lukkomutterit ovat yleisiä. Niiden etuna on, että ne eivät aukea tärinän vaikutuksesta. Mutterin tai ruuvien kannan alla käytettävän aluslaatan tehtäviä on ruuvien kiristämisen helpottaminen, alustaan kohdistuvan paineen pienentäminen, kiinni pysymisen varmistaminen, kaltevan alustan ruuviin aiheuttaman taivutuksen eliminointi, liitoksen tiivistys ja korroosion torjumiseksi galvaaninen eristys. (Verho 1985b, 183–185) Myös maalipinnan kannalta aluslaataalla on tärkeä tehtävä, silloin kun kiristetty ruuvi löysätään ja sen alla ollut maalipinta paljastuu. Ilman aluslaattaa kiristetyn ruuvien alla oleva maalipinta on kulunut tai hioutunut kokonaan.

Kiinnikkeet ja ruuvit on mitoitettava siten että ne kestävät kuormat, jotka kohdistuvat moottorin kiinnikkeisiin. Ruuviliitoksessa on myös huomioitava ruuvien lukumäärä ja tiheys, sekä suoritettava kestävyysanalyysi liitoksesta. Ruuvien lujuusluokkana tulisi käyttää arvoja 8.8, 9.8 tai 10.9. Suuremman lujuusluokan ruuveja ei suositella ylittämisen tai korroosiokestävyyden heikentymisen vuoksi. (Mason 2010a, 2) Kiinnikkeissä suositetaan käytettäväksi suurikantaisia kuusioruuveja, kannan alustaan kohdistaman paineen pienentämiseksi.

Ruuviliitoksen kierteen pituutena suositellaan vähintään, käytettävän ruuvien halkaisijaa, jos kierteitettävä materiaali on terästä. Valuraudan kanssa kierteen pituus tulee olla vähintään puolitoista kertaa ruuvien halkaisija, alumiinin kiinnitettäessä taas vähintään kaksi kertaa ruuvien halkaisija. (Mason 2010a, 2)

4.1.2 Joustavat liitokset

Tässä tapauksessa joustavaa liitosta käytetään dynaamisesti kuormitetun moottorin kiinnikkeen, ja rungon välisen värähtelyn vaimentamiseen. Vaimennusaineena toimii kumivaimennin, jota tarkastellaan kumijousena. Tarkemmin tarkasteltavana ovat lie-riömäinen puristusjousi ja rengasmaisen suorapäätynen aksiaalipuristusjousi (kuva 7).



KUVA 7. Lieriömäinen puristusjousi vasemmalla, sekä rengasmaisen suorapäätynen aksiaalipuristusjousi oikealla. (Martikka 2010, muokattu)

Kumin kimmoisuus johtuu sen atomeista, jotka ovat kytkeytyneet yhteen hyvin pitkiksi haaroittuneiksi ketjuiksi. Polymeeriketjut sitoutuvat toisiinsa kolmiulotteiseksi verkoksi, jonka silmukat ovat suuria ja solmujen välissä liikkuvia. Kumijouset voidaan luokitella kolmeen eri ryhmään, puristus- ja vetojousiin, leikkausjousiin ja vääntöjousiin. Kumijousia voidaan muotoilla ja yhdistää rakenteiksi, joissa on optimaalisesti hyödynnetty kunkin jousityypin ominaisuuksia. Lieriömäinen puristusjousi, jossa puristusjännitys saadaan ulkoisesta kuormasta Hooken lain mukaan, yhtälöllä (1). (Verho, 1985b, 125,134,136)

$$\sigma = E \cdot \epsilon = E \cdot \frac{f}{h} \quad (1)$$

jossa σ on puristusjännitys, E on puristusjousen kimmomoduuli, ϵ on puristuma, f on jousto ja h on jousen korkeus kuormaamattomana.

Kumijousen jäykkyyskerroin voidaan laskea käyttämällä yhtälöä (2), jousivoima taas saadaan yhtälön (3) mukaan. Jousivoima on jouston avulla lausuttuna joustokäyrä $F(f)$ ja jännityksen avulla lausuttuna $F(\sigma)$. (Verho, 1985b, 136)

$$k = \frac{F}{f} = \frac{E \cdot A}{h} \quad (2)$$

jossa k on jäykkyyskerroin, F on puristusvoima, f on jousto, E on puristusjousen kimmoduuli, A on poikkileikkauksen ala ja h on jousen korkeus kuormaamattomana.

$$F = k \cdot f = A \cdot \sigma \quad (3)$$

jossa F on puristusvoima, k on jäykkyyskerroin, f on jousto, A on poikkileikkauksen ala ja σ on puristusjännitys.

Rengasmaisen suorapäätysen aksiaalispuristusjousen laskuyhtälöt on esitetty seuraavassa. Rengasmaista joustua kuormittava aksiaalisvoima tuottaa siihen leikkausjännitystilaa, jolloin suorien päätysten takia kumissa on sisäputken reunalla jännityskeskittymä. Yhtälöstä (4) saadaan leikkausjännitys jouselle, Hooken lain mukaan. Jousto voidaan määritellä yhtälöstä (5), jäykkyyskerroin taas saadaan yhtälöstä (6) ja jousivoima laskeetaan yhtälön (7) mukaan. (Verho, 1985b, 136–137)

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (4)$$

jossa τ on leikkausjännitys, G on kumin liukumoduuli ja γ on liukukulma.

$$f = F \cdot \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot h \cdot G} \quad (5)$$

jossa f on jousto, F on jousivoima, r_2 on kumin halkaisija, r_1 on kumin sisähalkaisija, h on jousen korkeus kuormittamattomana ja G on kumin liukumoduuli.

$$k = \frac{2\pi \cdot h \cdot G}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (6)$$

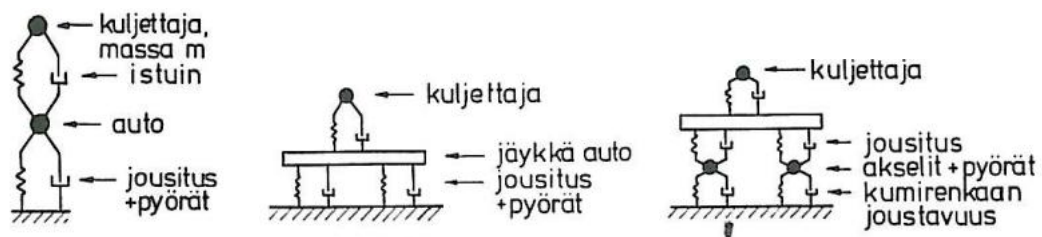
jossa k on jäykkyysskerroin, r_2 on kumin halkaisija, r_1 on kumin sisähalkaisija, h on jousen korkeus kuormittamattomana ja G on kumin liukumoduuli.

$$F = A \cdot \tau = k \cdot f \quad (7)$$

jossa F on jousivoima, A on poikkileikkauksen ala, τ on leikkausjännitys, k on jäykkyysskerroin ja f on jousto.

4.2 Moottorin värähtely

Värähtelyn luonteeseen vaikuttavia ominaisuuksia yleisesti ajateltuna, ovat kappaleen massa, joustavuus tai jäykkyys sekä vaimennus. Moottorin värähtelyjen aiheuttamat vahingot ajoneuvossa ovat materiaalien väsyminen, sekä rungon kautta ohjaamoon välittyvä värähtely. Liiallinen värähtely ja meluhaitat ovat haitallista ihmiselle. Vaimennuksen tarkoituksena on saada värähtelyamplitudit niin pieniksi, että haitat voidaan katsoa merkityksettömiksi. Värähtelymekaniikassa rakenne käsitellään yleensä yksinkertaistettuna mallina, jossa dynaaminen käyttäytyminen vastaa tarkasteltavan rakenteen todellista käyttäytymistä riittävästi. Osien lukumäärä, tyyppi ja toisiinsa liittyminen on myös tehtävä riittävän tarkasti vastaamaan todellista tilannetta. (Pramila 1985d, 312–313)



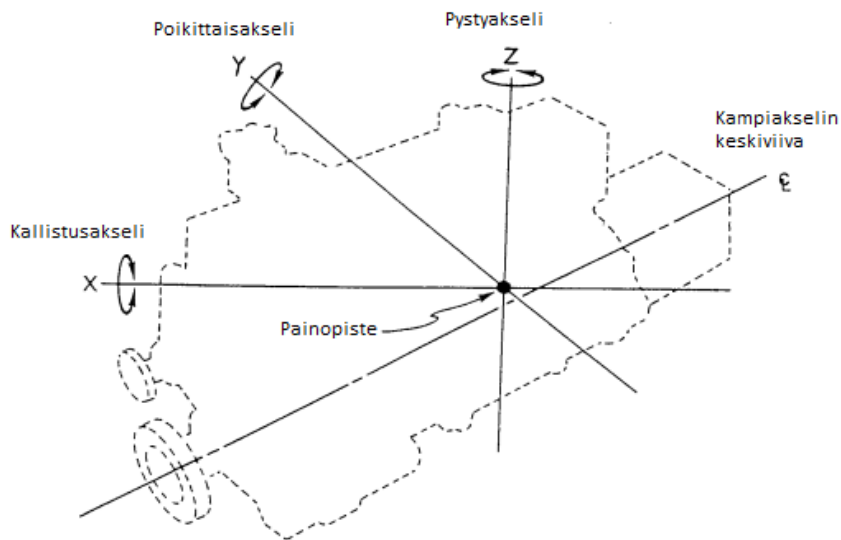
KUVA 8. Malleja, joiden mukaan voidaan analysoida kuljettajan ajomukavuutta. (Pramila 1985d, muokattu)

Moottorin värähtelyn huomioinnissa on yksinkertaisinta ajatella moottoria ja vaihteistoa yhtenä kappaleena, jolla on massa ja tiheys. Tämä helpottaa moottorin värähtelyn vaimennuksen suunnittelussa, joka voidaan tehdä yksinkertaisella matriisilaskennalla. Jokaisen moottorin kiinnikkeen ja rungon väliin sijoitettavat kumivaimentajat ajatellaan

jousina, joilla on vaikutus kolmeen suuntaan. Yksinkertaistettuna voidaan ajatella että värähtely, joka vaikuttaa kiinnikkeisiin, tulee sytytystaajuuden ja ominaistaajuuden vaikutuksesta. Moottorinkiinnikkeen vaimennuksen teho voidaan mitata käyttämällä siirtyvyyskerrointa. Siirtyvyyskerroin on värähtelyvoimien vaimentumisen määrä prosentteina kiinnikkeiden jälkeen rungossa, tällöin arvo joka on yli yksi tarkoittaa että värähtely vahvistuu kiinnikkeiden jälkeen. Tällöin arvo alle yhden vaimentaa värähtelyä. Arvo on teoreettinen ja sitä on hankala käytännössä mitata, mutta se antaa hyvät lähtöarvot suunnitteluun ja vaimentimien valitsemiseen. (Mason 2010b, 4)

Ominaistaajuus, jolla tarkoitetaan matalalla tai korkealla tasaisesti käyvää moottoria ja siitä välittyvää värähtelyä runkoon. Taajuus riippuu moottorin tyypistä, kierroslukumäärästä ja sylintereiden lukumäärästä. Ominaistaajuuden tulisikin olla lähtöarvoisesti, enintään 24 hertsiä (Hz). Kyseistä lukemaa saadaan muutettua, muuntamalla käynnin kierroslukumäärää. Moottorin sytytystaajuuden määrittämiseen vaikuttavat sylinterien lukumäärä, moottorin tyyppi ja kierroslukumäärä. Taajuus selvittämällä saadaan tietää, miten monta värähdystä tapahtuu yhden aikayksikön aikana. Sytytystaajuudella tarkoitetaan moottorin sylintereissä tapahtuvaa sytytystä yhden moottorin kierroksen aikana. Kuusisylinterinen rivimoottori syttyy kolme kertaa yhden moottorin kierroksen aikana. (Mason 2010b, 3)

Värähtelyt aiheuttavat moottorin rakenteesta riippuen, kohtisuoraa etenemis- tai pyörimisliikettä yleensä kolmeen eri akselin suhteen. Moottorin voimansiirron kallistusakseli on tavallisesti sen akselin läheisyydessä, jolla on vähiten hitautta. Kallistusakseli läpäisee kahden suurimman massan omaavan kappaleen painopisteen, jotka ovat moottori ja vaihteisto (kuva 9). (Mason 2010b, 3)



KUVA 9. Moottorin ja vaihteiston painopiste sekä värähtelyn vaikuttamat suunnat. (Mason 2010b, muokattu)

4.3 Moottorin kiinnitys

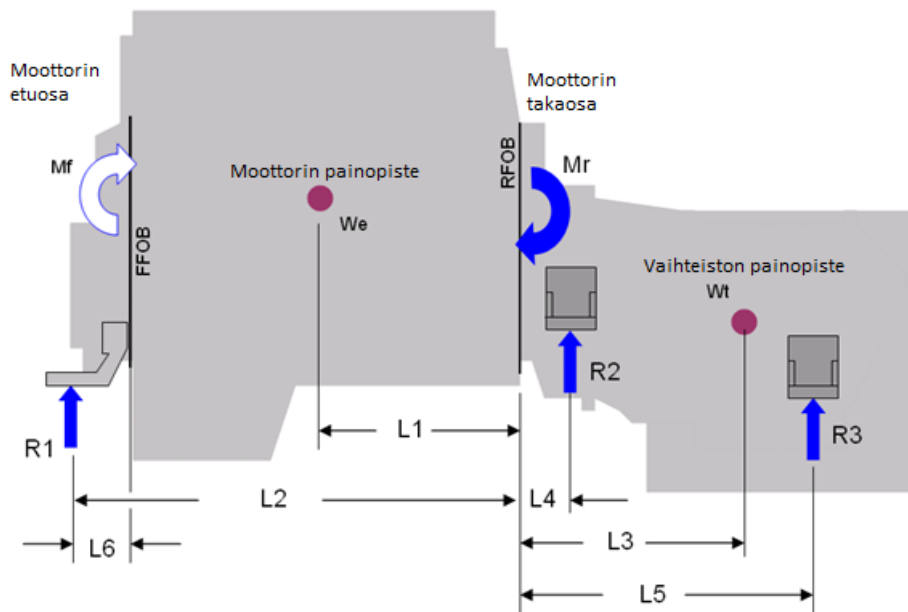
Moottorin kiinnitys tulee olla pehmeä ja vaimennettu, moottorin värähtelyn vaikutukselta runkoon, mutta kuitenkin niin, että se estää moottorin liikkumisen riittävän tehokkaasti. Jokaisen yksittäisen kiinnikkeen kohdalla on kuormituksia, johtuen moottorin liikehdinnästä, voimansiirron vääntömomentista ja tien epätasaisuudesta, joka vaikuttaa iskuina sekä rungon taipumisesta. (Mason 2010b, 7)

Äkilliseen iskukuormitukseen tulee myös varautua kiinnikkeiden suunnittelussa. Suunnitteluarvoina voidaan käyttää 6 G:n kuormitusta moottorista eteenpäin suunnattuna, ja 9 G:n kuormitusta taaksepäin. 1 G vastaa yhden painovoiman verran kiihtyvyyttä, jonka arvo on n. $9,81 \text{ m/s}^2$. (Mason 2010b, 7)

Vetoakselit ja jousitus tulisi suunnitella siten, että ne minimoivat voimansiirron kiinnikkeisiin kohdistuvat voimat. Kuitenkin aksiaalivoimia voidaan suvaita, jos akselit ovat suunniteltu ottamaan aksiaalivoimaa vastaan. Vaimentimen tehtävä on myös vaimentaa vetoakseleilta tulevaa kuormitusta, ja pidentää ajallisesti äkillisen iskukuormituksen tuottavaa voimaa kiinnikkeisiin. (Mason 2010b, 7-8)

4.4 Moottorin kiinnityksien sijainti

Seuraavassa esitellään yksinkertainen laskutapa moottorin kiinnikkeiden sijoituksen määrittämiseen, jossa otetaan huomioon vain staattinen kuormitus esisuunnitteluvaiheessa. Tämän toteuttamiseen tarvitaan moottorin sekä vaihteiston painopisteet, sekä lähtöarvot mahdollisille kiinnikkeiden paikoille. Tarkoitus on saada moottorin ja vaihteiston paino jakautumaan tasaisesti kaikille kiinnikkeille. Kuvassa (10) käytetyt merkinnät ovat esimerkki laadittavasta pohjasta. Etäisyyksien yksikkö on metri (m), painon yksikkö on kilo (kg) ja momentin yksikkö on Newton-metri (Nm).



KUVA 10. Kiinnikkeisiin vaikuttavat voimat ja vääntömomenttien arvioidut suunnat. (Mason 2010, muokattu)

Etukiinnikkeeseen kohdistuva paino saadaan käyttämällä yhtälöä (8). Takimmaiseen takakiinnikkeeseen kohdistuva paino saadaan yhtälöstä (9). Etummaisen takakiinnikkeeseen kohdistuva paino taas yhtälöstä (10). Vääntömomentti moottorin etuosaan saadaan yhtälöstä (11) ja takaosaan yhtälön (12) mukaan.

$$R_1 = W_e \cdot \frac{L_1 + L_4}{L_2 + L_4} \quad (8)$$

jossa R_1 on etukiinnikkeeseen kohdistuva paino, W_e on moottorin paino ja L_1 , L_2 , L_4 ovat etäisyyksiä.

$$R_3 = \frac{W_t \cdot (L_3 - L_4)}{L_5 - L_4} \quad (9)$$

jossa R_3 on takimmaiseen takakiinnikkeeseen kohdistuva paino, W_t on vaihteiston paino ja L_3, L_4, L_5 ovat etäisyyksiä.

$$R_2 = W_e + W_t - R_3 - R_1 \quad (10)$$

jossa R_2 on etummaiseen takakiinnikkeeseen kohdistuva paino, W_e on moottorin paino ja W_t on vaihteiston paino

Momenttien arvioitu suunta näkyy kuvasta (8) merkittyinä ympyränuolina, jos tulos saadaan negatiivisena, tarkoittaa se että arvioitu suunta oli väärä.

$$M_r = (W_t \cdot L_3 - R_2 \cdot L_4 - R_3 \cdot L_5) \cdot g \quad (11)$$

jossa M_r on vääntömomentti moottorin takaosassa, W_t on vaihteiston paino, R_2, R_3 on kiinnikkeisiin kohdistuvat voimat, L_4, L_5 ovat etäisyyksiä ja g on putoamiskiihtyvyys.

$$M_f = R_1 \cdot L_6 \cdot g \quad (12)$$

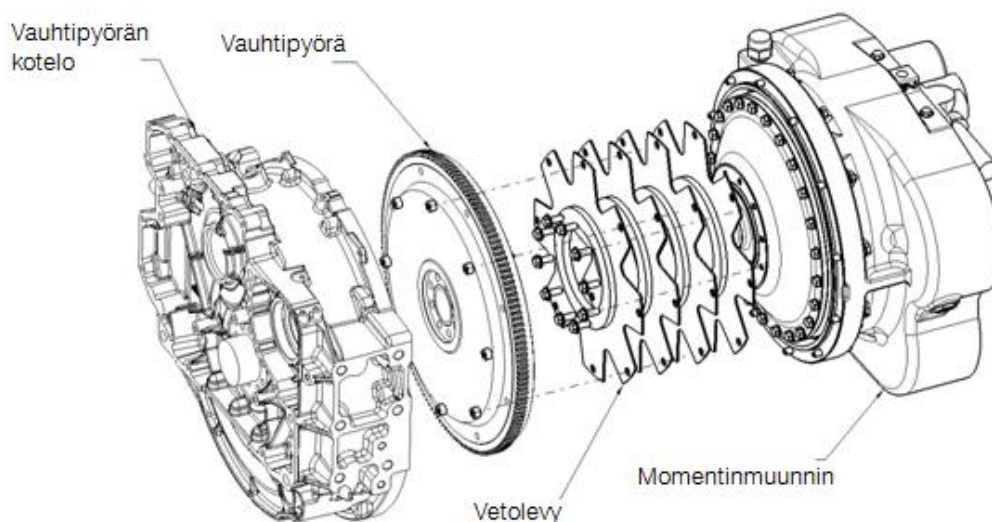
jossa M_f on vääntömomentti moottorin etuosassa, R_1 on kiinnikkeeseen kohdistuva voima, L_6 on etäisyys ja g on putoamiskiihtyvyys.

5 MOOTTORIN LIITYNTÄPINTA VAIHTEISTOON

5.1 Liityntävaihtoehdot

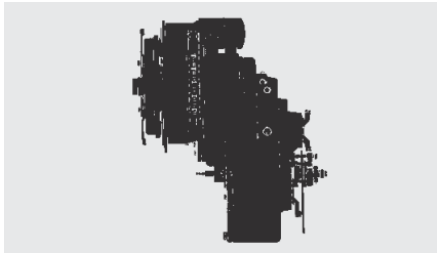
Moottorin pyörimisliike voidaan siirtää erilaisten vauhtipyörien avulla yhdistettyyn momentinmuuntimen ja vaihteiston rakenteeseen. Mahdollista on myös siirtää liikettä akselien avulla, jolloin asennuksiin saadaan joustavuutta. Vaihteiden tehtävä taas on moottorin pyörimisnopeuden muuttaminen, kiinteällä tai portaittain vaihtuvalla välitys-suhteella vetoakselille. Lisäksi vaihteilla voi olla muitakin tehtäviä, kuten liikkeen siirtäminen kahden akselin välillä tai pyörimissuunnan vaihtaminen. (Mantovaara 1985c, 235)

Momentinmuuntimella muutetaan moottorista saadun pyörimisliikkeen vääntömomenttia ainoastaan hydrauliohjain avulla, joten mekaanista kosketusta ei tapahdu missään vaiheessa. Tätä periaatetta voidaan käyttää nopeudeltaan hitaissa ajoneuvoissa. Moottorin ja momentinmuuntimen välillä on vauhtipyörä, joka kiinnitetään momentinmuuntimeen useiden vetolevyjen avulla. Vetolevyt kiinnitetään ulkoreunastaan vauhtipyörään ruuvi-kiinnityksellä, sekä levyjen sisäreuna kiinnitetään samaan tapaan momentinmuuntimeen. Moottorin, momentinmuuntimen ja vaihteiston yhdistämiseen on kolme erilaista kytkentätapaa.



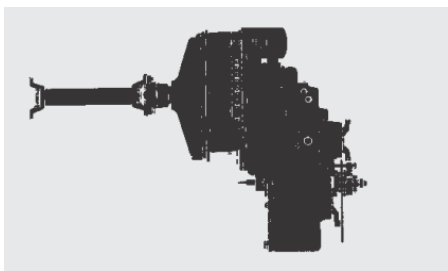
KUVA 11. Vauhtipyörän kiinnitys momentinmuuntimeen.

Suorassa liitynnässä moottori, momentinmuunnin ja vaihteisto ovat kaikki kiinnitetty yhteen ilman nivelakseleita (kuva 12). Asennustavan hyöty on siinä, että moottori ja vaihteisto saadaan yhteen pakettiin, jolloin rungosta vaadittava tilantarve on vain yhdessä paikassa. Lisäksi tällä vältetään ylimääräisten hydrauliletkujen ja nivelakseliä asennus osien välillä. Haittapuoliksi voidaan laskea se, että rungon tilanvaatimus yhdessä kohdassa on suuri, sekä paino jakaantuu vain yhteen alueeseen rungossa. (Dana 2012, 22)



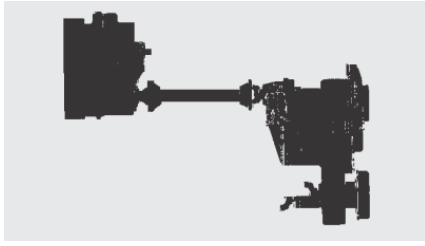
KUVA 12. Yhdistetty moottori, momentinmuunnin ja vaihteisto. (Dana, 2012)

Erillinen muuntimen ja vaihteiston asennus, jolloin moottori jää näiden kahden välisen paketin ulkopuolelle, jolloin se asennetaan käyttäen nivelakselia (kuva 13). Lisäksi hydraulioöljyn kiertoa ajatellen, täytyy asentaa ylimääräisiä hydrauliletkuja näiden välille. Hyödyiksi voidaan ajatella mahdollisuutta asennukseen eri korkeuksille, ja rungolta vaaditun tilan vaatimus on tällöin jaettu yhdessä painon kanssa. (Dana 2012, 22)



KUVA 13. Erillinen momentinmuuntimen ja vaihteiston yhdistelmä. (Dana 2012)

Kolmas kytkentätapa on moottorin ja momentinmuuntimen yhdistelmä, jossa vaihteisto on erillisenä asennuksena nivelakselin päässä. Myös tässä asennustavassa on etuina joustavuus asennuksissa, koska akseli antaa mahdollisuuden korkeuseroihin osien välillä. Vaihteisto voidaan kiinnittää taemmas runkoon, jolloin moottorin ja vaihteiston paino jakaantuu rungolle tasaisemmin. Haittapuolena voidaan mainita, että tarvitaan erillinen hydraulioöljyletkujen asennus, sekä nivelakselin asentaminen. (Dana 2012, 22)



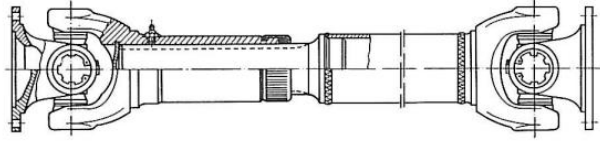
KUVA 14. Erillinen vaihteisto yhdistettynä nivelakselilla. (Dana 2012)

5.2 Nivelakseli

Nivelakseli, eli nivelkytkin on akselinliitos, joka voi siirtää vääntömomentin ja pyörimisliikkeen akselista toiseen. Akselien välinen kulma voi olla kiinteä tai muuttuva. Pyörimisliikkeen siirron perusteella nivelet voidaan jakaa kolmeen ryhmään, ei-vakionopeusnivelet, likimain vakionopeusnivelet ja vakionopeusnivelet.

Ei-vakionopeusnivelet siirtävät pyörimisliikettä epätasaisesti siten, että kulmanopeussuhde käyttävän ja käytettävän akselin välillä vaihtelee, kun nivelkulma tai suunnittelukulma on suurempi kuin nolla. Likimain vakionopeusnivelet siirtävät kulmanopeuden tasaisesti jollain nivelkulmalla, nollan lisäksi. Muilla nivelkulmilla kulmanopeussuhde on likimain vakio. Vakionopeusnivelet taas siirtävät pyörimisliikettä tasaisesti kaikilla sallituilla nivelkulmilla. Likimain vakionopeusnivelet lasketaan usein samaan ryhmään vakionopeusniveliä kanssa, koska kulmanopeusvaihtelu on vähäistä. (Kivioja, 1985c, 203)

Kulmaliikkeen lisäksi akselissa voi olla myös aksiaaliliikettä, jolloin sitä kutsutaan liukuniveleksi. Jos akselissa ei ole aksiaaliliikettä, sen nivel on kiinteäkeskiöinen ja se voi ottaa vastaan aksiaalivoimia (Kivioja, 1985c, 204). Ennen mainituissa tapauksissa, joissa asennustapa oli esimerkiksi erillinen kytkentä vaihteistoon, on käytössä juuri tällainen liukunivel momentinmuuntimen ja vaihteiston välillä.



KUVA 15. Aksiaaliliikkeen salliva kardanaiksi, laippakiinnityksellä.
(Kivioja, 1985c)

6 PAKOKAASU- JA JÄLKIKÄSITTELYJÄRJESTELMÄT

6.1 Pakokaasun poistojärjestelmä

Pakoputkiston tehtävä on poistaa sytytyksessä syntyvää pakokaasua pois palotilasta. Putkisto siirtää pakokaasut turboahtimen kautta eteenpäin, josta ne kulkevat äänenvaimentimien ja jälkikäsitteilyjärjestelmien lävitse, josta ne ohjautuvat puhdistettuna järjestelmästä ulos. Pakoputkistoa suunniteltaessa kannattaa kiinnittää huomiota neljään asiaan, jotka ovat pakokaasujen poistuessa syntyvä vastapaine, veden pääsyyn estäminen järjestelmään, pakokaasun suuntaaminen ja kiinnitykset.

6.1.1 Järjestelmässä huomioitavaa

Vastapaine syntyy putkiston rakenteesta sekä koosta, äänenvaimentimista ja pakokaasun läpivirtausmäärästä. On tärkeää rajoittaa vastapaineen määrää niin, että moottorin suorituskyky ja lämpötilat pysyvät oikeissa arvoissa.

Äänenvaimentimien tarkoitus on vaimentaa moottorista aiheutuvaa melutasoa, joissa äänenpainetta alennetaan tai ääniaallot saadaan kumoamaan toisensa resonaattorikammioilla. Vaimennin on yleensä varsinaista pakoputkea isompi laite, jossa pakokaasu virtaa esimerkiksi pienempien reikien läpi erilaisiin kammioihin, jolloin äänentason vaimentuvat. Myös ääneneristys eri materiaaleilla on mahdollista. Vaimentimen kokoon ja määrälliseen tarpeeseen vaikuttavat moottorin melutaso ja pakokaasun läpivirtausmäärä. (Penrice 2011, 2)

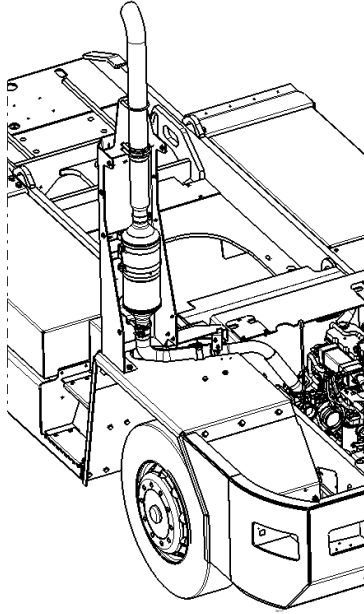
Vastapaineeseen vaikuttaa suuresti pakokaasun poistoon valitun putken halkaisija, erityisesti turboahtimen ja ensimmäisen vaimentimen välille valittava putken koko ja kaikki vaimentimen jälkeen käytettävät putken koot. Hyvänä suunnittelukäytäntönä voidaan pitää tapaa, jossa putki pidetään niin isona kuin on käytännöllistä. Putken taivutuksien määrä tulisi pitää mahdollisimman pieninä, ja silloin kun taivutusta täytyy tehdä, olisi syytä käyttää mahdollisimman suuria taivutussäiteitä. Suurimmat vaikutukset vastapaineen määrään tuleekin putken koosta ja taivutussäiteistä. (Penrice 2011, 2-3)

Järjestelmä tulisi suunnitella siten, että se estää veden pääsyn pakokaasujärjestelmän kautta sateen tai ajoneuvon pesun aikana turboahtimeen. Turboahtimeen päästessään vesi vahingoittaa laakereita ja tiivisteitä, sekä sylinteriin päästessään voi aiheuttaa vakavia vaurioita moottorille. Järjestelmän tulisi myös huomioida ja estää mahdollinen lauhdeveden kertyminen putkistoon. Yleisin tapa estää veden pääsy moottoriin ja turboahtimeen, on suunnitella putkistoon yksi matalampi kohta, johon vesi kerääntyy. Tämä voidaan toteuttaa vaakaan sijoitetulla äänenvaimentimella. (Penrice 2011, 3)

Pakokaasun poistuessa järjestelmästä täytyy huomioida, mihin vapautuva pakokaasu suunnataan, että terveydelle haitallisia kaasuja ei pääse ohjaamoon. Pakokaasu sisältää nokea ja muita haitallisia partikkeleita, jotka aiheuttavat vahinkoa rakenteisiin sekä imuilman sekaan päästessään vahingoittaa moottorin imuilman suodatinta.

Turboahdin toimii erittäin suuressa lämpötilassa, ja sen toleranssit ovat pienet pyörivien osien ja kotelon välillä. Pakoputkiston suunnittelussa tulee ottaa huomioon lämpölaajenemisen vaikutus kappaleiden kokoon ja estää vahingon aiheuttaminen turboahtimelle sekä pakosarjalle. Huomiota tulee kiinnittää vääntömomenteihin, koska turboahdinten kiinnikkeillä ja pakosarjalla on suurimmat sallitut vääntömomentit. Vääntömomentin helpottamiseksi turboahtimeen kohdistuessa, voidaan käyttää lyhyttä joustavaa putkea yhdessä tietyssä kohdassa. Turboahdinten jälkeisen putkiston ensimmäinen kiinnike, tulisi olla 1,3 – 2 metrin etäisyydellä ahtimen ulostulosta. Ensimmäinen pakoputkiston kiinnike ja putkiston lämpölaajeneminen, voivat aiheuttaa suuria kuormituksia turboahtimelle. Kuormaa voidaan helpottaa, suunnittelemalla kiinnike vähintään 1,3 metrin etäisyydelle turbosta ja tekemällä siitä joustava. (Penrice 2011, 10,14)

Lämmön vaikutus täytyy huomioida pakosarjan, turboahdinten, pakoputkiston ja äänenvaimentimien kohdalla, jotka voivat vaikuttaa heikosti lämpöä kestäviin kappaleisiin ja materiaaleihin. Lämpötila voi nousta yli 600 °C käytettäessä konetta täydellä teholla, jolloin kumi, muovi ja johtosarjat tulee aina lämpösuojata, mikäli ne sijaitsevat alle 15 senttimetrin (cm) etäisyydellä lämmönlähteestä. (Penrice 2011, 14)



KUVA 16. Terminaalitraktori TT616i, pakoputken sijainti ja lämpösuoja.

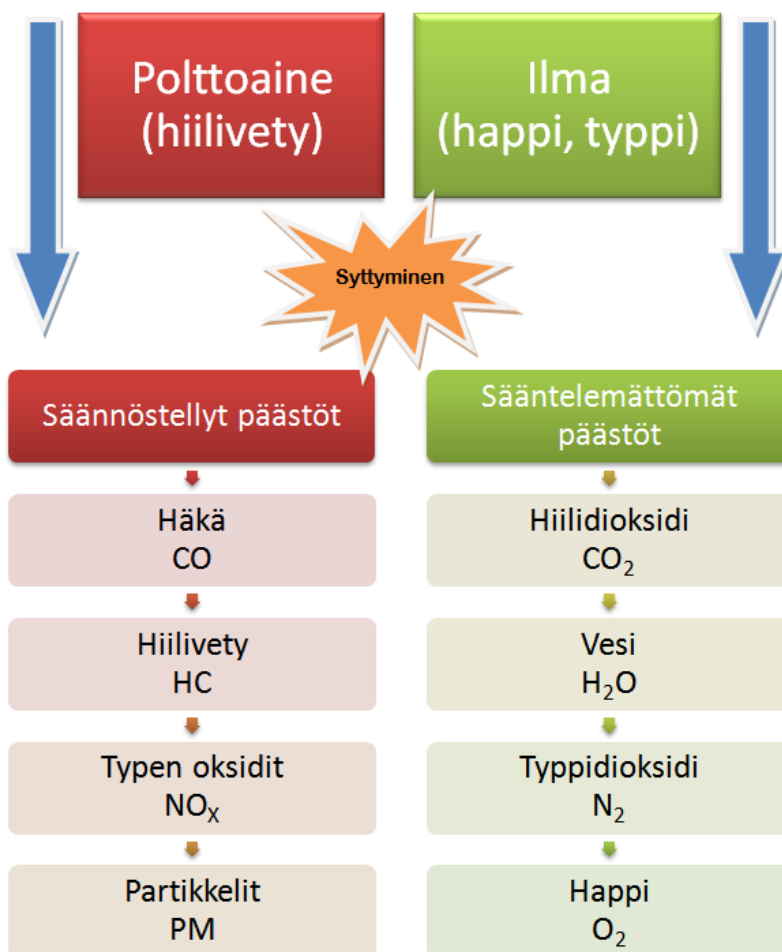
6.2 Jälkikäsittelyjärjestelmät

Euroopan unionin säätämien direktiivien mukaan, yhteisön ympäristöä ja kestävää kehitystä koskevassa periaate- ja toimintaohjelmassa tunnustetaan peruseriaatteena, että kaikkia ihmisiä olisi tehokkaasti suojeltava ilman pilaantumisesta johtuvilta todetuilta terveysriskeiltä ja että tämä edellyttää erityisesti typpioksidien (NO_2), hiukkasten (PM) – mustan savun ja ilmaa pilaavien aineiden kuten hiilimonoksidin (CO) päästöjen valvontaa, troposfäärin otsonin (O_3) muodostumisen ja siihen liittyvien terveys- ja ympäristövaikutusten ehkäisemiseksi sen edeltäjien eli typen oksidien (NO_x) ja hiilivetyjen (HC) päästöjä on vähennettävä. Happamoitumisen aiheuttamat ympäristöhaitat edellyttävät myös muun muassa typen oksidien ja hiilivetyjen päästöjen vähentämistä. (Euroopan unionin direktiivi 97/68/EY)

Liikkuvien työkonoiden päästörajoituksista on 16. päivänä joulukuuta 1997 annettu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 97/68/EY käsittelee pakokaasupäästöjä ja ilmaa pilaavia päästörajoja liikkuvissa työkonneissa käytettäville moottoreille ja myötävaikuttaa ihmisten terveyden ja ympäristön suojelemiseen. Direktiivissä 97/68/EY edellytetään, että useimpien puristussytytysmoottoreiden tyyppihyväksyntään nykyisin sovellettavat vaiheen III A päästörajat korvataan tiukemmilla vaiheen III B rajoilla. (Euroopan unionin direktiivi 2011/88/EU)

6.2.1 Käsiteltävät päästöt

Dieselpolttoaine on yhdistelmä hiilivetyjä, jotka teoriassa palaessaan tuottaisivat vain hiilidioksidia ja vesihöyryä. Palaminen ei kuitenkaan ole niin täydellistä käytännössä, vaan pakokaasuista löytyy myös häkää, hiilivetyä, typen oksideja, partikkeleita, typpioksidia sekä palamattoman imuilman mukana tullutta happea (kuva 16). Luetelluista neljä ensimmäistä on katsottu haitallisiksi ihmiselle sekä ympäristölle. Kuitenkin jälkikäsittelemällä ne huolellisesti päästään päästöissä näiden osalta lähes nollassa



KUVA 17. Diesel-moottorin palotilassa syntyvät säännöstellyt ja sääntelemättömät päästöt.

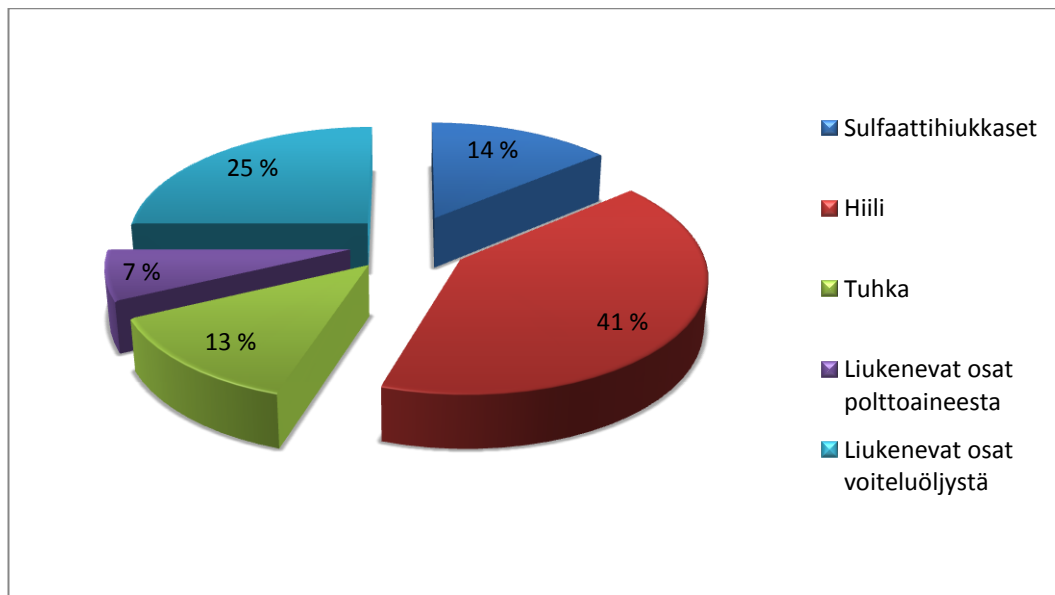
Häkä on hajuton ja väritön, mutta erittäin myrkyllinen kaasu ihmiselle, joka on ilman kanssa lähes yhtä tiheää. Kaasu on korkeissa pitoisuuksissa erittäin syttyvää ja palaa sinisellä liekillä. Hapetuskatalysaattorilla vaarallinen häkä saadaan muutettua hiilidioksidiksi. Tämä reaktio tuottaa pakokaasun lämpötilassa erittäin suuria muutoksia. Kun

häkää muutetaan adiabaattisella hapettamisella hiilidioksidiksi, tällöin pakokaasun lämpötila nousee 100 °C prosenttia kohden. (Majewski & Khair 2006, 124)

Hiilivety on dieselpolttoaineen sekä voiteluöljyn palamisen tuotos pakokaasun seassa. Myös tämä voidaan hapen avulla muuttaa hiilidioksidiksi sekä vedeksi. Tämä on yksi perusreaktioista, jota esiintyy pakokaasujen jälkikäsitelyssä katalysaattorilla. (Majewski & Khair 2006, 123)

Typhen oksidit sisältävät typpioksidia ja typpidioksidia. Typpioksidi on väritön ja hajuton kaasu, joka voidaan yhdistää suoraan typestä ja hapesta korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Tämä voidaan muuttaa hapettamalla helposti hiilidioksidiksi. Typpidioksidi on myrkyllinen ja väriltään punaruskea kaasu, jolla on epämiellyttävä ja ärsyttävä haju. Typhen oksidit ovat yksi kriittisimmistä saasteista, joita on havaittavissa dieselpakokaasuista. (Majewski & Khair 2006, 123)

Partikkelit voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Kiinteään jakeeseen, jotka sisältävät alkuainehiiltä ja tuhkaa. Liukenevaan orgaaniseen osaan, joka sisältää orgaanisen materian moottorin voiteluöljystä ja dieselpolttoaineesta. Sulfaattihiukkasiin, jotka sisältävät rikkihappoa ja vettä. Kun nämä kaikki on yhdistettynä, voidaan puhua dieselmoottorin pakokaasujen partikkeleista. Partikkeleiden koostumusten määrä riippuu käytettävästä moottorista, olosuhteista ja polttoaineen laadusta. Alla on esitelty raskaan työkoneen dieselmoottorista mitatut partikkeleiden pitoisuudet (kuvio 1). (Majewski & Khair 2006, 126)



KUVIO 1. Dieselpakokaasujen partikkelien pitoisuusmäärät.

6.2.2 Hapetuskatalysaattori

Hapetuskatalysaattorilla käsitellään pääasiassa häkää ja hiilivetyä, jotka muuntuvat hiilidioksidiksi ja vesihöyryksi. Sillä voidaan myös vähentää partikkeleiden määrää pakokaasussa matalassa lämpötilassa, tämä ei kuitenkaan vaikuta esimerkiksi hiileen, jolla on suurin osuus partikkeleista. Normaalisissa moottorin käyntilämpötilassa voidaan häkä ja hiilivetyjen määrää laskea katalysaattorilla 80 % ja partikkeleiden määrää n. 25 %. (STT Emtec 2012)

6.2.3 Partikkelisuodatin

Saadaksemme suuremman osuuden partikkelien vähenemiseen, täytyy myös hiilen määrä saada laskemaan. Tämä saavutetaan käyttämällä partikkelisuodatinta, missä partikkelit siivilöidään suodattimen avulla pois pakokaasusta. Suodatin ottaa talteen partikkelit, jotka käyvät läpi hapetusreaktion. Lämpötilan noustessa korkeammaksi, saadaan parempi tulos partikkelien talteenotossa. Partikkelisuodattimet pystyvät keräämään talteen, jopa 95 % haitallisista partikkeleista. (STT Emtec 2012)

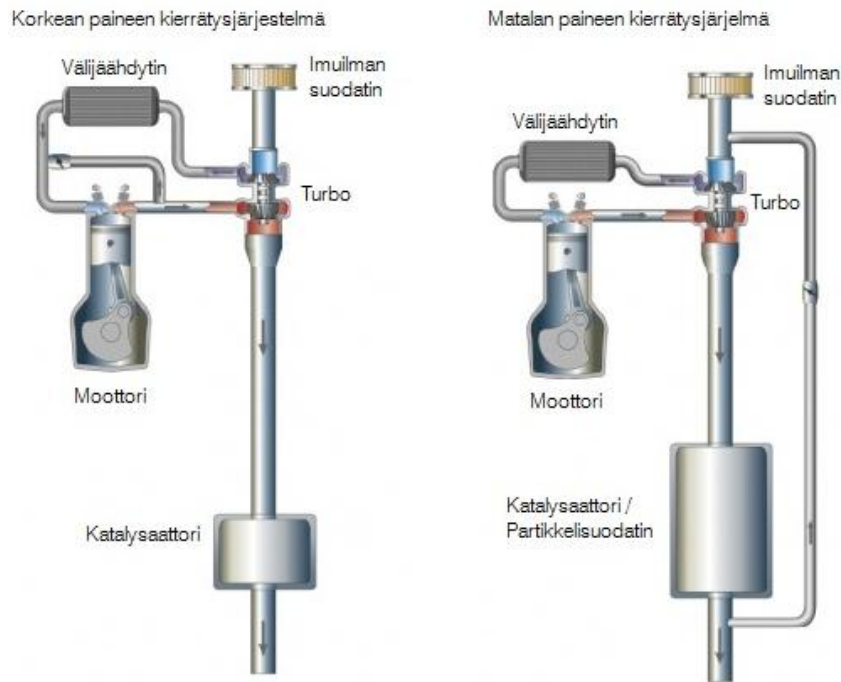
Passiivisessa järjestelmässä suodatin ei tarvitse erityistä energianlähdettä, vaan toimii jatkuvasti kun moottori on käynnissä. Partikkelisuodatin voidaan varustaa myös erillisellä polttoaineen syötöllä, joka suihkuttaa polttoainetta pakokaasun sekaan ja näin ollen

saadaan korkeampi lämpötila suodattimeen. Tätä kutsutaan aktiiviseksi partikkelisuodattimeksi.

6.2.4 Pakokaasun takaisinkierrätys

Moottorinvalmistajat ovat kehittäneet pakokaasun kierrätysjärjestelmän (EGR), jolla vähennetään pakokaasuista typen oksideja. Järjestelmässä jo kerran palotilassa syntynyt pakokaasu kierrätetään takaisin palotilaan, jolloin palotilassa lämpötila laskee ja typen oksidien tuottaminen vähentyy. Lämpötilan laskeminen johtuu siitä, että palotilaan virtaava puhdas palava ilma vähentyy moottorissa.

Turboahtimella varustetuissa raskaissa dieselmootoreissa on kohdattu ongelmia, johtuen siitä, että imusarjassa on yleensä suurempi paine kuin pakosarjassa. Ongelman kiertämiseksi on keksitty ratkaisu, jossa pakokaasu takaisin kierrätetään ennen turboahdinta, jolloin paine on korkeampi kuin imusarjassa. Asennustapoja on takaisinkierrätysjärjestelmälle yleisesti kaksi, joita on korkean paineen järjestelmä (HPL) ja matalan paineen järjestelmä (LPL), jossa kierrätys tapahtuu vasta turboahtimen jälkeen (kuva 18). Pakokaasu ohjataan jäähdytyskennoon ja elektronisesti ohjatun venttiilin kautta imuilman sekaan. Kierrätetyn pakokaasun jäähdytys perustellaan sillä, että mitä enemmän palotilan lämpötilaa saadaan laskettua, sitä vähemmän syntyy typen oksideja. Järjestelmän on huomattu vähentävän erittäin tehokkaasti typen oksideja pakokaasuista, mutta toisaalta on huomattu partikkeleiden määrän sekä polttoaineen kulutuksen kasvavan. (Majewski & Khair 2006, 330–331)

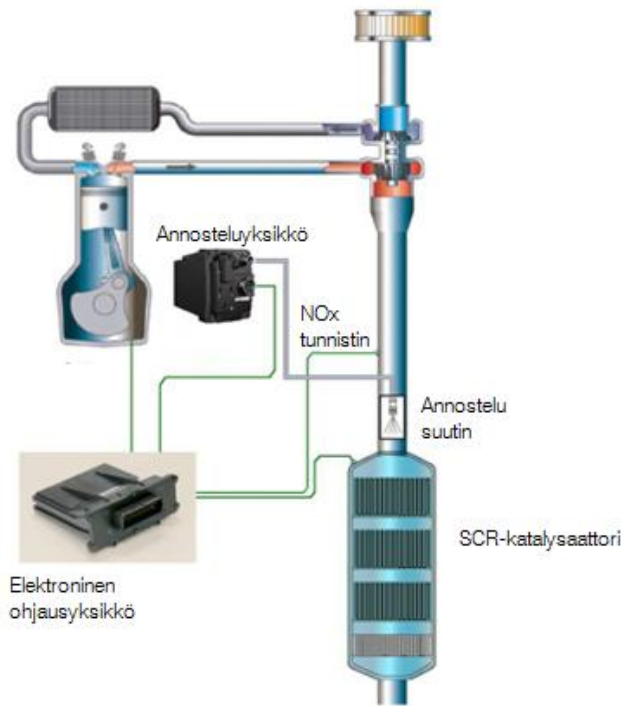


KUVA 18. Pakokaasun takaisinkierrätysjärjestelmien periaatteet. (STT Emtec 2012, muokattu)

6.2.5 Pakokaasujen puhdistaminen pelkistyslisäaineella

Pakokaasujen puhdistaminen pelkistyslisäaineella (SCR), tarkoittaa typen oksidien määrän vähentämistä suihkuttamalla pelkistyslisäainetta (DEF) pakokaasun sekaan. Typen oksidit reagoivat lisäaineen ammoniakin ja suodattimien vaikutuksesta niin, että ne muuntuvat typpidioksidiksi ja hapeksi. Kuuman pakokaasun sekaan ruiskutettava lisäaine on sisällöltään 32.5 % ureaa ja loppuosa ionitonta vettä. (STT Emtec 2012)

Pelkistyslisäainetta ohjataan elektronisesti. Annostelussa vaimentimen sisään on asennettu sensori, joka kertoo tarvittavan lisäaineen määrän. Pelkistysaineen säilöminen on hankalaa, koska se jäätyy helposti sekä vanhentuessaan menettää tehoaan. Lisäksi lisäaine tarvitsee toimiakseen ison äänenvaimentajan, jossa on tarvittavat suodattimet, typpioksidianturi ja lisäaineen ruiskutusjärjestelmä.



KUVA 19. SCR- järjestelmä ja sen komponentit (STT Emtec 2012, muokattu)

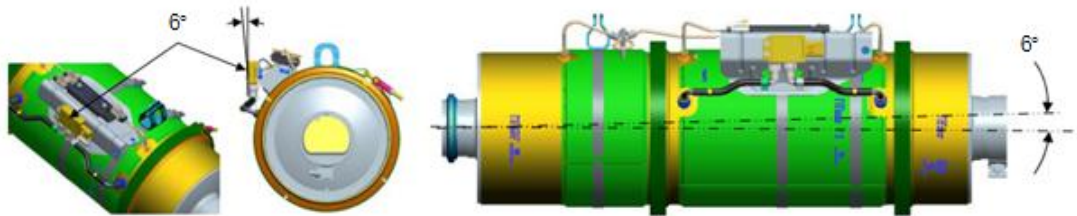
6.2.6 Typen oksidien sitojat

Tietyt yhdisteet pystyvät sitomaan typen oksideja itseensä pakokaasusta. Katalysaattoria, joka sisältää bariumoksidia on tässä tehokkaimmillaan n. 400 °C lämpötilassa. Kuitenkin katalysaattorilla on rajattu varastoimiskyky ja se täytyykin regeneroida, että sen teho pysyy ennallaan. Regenerointi perustuu kemialliseen reaktioon, jossa typen oksidit hajoavat typeksi. Oikean kemiallisen reaktion ylläpitäminen dieselmootoreilla on hankalaa, jota voidaan ylläpitää kuitenkin suihkuttamalla polttoainetta pakokaasuun. Lisäksi kyseiset katalysaattorit ovat herkkiä rikin vaikutuksille. (STT Emtec 2012)

6.3 SCR – äänenvaimentimen asennus

Vaiheessa III B päädyttiin käyttämään SCR- järjestelmää, alempana esitetään huomioita äänenvaimentimen asennuksessa. Pelkistyslisäainesuuttimella ja suodattimilla varustettu äänenvaimennin on huomattavasti painavampi kuin tavallinen akustinen tai katalysaattori äänenvaimennin. Riippuen moottorin koosta ja valitusta äänenvaimentimen mallista, paino voi heitellä välillä 37 – 80 kilogrammaa (kg). Kiinnikkeiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon vaimentimen kasvanut massa.

Vaimentimen sisässä on materiaalia, joka täytyy suojata vedeltä. Kaikissa vaimentimisissa on reikä veden poistumista varten, joten vaimennin tulee asentaa oikeaan asentoon. Lisäksi vaimennin sisältää painantureita, joiden toimivuus tulee varmistaa myös oikealla asennolla. Säiliön tulisi olla korkeintaan kuuden asteen kulmassa, sivuttaissuunnasta katsottuna, kun se on asennettuna poikittain (kuva 20). Vaimentimen kiinnitys tulee olla vähintään kahdella kiinnikkeellä, jotka ovat vaimentimen hyväksytyissä kiinnityspaikoissa. Tällöin vältetään pakoputkistoon kohdistuvat vääntövoimat. Anturit ja painanturien letkut tulisi asentaa niin, että ne eivät ole sijainnin kannalta vaarassa vaurioitua. (Kamble 2010, 20–22)



KUVA 20. SCR- äänenvaimentimen asennuskulmat. (Cummins 2010, muokattu)

7 POHDINTA

Työn tavoitteena oli valmistaa ohje, sekä suunnitteluun ja valmistuslinjalle. Suunnittelussa huomioitavia asioita työssä tuli paljon esille, mutta työn ohjeistusta ei tehty. Valmistuslinjan työntekijät voivat tarkistaa tekemänsä työn onnistuneisuutta, esimerkiksi Cargotec Oyj:lle tehdystä tarkistuslistasta.

Yhteistyö moottorinvalmistajien kanssa on ollut onnistunutta ja Euroopan Unionin asettamat tavoitteet haitallisten päästöjen rajoittamisesta saavutettiin. Ongelmilta ei kuitenkaan välttytty, joita oli moottorin jäähdytyksen ja pakoputkiston kanssa. Moottorinvalmistajasta riippuen vaatimukset ja ratkaisut osittain erottuivat toisistaan, jolloin terminaalitraktorin rakenteisiin jouduttiin tekemään erilaisia variaatioita eri moottoreille mm. rungon kiinnikkeiden tai moottorin jäähdytyksen suhteen.

Moottorin kiinnikkeiden kanssa päästiin hyvälle tasolle, ja moottorin aiheuttamat värinäät pysyivät sallituilla tasoilla ohjaamossa. Moottori asennetaan riippuen moottorin valmistajasta tiettyyn kulmaan, joka oli välttämätöntä moottorin mahdollistamiseksi paikalleen. Vaihteiston asennuksessa käytettiin asennustapaa, jossa moottori sekä momentinmuunnin ovat yhdessä ja vaihteisto on asennettu kauemmas, käyttäen nivelakselia.

Moottorinvalmistajasta riippuen käytettyjä jälkikäsitteilyratkaisuja on monia. Näille kaikille suunniteltiin omat asennustavat, yksi isoimmista asennuksista on kuitenkin SCR – järjestelmä. Johon kuuluvat elektroninen ohjausjärjestelmä, lisäaineen säiliö, putket, lämmitysjärjestelmä, äänenvaimennin suodattimineen sekä johtosarjat ja muut oheiset osat.

LÄHTEET

Airila M., Ekman K., Hautala P., Kivioja S., Kleimola M., Martikka H., Miettinen J., Niemi E., Ranta A., Rinkinen J., Salonen P., Verho A., Vilenius M., Välimaa V. 2010. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: WSOYpro.

Airila, M., Karjalainen J.A., Mantovaara U., Nurmi L., Ranta A. & Verho A. 1985a. Koneenosien suunnittelu 1, Perusteet. Porvoo, Helsinki, Juva: WSOY.

Airila, M., Karjalainen J.A., Mantovaara U., Nurmi L., Ranta A. & Verho A. 1985b. Koneenosien suunnittelu 2, Liitokset. Porvoo, Helsinki, Juva: WSOY.

Airila, M., Karjalainen J.A., Mantovaara U., Nurmi L., Ranta A. & Verho A. 1985c. Koneenosien suunnittelu 3, Tehonsiirto. Porvoo, Helsinki, Juva: WSOY.

Airila, M., Karjalainen J.A., Mantovaara U., Nurmi L., Ranta A. & Verho A. 1985d. Koneenosien suunnittelu 4, Erityisalueet. Porvoo, Helsinki, Juva: WSOY.

Dana - Spicer, off-highway systems condensed specifications. 2012. Luettu 1.10.2012. <http://www.dana.com>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 97/68/EY. 1997. Luettu 26.11.2012. <http://eur-lex.europa.eu>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2011/88/EU. 2011. Luettu 26.11.2012. <http://eur-lex.europa.eu>

Kamble, M., 2010. Aftertreatment installation requirements. USA, Cummins Inc.

Majewski, W.A., Magdi, K.K. 2006. Diesel emissions and their control. USA: SAE international

Mason R., 2010a. Guidelines for OEM installed hardware. USA, Cummins Inc.

Mason R., 2010b. Engine mounting. USA, Cummins Inc.

Penrice S., 2011. Exhaust systems. USA, Cummins Inc.

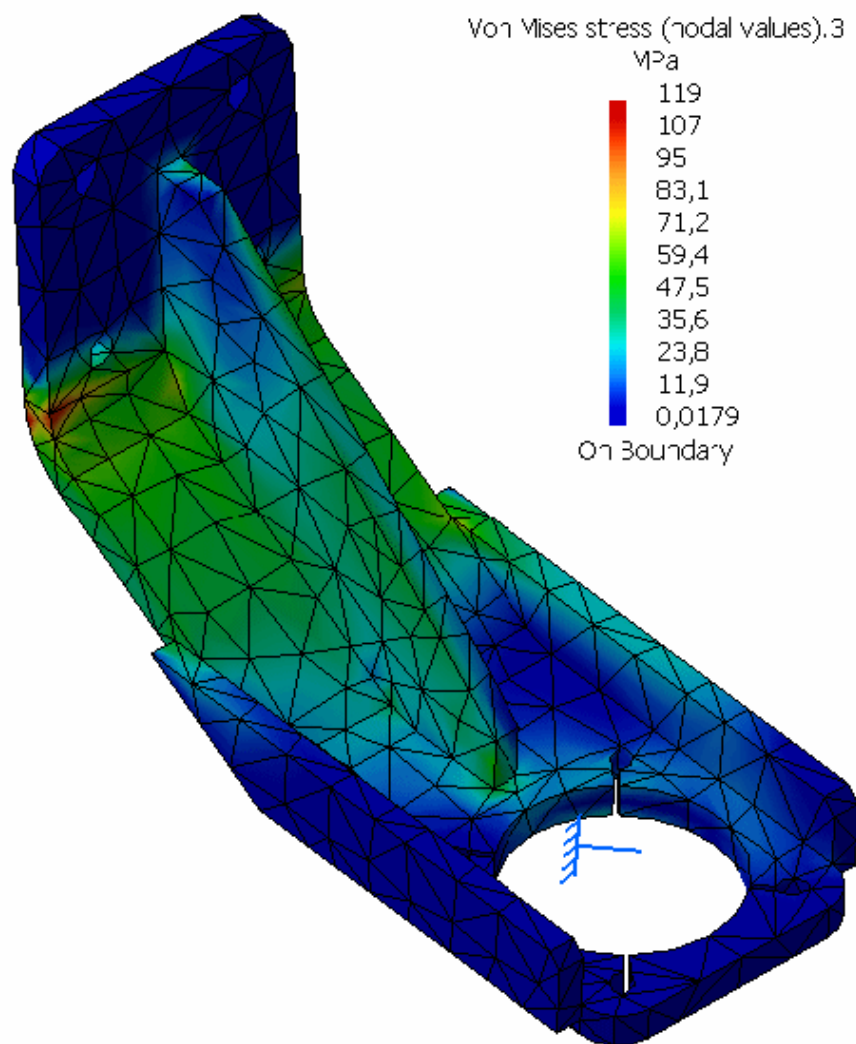
STT Emtec – The diesel engine is efficient but generates emissions. Luettu 2.12.2012. <http://www.sttemtec.com>

LIITTEET

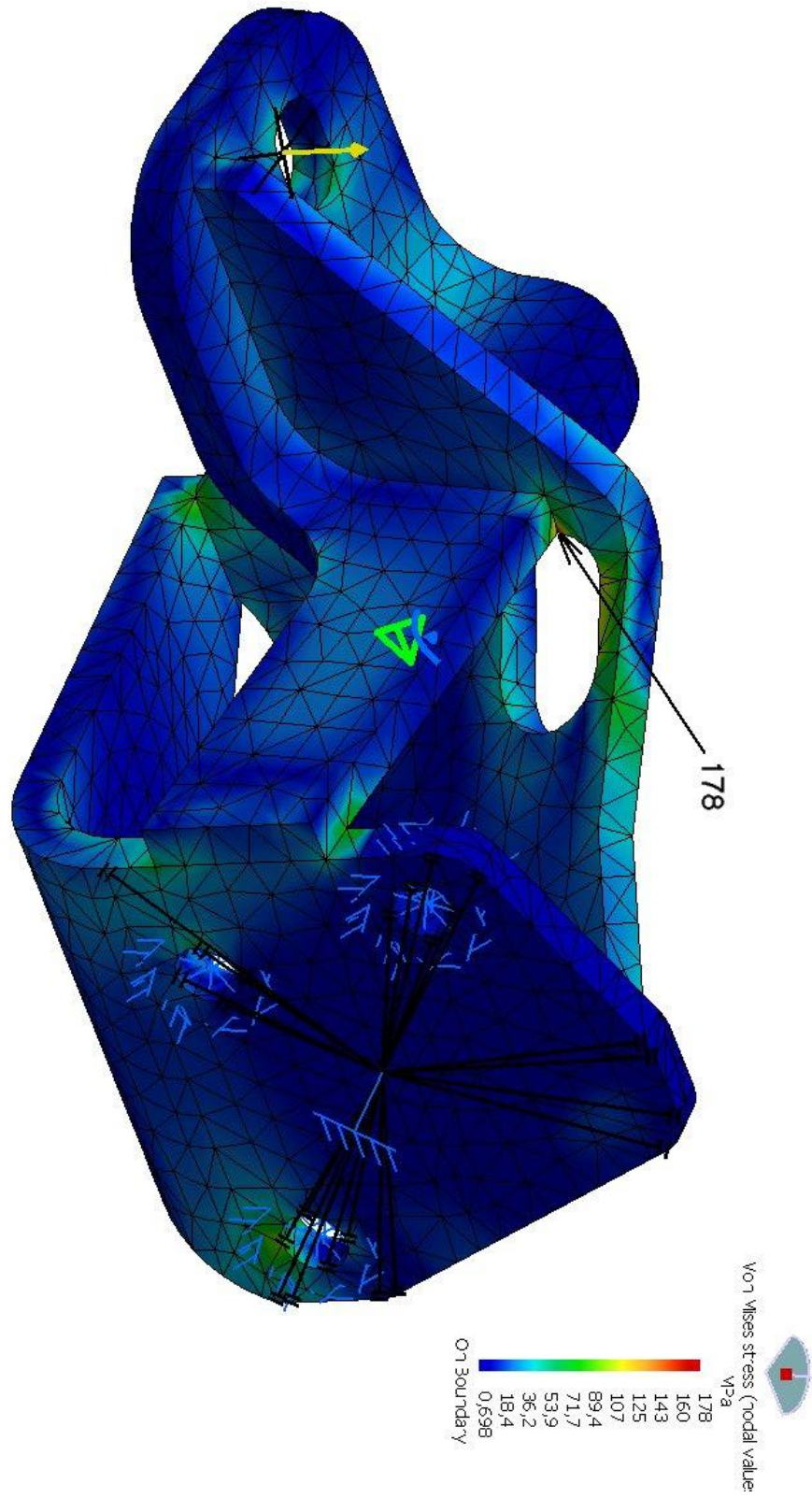
Liite 1. Liikkuvien työkoneiden suurimmat sallitut päästörajat diesel-moottorilla.

	Moottorin teho <i>kW</i>	Voimassa alkaen	CO <i>g/kWh</i>	HC <i>g/kWh</i>	NO _x <i>g/kWh</i>	PM <i>g/kWh</i>	NO _x + HC <i>g/kWh</i>
Vaihe I							
	130 - 560	1.1.1999	5.0	1.3	9.2	0.54	
	75 - 130	1.1.1999	5.0	1.3	9.2	0.70	
	37 - 75	1.4.1999	6.5	1.3	9.2	0.85	
Vaihe II							
	130 - 560	1.1.2002	3.5	1.0	6.0	0.2	
	75 - 130	1.1.2003	5.0	1.0	6.0	0.3	
	37 - 75	1.1.2004	5.0	1.3	7.0	0.4	
	18 - 37	1.1.2001	5.5	1.5	8.0	0.8	
Vaihe III A							
	130 - 560	1.1.2006	3.5			0.2	4.0
	75 - 130	1.1.2007	5.0			0.3	4.0
	37 - 75	1.1.2008	5.0			0.4	4.7
	19 - 37	1.1.2007	5.5			0.6	7.5
Vaihe III B							
	130 - 560	1.1.2011	3.5	0.19	2.0	0.025	
	75 - 130	1.1.2012	5.0	0.19	3.3	0.025	
	56 - 75	1.1.2012	5.0	0.19	3.3	0.025	
	37 - 56	1.1.2013	5.0			0.025	4.7
Vaihe IV							
	130 - 560	1.1.2014	3.5	0.19	0.4	0.025	
	56 - 130	1.10.2014	5.0	0.19	0.4	0.025	

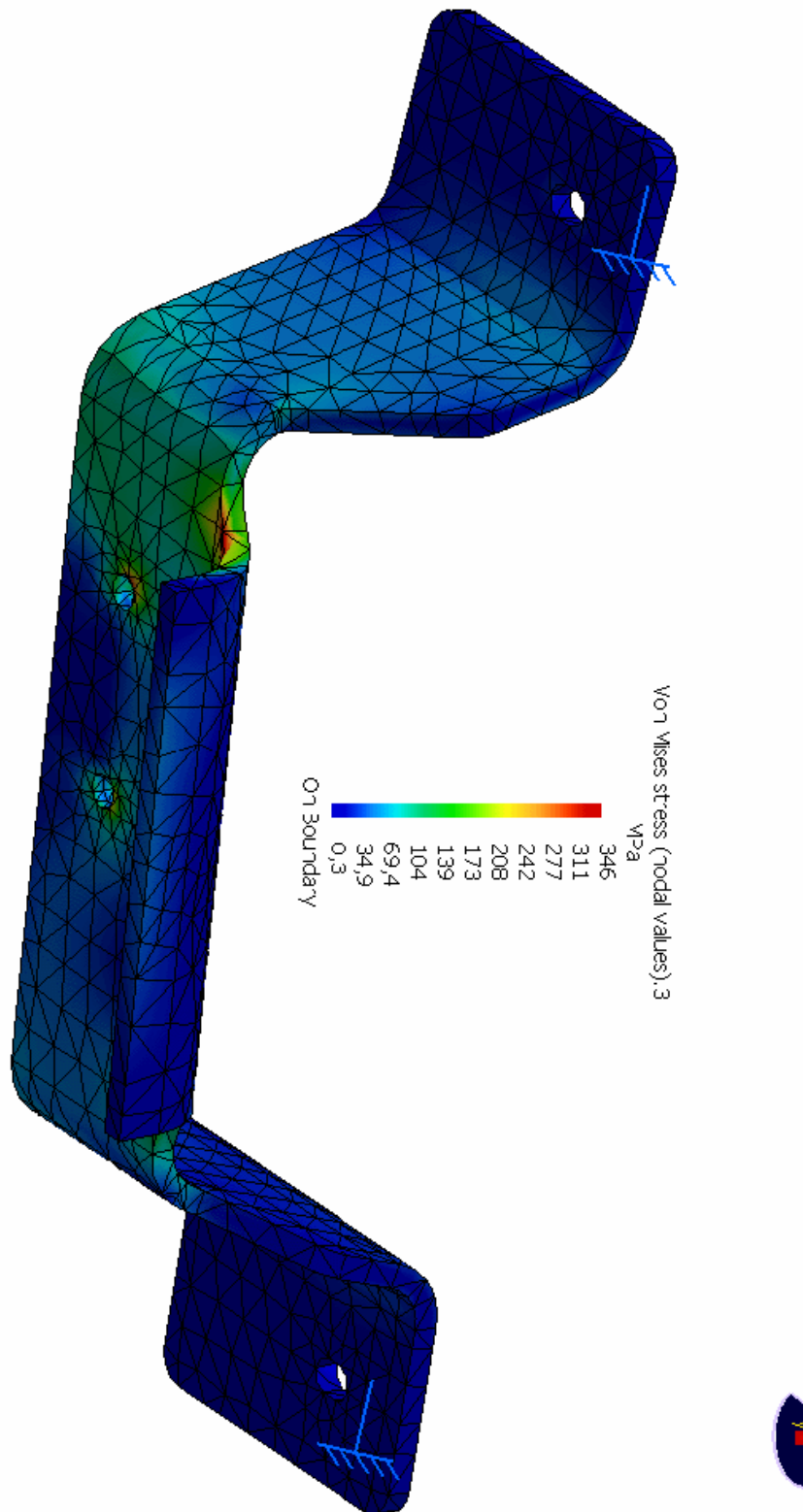
Liite 2. Moottorin vasempaan takakiinnikkeeseen vaikuttavat jännitykset.



Liite 3. Moottorin oikeaan takakiinnikkeeseen vaikuttavat jännitykset.



Liite 4. Moottorin etukiinnikkeeseen vaikuttavat jännitykset.



Liite 5. Yleiset rakenneteräkset ja standardien vastaavuudet.

(Kleimola 2010)

Myötö- lujuus	Murto- lujuus	EN	SFS	DIN	BS
R_e N/mm ² 1)	R_m N/mm ² 1)	10025 1993	200 1986	17 100 1980	A 35-501 1981
235	360 ... 510	S235JR	-	St 37-2	-
235	360 ... 510	S235JRG2	Fe 37 B	Rst 37-2	40 B
235	360 ... 510	S235JO	-	St 37-3 U	40 C
235	360 ... 510	S235J2G3	Fe 37 D	St 37-3 N	40 D
235	360 ... 510	S235J2G4	-	-	-
275	430 ... 580	S275JR	Fe 44 B	St 44-2	43 B
275	430 ... 580	S275JO	-	St 44-3 U	43 C
275	430 ... 580	S275J2G3	Fe 44 D	St 44-3 N	43 D
275	430 ... 580	S275J2G4	-	-	-
355	510 ... 680	S355JR	-	-	50 B
355	510 ... 680	S355JO	Fe 52 C	St 52-3 U	50 C
355	510 ... 680	S355J2G3	Fe 52 D	St 52-3 N	50 D
355	510 ... 680	S355J2G4	-	-	-
355	510 ... 680	S355K2G3	-	-	-
355	510 ... 680	S355K2G4	-	-	-
185	290 ... 510	S185	Fe 33	St 33	-
295	470 ... 610	E295	Fe 50	St 50-2	-
360	670 ... 830	E360	Fe 70	-	-

1) Ainepaksuus < 16 mm