

Jukka Tenhunen

# Pakokaasupäästöhaittojen vähentäminen

Dieci Pegasus -kurottajassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinööriytyö

2.11.2015

Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Jukka Tenhunen Pakokaasuhaittojen vähentäminen Dieci Pegasus - kurottajassa  27 sivua + 1 erillinen liite 2.11.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Jälkimarkkinointi
Ohjaaja(t)	Heikki Parviainen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli asentaa pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmä Dieci Pegasus -kurottajaan. Opinnäytetyö tehtiin asiakkaan toimeksiantona.</p> <p>Ensimmäisenä työssä esitellään dieselmoottorin toimintaperiaate sekä erilaisia dieselpolttoaineen ruiskutustekniikoita. Sen jälkeen työssä esitellään dieselmoottoareiden pakokaasujen synty ja koostumus. Lisäksi käsitellään pakokaasujen terveysvaikutuksia ihmiskehoon.</p> <p>Dieci Pegasus -kurottajasta selvitettiin pakokaasupäästöjen koostumus tutkimalla pakokaasujen lämpötila ja moottorin kuormitusaste. Työssä myös vertailtiin kahden eri järjestelmän, EHC HT -suodattimen ja CatFiren, soveltuvuutta kurottajaan. Vertailu osoitti, että EHC HT -suodatin soveltui paremmin Dieci Pegasus -kurottajaan kun sillä työskennellään sisätiloissa. Regenerointitilanteessa CatFiren tuottama lämpötila on huomattavasti korkeampi, kun taas EHC HT -suodatin ei nosta pakokaasun lämpötilaa.</p> <p>Työssä kuvataan EHC HT 35 -suodattimen asennuksen suunnittelu ja asennus Dieci Pegasus -kurottajaan.</p>	
Avainsanat	Dieselmoottori, pakokaasupäästöt, EHC HT -suodatin, CatFire

Author(s) Title	Jukka Tenhunen The Reduction of Harmful Exhaust Emissions with a Dieci Pegasus Telehandler
Number of Pages Date	27 pages + 1 appendix 2 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	After Sales
Instructor(s)	Heikki Parviainen, Senior Lecturer
<p>The aim of this graduate study was to install an exhaust after treatment system to a Dieci Pegasus Telehandler. The study was commissioned by a client.</p> <p>Firstly, the study presents the working principles of a diesel engine and also different diesel injection systems are examined. The study demonstrates how the exhaust gases are produced and also the composition of them is analyzed. Furthermore, the impact of exhaust gases on human health is assessed.</p> <p>The study investigated the composition of exhaust gases by researching exhaust gas temperatures and the loading level of the engine. In addition, two different systems and their compatibility to Telehandler Dieci Pegasus were compared. The comparison revealed that an EHC HT –Filter was more suitable for a Dieci Telehandler when used indoors. It was also discovered that in the regeneration phase the heat produced by CatFire is significantly higher than when an EHC HT –Filter is used, which does not raise the temperature of exhaust gases.</p> <p>As a result of the study, the EHC HT filter was chosen and in the attachment it is described how the installation of the filter was designed and carried out.</p>	
Keywords	Diesel engine, exhaust emissions, EHC HT -filter, CatFire

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Diecelmoottori	1
<b>3</b>	<b>Dieselmoottorin polttoainejärjestelmä</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Pakokaasut</b>	<b>4</b>
4.1	Pakokaasun muodostuminen dieselmootoreissa	4
4.2	Pakokaasupäästöt	6
4.3	Hiilimonoksidi (CO)	7
4.4	Hiilivedyt (HC)	7
4.5	Typen oksidit (NO <sub>x</sub> )	8
4.6	Hiukkaset	8
4.7	Rikkidioksidi (SO <sub>2</sub> )	9
4.8	Hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> )	10
<b>5</b>	<b>Terveysvaikutukset</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Dieci Pegasus kurottaja</b>	<b>12</b>
6.1	Työhydrauliikan tehontarve	13
6.2	Pakokaasun lämpötilojen mittaaminen Dieci Pegasus -kurottajasta	14
<b>7</b>	<b>Hiukkasten vähentäminen</b>	<b>16</b>
7.1	EHC HT - suodatin	16
7.2	CatFire	17
7.3	Suodattimen valinta	20
7.4	Pakokaasusuodattimen mitoitus Dieci Pegasus kurottajaan	20
7.5	Suodattimen asennus	22
7.5.1	Suodattimen asennuspaikka	22
7.5.2	Suodattimen suojakehikko	22
7.5.3	Asentaminen	22
7.5.4	Suodattimen huolto	23
8	Yhteenveto	24

## 1 Johdanto

Lähes kaikissa työkoneissa voimanlähteenä toimii dieselmoottori. Dieselmoottorit ovat varmatoimisia, niissä on hyvä hyötysuhde ja ne ovat polttoainetaloudeltaan tehokkaita.

Dieselmoottorit tuottavat typen oksideja ja pienhiukkasia. Pienhiukkasten aiheuttamat terveysvaikutukset ovat huomattavia. Hiukkasten terveysvaikutukset riippuvat hiukkasten koosta ja kemiallisesta koostumuksesta. Pakokaasuhiukkasten on todettu edistävän syövän syntyä. Tutkimusten mukaan hiukkassuodattimien käyttäminen vähentää työntekijöiden altistumista pakokaasuhiukkasille.

Dieselpakokaasupäästöjen puhdistustekniikka on viime vuosina kehittynyt voimakkaasti erityisesti henkilöautojen ja raskaan kuljetuskaluston osalta. Puhdistustekniikan kehittyminen on pitkälti johtunut tiukentuneista päästörajoituksista. Työkoneiden (non-road) moottorien osalta normit ovat vielä väljemmät, mutta tulevat tiukentumaan.

Tässä työssä esitellään dieselmoottorin toimintaperiaate sekä polttoainejärjestelmät. Lisäksi käydään läpi kaksi pakokaasun jälkikäsitteilyjärjestelmää: EHC HT -suodatin ja CatFire -järjestelmä.

Opinnäytetyön aiheena oli asentaa Dieci Pegasus -kurottajaan pakokaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmä. Opinnäytetyö on tehty asiakkaan toimeksiantona. Asiakas suorittaa nosto- ja asennustöitä rakennustyömailla kurottajilla ja asennusnostureilla. Kurottajilla tehdään töitä myös sisätiloissa, joten koneiden pakokaasut ovat todellinen haitta työntekijöille rakennustyömaalla.

## 2 Diecelmoottori

Vuonna 1892 saksalainen Rudolf Diesel patentoi dieselmoottorin, joka on tänä päivänä maailmanlaajuisesti merkittävin kuljetuskaluston ja työkoneiden voimanlähde. Dieselmoottori on pitkäikäinen sekä varmakäyntinen ja sen polttoaineen ominaiskulutus on pienin käytössä olevista moottoreista. Dieselpolttoaine tuottaa vähiten tärkeintä

kasvihuoneilmiötä edistävää kaasua hiilidioksiidia (CO<sub>2</sub>) johtuen pienestä polttoaineenkulutuksesta. Dieselpolttoaineen kehitystä ovat ohjanneet ympäristövaatimukset ja tarve vähentää ympäristöpäästöjä. Päästöt vähenevät sitä mukaa kun uudet moottorimallit yleistyvät. Pakokaasupäästöjä pienentävät myös pakokaasujen puhdistuslaitteet, kuten hapetuskatalysaattorit ja hiukkassuodattimet. [1, s. 6 - 7.]

Työkoneissa käytetään yleensä nelitahtisia dieselmootoreita. Dieselmoottori on hyötötysuhteeltaan parempi kuin bensiinimoottori. Parhaimmillaan hyötysuhde on noin 40 prosenttia. Parempi hyötysuhde johtuu korkeammasta puristussuhteesta sekä siitä, ettei imuilman määrää bensiinimoottorien tapaan kuristeta kaasuläpällä. [2]

Dieselmoottorissa mäntä puristaa pelkkää ilmaa puristustahdin aikana, jolloin ilman paine nousee 30...50 bar ahtamattomassa ja 80...110 bar ahdetussa moottorissa ja sillä saavutetaan 500...800 °C:n lämpötila. Kuumaan ilmaan ruiskutetaan polttoaine hienona sumuna, jolloin se höyrystyy ja syttyy itsestään. Edellytyksenä syttymiselle on sopivan tislusalueen omaava hiilivetyjen seos eli dieselpolttoaine, jolla on korkea setaaniluku, mutta alhainen oktaaniluku. [1, s. 7; 3, s. 418.]

Suoraruiskutusmootoreissa polttoaine ruiskutetaan paineella männän yläpuolelle. Polttoainepaine on useita satoja tai jopa 2000 bar. Polttoaineen pitää syttyä itsestään moottorin lämpötilasta riippumatta, sillä sylinterissä ei yleensä ole apulaitteita sytytystä varten. Suoraruiskutusmoottoria käytetään kuorma- ja linja-autoissa, useimmissa traktoreissa ja työkoneissa pienen polttoaineen ominaiskulutuksen vuoksi. [1, s. 8; 3, s. 419.]

### **3 Dieselmoottorin polttoainejärjestelmä**

Dieselmootoreissa polttoaine ruiskutetaan moottorin palotilaan tai apukammioon vähintään muutaman sadan baarin paineella jakajapumpun, rivipumpun, pumppusuuttimen tai yhteispaineruiskutuksen ruiskutusjärjestelmän avulla. Ruiskutuspumppussa riittävä tiiviys saadaan aikaan käyttämällä pientä, muutaman mikrometrin suurusluokkaa olevaa välystä, koska paineen tuottavan männän ja sylinterin välissä ei ole tiivistettä. Tiivisteen puuttumisen vuoksi ruiskutuslaitteet ovat alttiina polttoaineessa oleville epäpuhtauksille kuten vedelle ja likahiukkasille, jotka

aiheuttavat kulumista, syöpymisvaurioita tai jopa liikkuvien osien kiinnijuuttumista laitteisiin. Suodattimella, joka on tehty joko erikoispaperista tai huovasta, erotetaan epäpuhtauksia. Suodatinpaperi poistaa 2...10 mikrometriä suuremmat hiukkaset ja se pystyy erottamaan myös vesipisararoita siten, että ne kertyvät suodattimen kotelon pohjalle. [1, s. 9; 3, s. 590.]

Esikammio- ja pyörrekammio-moottoreissa sekä nykyään myös suoraruiskutusmoottoreissa käytetään jakajapumppua. Jakajapumpussa siirtopumppu on sijoitettu ruiskutuspumpon sisälle. Siirtopumppu imee polttoaineen säiliöstä suodattimen läpi. Jakajapumpussa on yksi mäntä tai mäntäpari, joka tuottaa muutaman sadan barin ruiskutuspaineen vuoron perään jokaiselle sylinterille. Jotta pumppu ei kuumenisi liikaa eikä pumppuun kertyisi kaasukuplia, osa polttoaineesta johdetaan takaisin säiliöön. Paluuvirtauksesta voidaan ohjata osa myös suodattimelle sen lämmittämiseksi talvioloissa. Kaikkia pumpun ja säätimen sisäosia voitelee polttoaine. [1, s. 9 - 10; 3, s. 579.]

Suoraruiskutusmoottoreissa sekä joissakin esikammio-moottoreissa käytetään yleisesti rivipumppua. Rivipumppujärjestelmässä polttoaine imetään säiliöstä ja pumpataan 1...3 bar:n paineella suodattimen läpi ruiskutuspumppuun siirtopumpun avulla. Ruiskutuspumppussa on jokaista moottorin sylinteriä varten erikseen jopa yli tuhannen bar:n ruiskutuspaineen tuottava mäntä. Kuten jakajapumppuissakin useimmissa rivipumppumalleissa osa polttoaineesta johdetaan takaisin polttoainesäiliöön. Rivipumpun raskaimmin kuormitettuja sisäosia ja säädintä voitelee moottorin öljy. [1, s. 10; 3, s. 572.]

Polttoaine johdetaan korkeapaineisena putkia pitkin ruiskutus-suuttimelle sekä jakajattä rivipumppujärjestelmässä. Tarkkaa ruiskutuksen säätöä vaikeuttavat polttoaineen kokoonpuristus sekä putkien jousto, jotka aiheuttavat viivettä ja painevärähtelyä. Parhaiten tarkka säätö ja korkea paine saadaan aikaan rakentamalla ruiskutuspaineen tuottava pumppu ja suutin samaan komponenttiin. Tämänlainen pumppusuutin sijoitetaan, kuten tavanomaiset suuttimet, jokaisen sylinterin kohdalle sylinterinkanteen. [1, s. 10 - 11; 3, s. 584.]

Yhteispaineruiskutusjärjestelmässä (CommonRail) jatkuva ruiskutuspainete tuotetaan korkeapainepumppuilla ja sähköisesti avattavilla suuttimilla. Järjestelmä antaa moottorin

pyörimisnopeudesta riippumatta laajat mahdollisuudet säätää ruiskutuspainetta ja ruiskutushetkeä (esi-, pää- ja jälkiruiskutus). [1, s. 11; 3, s. 587.]

Ruiskutussuuttimien tehtävänä on polttoaineen ruiskutus hienojakoisena moottorin palotilaan. Suuttimen kärki on palotilassa, joten suutin joutuu kestäämään korkeita paineita ja lämpötiloja. Ruiskutuksen ajaksi suutin aukeaa jousikuormaa vastaan ja sen tulee sulkeutua ruiskutuksen jälkeen tiiviisti. [1, s. 11; 3, s. 590.]

Tappisuuttimia käytetään esikammio- ja pyörrekammio moottoreissa. Tappisuuttimissa polttoaine virtaa sylinteriin yhden reiän kautta, jota kuristaa ohut suuttimen neulan kärjessä oleva ”tappi”. Suoraruisutusmoottoreissa käytetään reikäsuttimia, joissa polttoaine virtaa palotilaan monen reiän kautta. Venttiilinä toimii suuttimen neula, joka aloittaa ja lopettaa ruiskutuksen. [1, s. 11; 3, s. 593.]

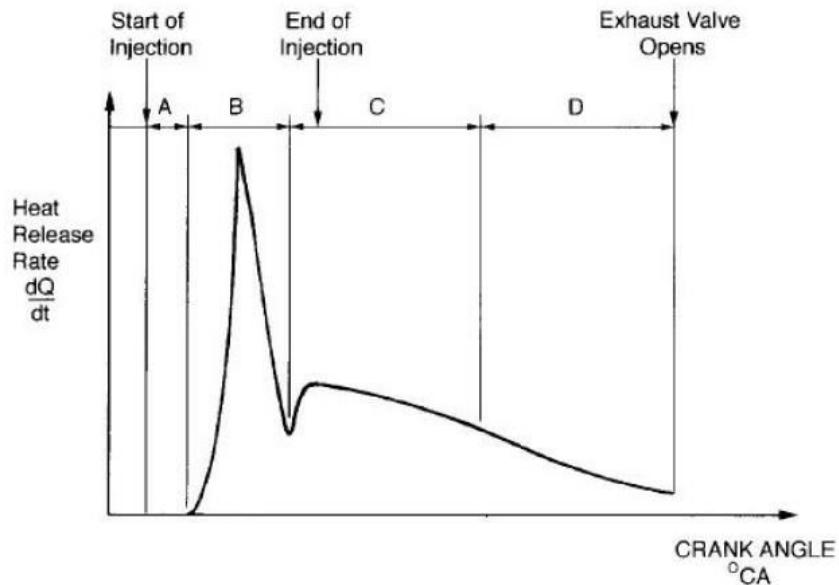
Ruiskutuspumpussa oleva säädin ohjaa moottoriin menevän polttoaineen määrää kaasupolkimen asennon ja moottorin pyörimisnopeuden perusteella. Jakajapumpuissa, yhteispaineruiskutuksessa ja joissain rivipumpuissa säädetään myös ruiskutusennakkoa. Päästömääräysten kiristyessä elektroniset säätimet yleistyvät. Elektroniset säätimet ottavat huomioon kaasupolkimen asennon lisäksi muun muassa moottorin, imuilman ja polttoaineen lämpötilan, ulkoilman paineen tai ahtopaineen, moottorin pyörimisnopeuden, pakokaasujen takaisinkierrätyksen sekä todellisen ruiskutushetken. Jakaja- ja rivipumpun yhteydessä voidaan käyttää elektronista säädintä. Elektroninen järjestelmä voi toimia myös vakionopeudensäätimenä esimerkiksi työkoneissa käytettäessä nosturia tai muita apulaitteita. [1, s. 12.]

## **4 Pakokaasut**

### **4.1 Pakokaasun muodostuminen dieselmoottoreissa**

Otto – ja dieselmoottoreissa polttonesteen palaessa syntyy pakokaasuja, jotka sisältävät erilaisia palamistuotteita. Osa palamistuotteista luokitellaan haittapäästöiksi. Polttonesteen palaessa täydellisesti hapella ilman sivureaktioita syntyy vain vettä ja hiilidioksidia. Kuvassa 1 kuvataan lämmön vapautuminen eri palotapahtumien aikana. [3, s. 602.]





Kuva 1. Dieselmootorin lämmönvapautuminen [4, s. 290.].

Lämmönvapautumisen neljä osuutta:

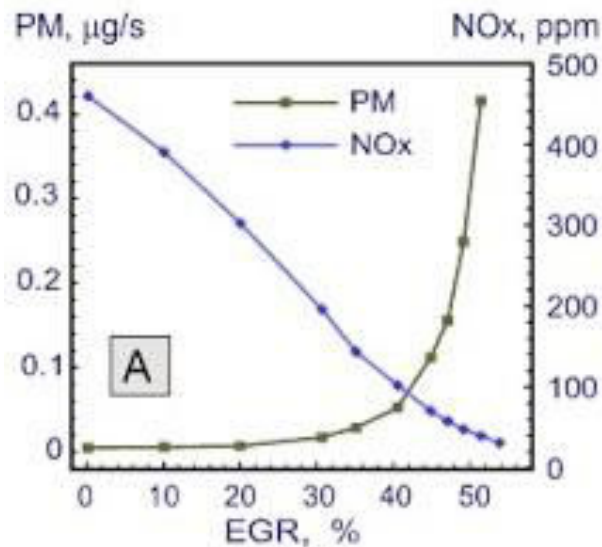
- A. → Syttymisjättämä
- B. → Esisekoittumispalaminen
- C. → Diffuusiopalaminen
- D. → Jälkipalaminen

Dieselmootorin palotapahtuman valmistelu alkaa, kun mäntä puristaa ilmaa puristustahdin aikana pienempään tilaan. Paineen nousu saa aikaan ilman lämpenemisen. Ilman lämpötila on korkeimmillaan juuri ennen, kun mäntä saavuttaa yläkuolokohdan (YKK). Polttoaineen ruiskutus aloitetaan myös ennen YKK:ta. Polttoaineen ruiskutusennakko vaihtelee moottorin kuormituksen, pyörintänopeuden ja lämpötilan mukaan. Polttoaineen ruiskutusennakolla on suuri vaikutus haitallisten päästöjen syntyyn. Syttymisjättämän, eli polttoaineen ruiskutuksen alkamisen ja sylinterissä havaitun paineen nousun alkamisen välisenä aikana sylinteriin ruiskutetaan huomattava määrä polttoainetta. Palotapahtuma alkaa esisekoittumispalamisella ja se aiheuttaa erittäin suuren lämpötilan sekä paineen nousun. [6, s. 2 - 4; 1, s. 50.]

Paineen ja lämpötilan nousun suuruus riippuu syttymisjättämän pituudesta. Suuressa esisekoittumispalamisessa syntyy runsaasti typen oksideja, koska lämpötila on korkea ja palorintaman reunalla on runsaasti happea. Diffuusiopalamisen aikana palaminen on rauhallisempaa ja lämpötila on alhaisempi kuin esisekoittumispalamisessa.

Jälkipalamisen aikana palotilassa ei ole enää riittävästi happea, joten palaminen saattaa tuottaa nokea. [6, s.2 - 4; 5, s. 50.]

Kuvasta 2 voidaan lukea typen oksidien ja partikkeleiden synnyn välinen yhteys. Mitä vähemmän palotilassa on happea ja mitä matalampi lämpötila on, sitä enemmän palotapahtumassa syntyy partikkeleita. Mitä korkeampi lämpötila palotilassa on ja mitä korkeampi paine, sitä enemmän syntyy typen oksideja.



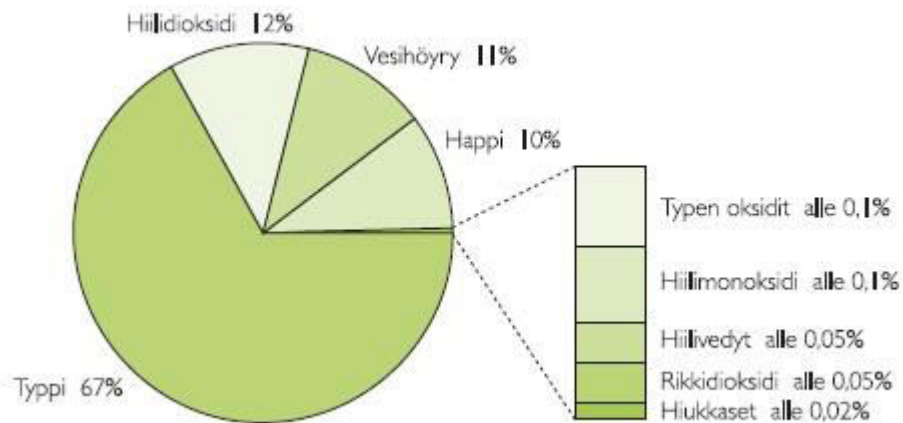
Kuva 2. Typen oksideista ja partikkeleiden välisestä riippuvuudesta [7].

#### 4.2 Pakokaasupäästöt

Dieselmoottorin pakokaasuista pääosa on tavallista ilmakehässä olevaa typpeä sekä palamistuotteina syntynyttä vesihöyryä ja hiilidioksidia. Koska dieselmoottori käy ilmaylimäärällä, pakokaasut sisältävät myös happea. Saasteiksi luokiteltavia aineita on vain prosentin kymmenesosa, joista merkittävimpiä ovat hiukkaset ja typen oksidit. Kuva 3 esittää dieselmoottorin päästöjakauman täydellä kuormituksella. [1, s. 13.]

Päästöjen kemiallinen ja fysikaalinen koostumus vaihtelee riippuen moottorin tyypistä ja tekniikasta (iästä), polttoaineesta, ajotilanteesta eli moottorin kuormituksesta ja lukuisista muista tekijöistä. [8, s. 25.]

### Dieselmoottorin päästöjakautuma täydellä kuormituksella



Kuva 3. Dieselmoottorin pakokaasupäästöjakauma täydellä kuormituksella [1, s. 13].

Dieselmoottorin pakokaasuista suurin osa on typpeä (67%), hiilidioksidia (12%), vesihöyryä (11%) ja happea (10%). Kuten kuvioista 3 voidaan havaita, varsinaisten saasteiden osuus pakokaasuista on vain 0,5 %.

#### 4.3 Hiilimonoksidi (CO)

Hiilimonoksidi on hiilen ja hapen yhdiste, jota syntyy, kun hiiltä sisältävät aineet palavat epätäydellisesti. Hiilimonoksidi eli häkä on kaasu joka on väritön, hajuton ja mauton. Dieselmoottoireissa hiilimonoksidipäästöt ovat erittäin vähäisiä, alle 0,1 %. koska moottori toimii runsaalla ilmamäärällä. [10, liite1. s. 2; 9; 1, s. 14.]

#### 4.4 Hiilivedyt (HC)

Hiilivedyt ovat kemiallisia yhdisteitä, jotka koostuvat hiilestä (C) ja vedystä (H). Hiilivedyt ovat moottorissa palamatta jääneitä tai osittain palaneita molekyylejä. Pakokaasut sisältävät monia eri hiilivetyjä. Dieselmoottorin palotapahtumassa voi joissain olosuhteissa muodostua yhdisteitä, joita ei sellaisenaan polttoaineista löydy. Erityyppisten hiilivetyjen määrä ja kirjo, joita dieselmoottorin pakokaasuissa voi esiintyä, on verrattain laaja. [10, liite 1 s. 1 - 2; 8, s. 15; 3, s. 602.]

#### 4.5 Typen oksidit (NO<sub>x</sub>)

Typen oksidit ovat typen kaasumaisia oksideja. Typen oksideista käytetään lyhennettä NO<sub>x</sub>, koska niitä on useita erilaisia yhdisteitä ja erilaisia atomimääriä. Typpimonoksidi (NO) on väritön, hajuton ja mauton kaasu. Hapen läsnä ollessa se vähitellen muuttuu typpidioksidiksi (NO<sub>2</sub>). Puhdas typpidioksidi on punaisen ruskea, pistävän hajuinen ja myrkyllinen kaasu. [3, s. 603.]

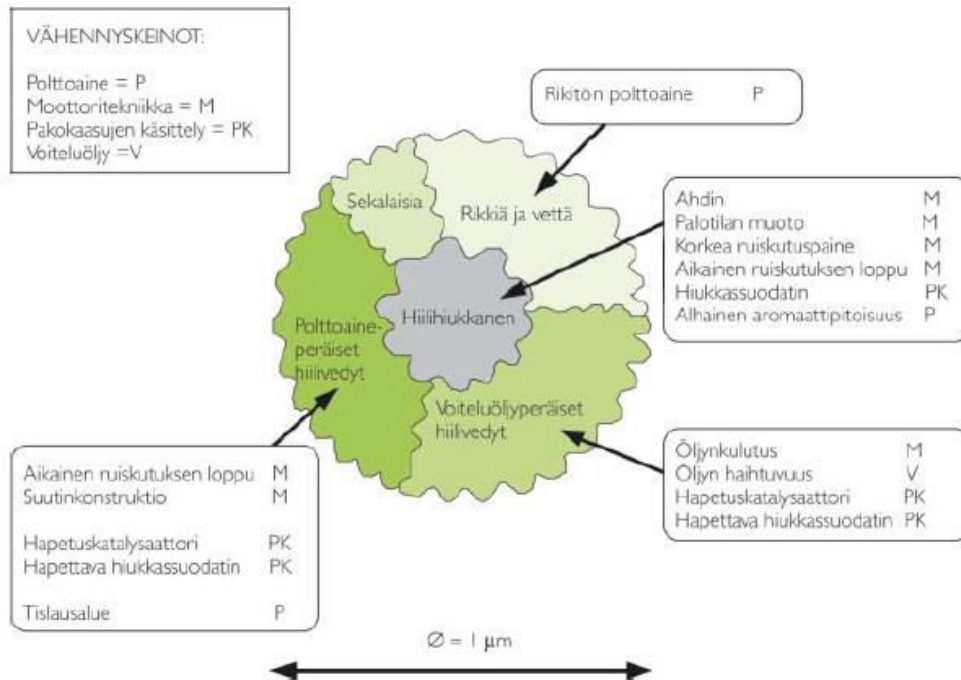
Typen oksidit syntyvät typen hapettuessa korkeassa lämpötilassa. Olennaiset tekijät typen oksidien muodostumisessa ovat korkea lämpötila ja happipitoisuus. NO<sub>2</sub>-päästöjen määrä on kiinni moottorityypistä. NO-kaasuja muodostuu sitä enemmän, mitä hitaampi palaminen sylinterissä tapahtuu, toisin sanoen mitä kauemmin maksimilämpötila vallitsee palamishetkellä sylinterissä. [11]

Kuorma- ja linja-autojen sekä työkonien suoraruiskutusmoottorit tuottavat paljon typen oksideja, jotka aiheuttavat happamia sateita sekä vaurioittavat kasvillisuutta. Typen oksidit edistävät savusumun ja otsonin muodostumista. Näiden vuoksi yksi tärkeimmistä kehityskohteista dieselmootoreissa on NO<sub>x</sub>-päästöjen pienentäminen. [1, s. 15.]

#### 4.6 Hiukkaset

Hiukkaspäästöjä esiintyy lähinnä dieselmootorin pakokaasupäästöissä. Kuva 4 kuvaa hiukkasten koostumusta pakokaasuissa. Pakokaasuhiukkaset ovat hiiltä, johon on tarttunut puutteellisesti palaneesta polttoaineesta tai voiteluöljystä jääneitä hiilivetyjä sekä vettä, rikkiä ja muita epäpuhtauksia. Moottorin kuormituksen ollessa suuri hiilihiukkaset muodostavat suuren osan hiukkaspäästöjen kokonaismäärästä. Pienillä kuormituksilla sen sijaan hiukkaspäästöt tulevat pääosin voiteluöljystä. Polttoaineen ja ilman sekoittuminen on pienellä kuormalla usein huonoa, mikä vaikeuttaa palamista ja johtaa hiilivetyjen muodostumiseen. Toinen syy hiilivetyjen muodostumiseen on polttoaineen epätäydellinen palaminen. [11; 1, s. 15.]

### Hiukkasten koostumus



Kuva 4. Hiukkasten koostumus [8, s. 16.].

Polttoprosessit ja erityisesti polttomoottorissa tapahtuva palaminen saattaa synnyttää suuria määriä erittäin pienikokoisia hiukkasia. Pakokaasuhiukkaset jaotellaan eri kokoluokkiin. Suurimman osan hiukkasmassasta muodostaa hiukkaset, jotka ovat halkaisijaltaan yli 30 – 50 nm. Näitä hiukkasia kutsutaan akkumulaatiomoodin hiukkasiksi, jotka koostuvat pääasiassa epätäydellisen palamisen tuotteista muun muassa noesta ja ne ovat helposti vangittavissa hiukkassuodattimen avulla. Pienimpiä alle 30 – 50 nm hiukkasia kutsutaan nukleatiomoodin hiukkasiksi. Nämä hiukkaset ovat enimmäkseen tiivistyneitä nestemäisiä ja haihtuvia voiteluaineperäisiä tai rikkiperäisiä yhdisteitä, ja ne muodostuvat poltto- ja voiteluaineperäisistä hiilivedyistä sekä rikin sulfaateista. Lisäksi niissä voi olla pieniä määriä kiinteitä ainesosia kuten tuhkaa ja metalleja. [10, liite 1 s. 2 - 3.]

#### 4.7 Rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>)

Rikkidioksidi on kaasu, joka happamoittaa luontoa ja vaurioittaa kasvillisuutta. Dieselpakokaasuissa olevasta rikistä suurin osa on rikkidioksidia, ja osa rikistä on

sitoutunut hiukkasiin. Rikkidioksidin määrää ei ole vielä rajoitettu määräyksillä, joten se luokitellaan sääntelemättömäksi päästökseksi. [1, s. 16.]

#### 4.8 Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>)

Pieninä pitoisuuksina hiilidioksidi on myrkytön ja kasvien kasvulle välttämätön kaasu. Käytettäessä fossiilisia polttoaineita hiilidioksidia kertyy lisää ilmakehään, ja sen pitoisuuden nousu edistää ilmaston lämpenemistä eli niin sanottua kasvihuoneilmiötä. Dieselmoottori tuottaa vähemmän hiilidioksidia, koska se kuluttaa vähemmän polttoainetta, eikä dieselpolttoaineen valmistukseen tarvita paljoa energiaa. [1, s. 17.]

### 5 Terveysvaikutukset

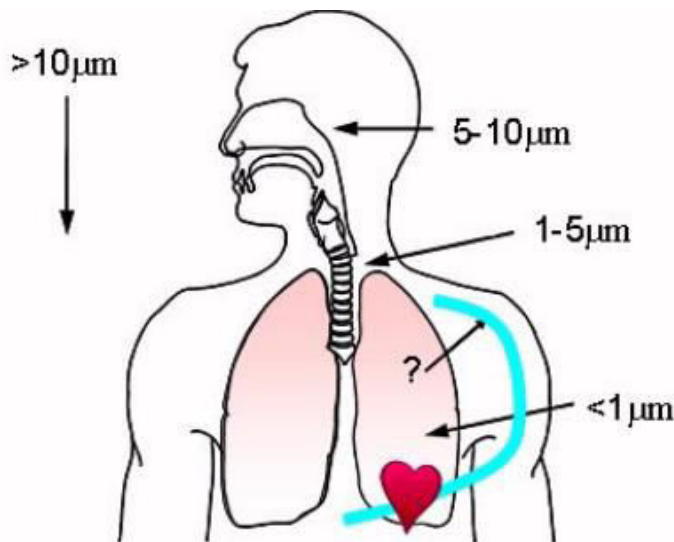
Dieselmotorin pakokaasupäästöt ovat ihmisen terveydelle haitallisia. Terveyshaittojen oireet ja vakavuus liittyy pitkälti altistuksen keston. Lyhytaikaisessa altistumisessa dieselpakokaasu voi ärsyttää silmiä ja hengitysteitä. Lievemmat altistumisen oireet ovat ohimeneviä, kuten hengenahdistus, pahoinvointi ja päänsärky. Jatkuvasti pakokaasuille altistuminen lisää keuhkoinfektioita sekä riskiä sairastua keuhkosityöpään. Riski sairastua sydän- ja verisuonitauteihin lisääntyy pitkäaikaisessa altistumisessa ja se lyhentää jo näitä sairauksia potevien ihmisten elinaikaa. [8, s. 21 - 22.]

Pakokaasut sisältävät ihmiselle haitallisia aineita kuten hiilimonoksidia, joka vaikeuttaa ihmisen hapensaantia syrjäyttämällä hapen veren hemoglobiinista ja sen seurauksena on päänsärkyä, raukeutta ja pahimmassa tapauksessa kuolema. Kaasumaiset hiilivedyt taas ärsyttävät limakalvoja ja niiden on epäilty sisältävän syövän syntyä edistäviä tekijöitä. Pakokaasujen rikkidioksidi ärsyttää ihmisen hengityselimiä. Typpidioksidi on kaasu, joten se pääsee helposti ihmisen alahengitysteihin. Suurina määrinä typenoksidit ärsyttää hengityselimiä. [1, s. 14 - 15.]

Polttoaineen palaessa epätäydellisesti alkaa syntyä kiinteitä aineita hiukkasten muodossa. Hiukkasten terveysvaikutukset riippuvat sekä hiukkasten koosta että hiukkasten kemiallisesta koostumuksesta. Hiukkaset ärsyttävät ihmisen hengityselimiä ja ne sisältävät pieniä määriä yhdisteitä, joiden on todettu edistävän syövän syntyä. Riippuen palamismuodosta ja käyttöolosuhteista pinta-alaltaan suuret hiukkaset

koostuvat valtaosin yhteenliittyneistä pienistä hiili(noki)kappaleista. Noen pinnalle kiinnittyy palamattomia ja osittain palaneita hiilivetyjä, sekä myös pahanhajuisia aldehydejä. Nokeen kiinnittyy näiden lisäksi myös polttoneste- ja voiteluaineaerosoleja sekä sulfaatteja. [1, s. 15; 10, liite 1 s. 2; 3, s. 603.]

Hiukkasten koko vaikuttaa niiden pääsyyn ihmisen elimistöön. Ihmiskehon torjuntamekanismit kykenevät estämään yli  $10\ \mu\text{m}$ :n kokoisten hiukkasten pääsyn hengitysteihin. Tätä pienemmät hiukkaset pääsevät hengitysteiden läpi ja etenevät keuhkoihin. Pienhiukkaset, jotka ovat kooltaan alle  $2,5\ \mu\text{m}$  pääsevät jo hyvin syvälle aina keuhkorakkuloiden pohjalle, jossa on runsaasti verisuonia. Ultrapienet hiukkaset, alle  $0,1\ \mu\text{m}$ , ovat jo niin pieniä, että ne saattavat päästä verenkiertoon. Kuvassa 5 on esitetty hiukkasten kulkeutuminen ihmiskehoon. [8, s. 25.]



Kuva 5. Hiukkasten kulkeutuminen ihmiskehoon [10, liite 1 s. 3.].

Yleisesti dieselpakokaasut on luokiteltu syöpävaaralliseksi. Dieselmoottorin pakokaasut ovat monimutkainen ja vaikeasti karakterisoitava kokonaisuus. Sen vuoksi niiden vaikutuksia ihmisen terveyteen ei ole helppo tutkia ja yksilöidä. Mihinkään pakokaasujen osaan ei ole kuitenkaan vielä pystytty selvittämään tarkkaa syy-yhteyttä. Koska ei vielä tiedetä mikä osa pakokaasuissa on kaikkein haitallisinta, on pakokaasupäästöjen rajoittaminen haittojen pienentämiseksi hankalaa. Tehokkainta olisi kohdistaa rajoitukset pakokaasujen haitallisimpaan osaan. Toistaiseksi rajoittaminen kohdistuu pakokaasujen kokonaismäärään rajoittamiseen eikä niinkään päästöjen laatuun. [8, s. 21.]

Työterveyslaitoksen laatimassa Dieselpakokaasujen tavoitetasoperustelumuihistiossa (2009) on koottuna tutkimustietoa eri maissa suoritetuista dieselpakokaasujen altistumistutkimuksista. Sveitsissä, Itävallassa ja Ruotsissa on asetettu työhygieniset ohjeraja-arvot dieselpakokaasuille, Englannissa on käytössä suositukset, Suomessa ei ole asetettu työhygienistä raja-arvoa. Eri tutkimukset antavat viitteitä siitä, että pitkäaikainen työperäinen altistuminen dieselpakokaasuille saattaa lisätä riskiä sairastua keuhkosyöpään. Kohonnut keuhkosyöpäriski on tutkimusten mukaan erityisesti tietyillä altistuvilla ammattiryhmillä, joita ovat muun muassa rautatietyöntekijät, kuorma-auton kuljettajat, työkoneiden käyttäjät, traktorinkuljettajat ja yleisesti dieselkoneiden käyttäjät. Erityisesti tunnelitöissä ja sisätöissä altistuminen oli selvästi voimakkaampaa kuin muissa töissä. Tutkimusten perusteella pakokaasuille, joista hiukkaset on poistettu, altistumisen ei ole havaittu lisäävän syöpäriskiä. [12, s. 8, 12, 16, 19.]

## 6 Dieci Pegasus kurottaja

Dieci Pegasus 40.25 -kurottaja on valmistettu Italiassa. Dieci Pegasus on ympäripyörivä (360 °). Kurottaja on varustettu Perkins 1104D-E44TA -moottorilla. Moottori täyttää EU Stage IIIA –normin (kuva 6).

Stage III A/B Emission Standards for Nonroad Diesel Engines

Cat.	Net Power	Date†	CO	HC	HC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM
	kW						
Stage III A							
H	130 ≤ P ≤ 560	2006.01	3.5	-	4.0	-	0.2
I	75 ≤ P < 130	2007.01	5.0	-	4.0	-	0.3
J	37 ≤ P < 75	2008.01	5.0	-	4.7	-	0.4
K	19 ≤ P < 37	2007.01	5.5	-	7.5	-	0.6

Kuva 6. Stage IIIA standardit [13].

Dieci Pegasusin tekniset tiedot ovat seuraavat:

Nostoalue ja painot

- Maksimi nostokapasiteetti 4000 kg
- Maksimi nostokapasiteetti maksiminostokorkeuteen tassuilla 1700 kg



- Maksiminostokorkeus 24,5 m
- Kokonaispaino tyhjänä 17300 kg

#### Siirtoajo

- Maksimi ajonopeus 40 km/h
- Hydrostaattinen voimansiirto

#### Työhydrauliikka

- Työhydrauliikan tuotto 135 l/min
- Työhydrauliikan maksimipaine 230 bar
- Työhydrauliikan ohjaus, sähköjoystick -ohjattu, 5 -lohkoinen proportionaalinen venttiili

#### Moottori

- Perkins 1104D-E44TA
- EU stage IIIA
- Teho 106 kW 2200 rpm
- Tyyppi neljä sylinterinen, nelitahti -diesel -Common-rail
- Tilavuus 4,4 cm<sup>3</sup>
- Turboahdettu, välijäähdytetty ilmaan
- Neste jäähdytetty
- Kulutus 230 g/KWh 2200 rpm [14, s. 31; 15]

### 6.1 Työhydrauliikan tehontarve

Dieci Pegasus 40.25 kurottajassa työhydrauliikkapumppuna on Casappa tuplahammasrataspumppu, jonka kierrostilavuudet ovat 34 cm<sup>3</sup> ja 24 cm<sup>3</sup>. Työhydrauliikan maksimipaine on 230 bar.

Hydraulipumpun tehon tarve lasketaan kaavasta

$$P = \Delta p * Q$$

P = teho

$\Delta p$  = paine-ero kohteen yli ( pa )

Q = tilavuusvirta kohteen yli ( m<sup>3</sup>/s )

$$Q = 58 \text{ cm}^3 = 0,000058 \text{ m}^3$$

$$\Delta p = 230 \text{ bar} = 23\,000\,000 \text{ pa}$$

Työhydrauliikkapumppujen tuotto moottorin maksimikieroksilla

$$36,7 \text{ rps} * 0,000058 \text{ m}^3 = 0,002127 \text{ m}^3/\text{s}$$

Normaali olosuhteissa työskenneltäessä, moottorin kierrosnopeudeksi riittää 1500 rpm.

$$25 \text{ rps} * 0,000058 \text{ m}^3 = 0,00145 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tehon tarve työhydrauliikalle, normaali olosuhteissa työskenneltäessä

$$P = 23\,000\,000 \text{ pa} * 0,00145 \text{ m}^3/\text{s} = 33350 \text{ W} = 33 \text{ KW}$$

Työhydraulikalla työskenneltäessä hydrauliiikan ottama teho on n. 30% - 45% moottorin kokonaistehosta. Asennustöitä tehtäessä tyhjäkäynnin osuus on n. 50%.

## 6.2 Pakokaasun lämpötilojen mittaaminen Dieci Pegasus -kurottajasta

Pakokaasun lämpötilan mittauksella haluttiin selvittää tyden oksidien (NO<sub>x</sub>) ja hiukkasten suhde pakokaasussa. Pakokaasujen lämpötilasta pystytään päättämään näiltä osin pakokaasun koostumus. Happiylijäämä ja korkea lämpötila tuottaa tyden oksideja (NO<sub>x</sub>), ja matala lämpötila ja pienempi happimäärä puolestaan tuottaa hiukkasia pakokaasuun.

Mittaukset suoritettiin TRIFITEK TR-79 mittarilla johon oli liitetty K-tyyppin ilmalämpötila-anturi TRIFITEK TR-703. Anturin käyttöalue on -50 -- +900 °C. Ennen mittauksen aloitusta pakoputkeen porattiin reikä lämpötila-anturia varten.

Mittaus suoritettiin pakoputkeen poratusta 7 mm:n reiästä, joka oli porattu n. 80 cm:n etäisyydelle turboahtimeista. Mittauspaikka on heti turbosta lähtevän pakoputken ”jousto-osan” jälkeen (Kuva 7.). Tämä etäisyys on ensimmäinen mahdollinen paikka DPF -suodattimen asennuspaikaksi. Ennen mittauksen aloittamista kurottajan moottorin (80 °C) ja hydrauliiikan (50 °C) lämpötilat ajettiin normaalikäyttölämpötilaan. Ensimmäiset mittaukset suoritettiin sisätiloissa. Mittaustilanteessa koneella suoritettiin normaalia nostotyötä, jonka aikana hydrauliiikan painetaso oli 14-210 bar nostotilanteesta riippuen. Moottorin kierrosnopeutta jouduttiin pitämään vakiona normaalia pidempiä jaksoja, jotta saataisiin kyseisellä kierrosnopeudella riittävän pitkä mittaustulos.



Kuva 7. Pakokaasulämpötilan mittauspaikka.

Mittaustulokset olivat seuraavat:

- moottorin kierrosnopeus 900 rpm, pakokaasun lämpötila 126 °C.
- moottorin kierrosnopeus 1500 rpm, pakokaasun lämpötila 159 °C.
- moottorin kierrosnopeus 2000 rpm, pakokaasun lämpötila 207 °C.

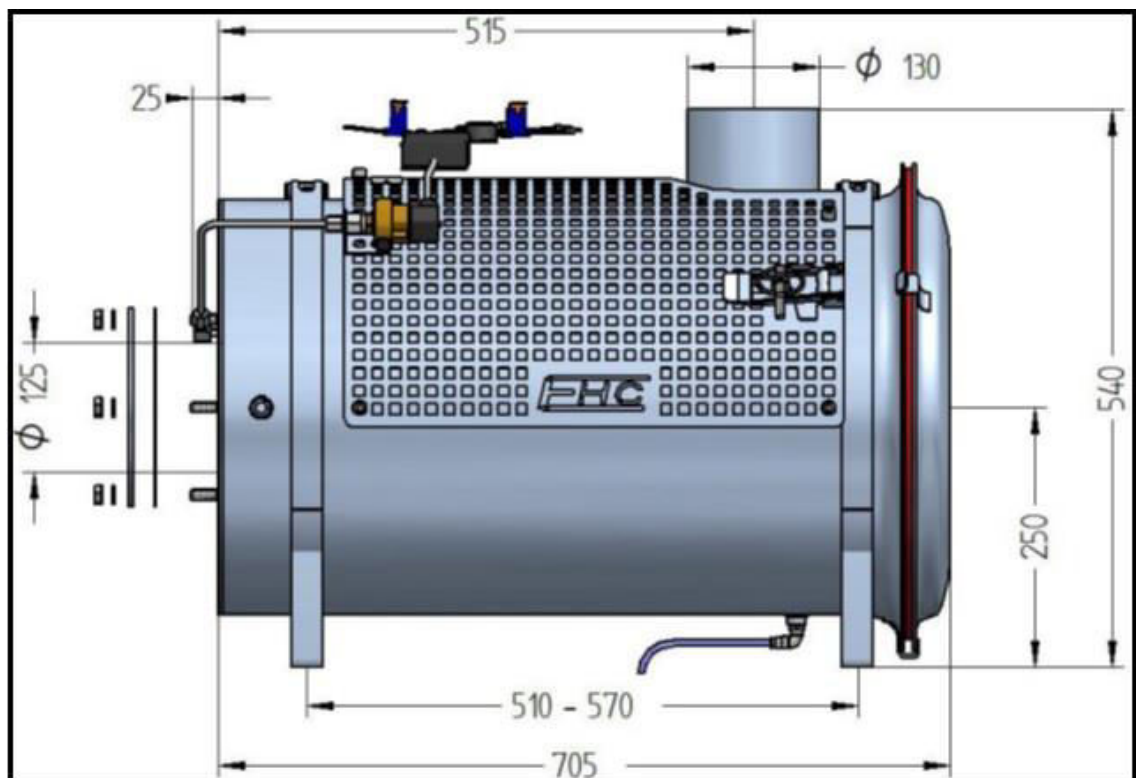
Koska kurottaja ei kuormita moottoria nostotöissä maksimiteholla, suoritettiin maksimikuormamittaus ajamalla koneella siirtoajoa maantiellä. Moottorin kuormitus siirtoajossa maantiellä maksimikierroksilla ja maksimikuormituksella pakokaasun lämpötila oli 394 °C.

Mitatuista pakokaasujen lämpötiloista ja moottorin kuormituksesta voidaan päätellä, että pakokaasujen sisältämät hiukkaset ovat suurempi ongelma kuin typen oksidit (NO<sub>x</sub>). Tämän vuoksi keskityttiin ensisijaisesti pakokaasujen sisältämien hiukkasten vähentämiseen.

## 7 Hiukkasten vähentäminen

### 7.1 EHC HT -suodatin

EHC HT – poistoilmansuodatin on suunniteltu käytettäväksi pysyvästi dieselmootoreissa ja niitä on saatavilla ruostumattomasta teräksestä ja alumiinisinkistä valmistettuna. Suodattimet eivät ole herkkiä kosteudelle ja ne toimivat heti moottorin käynnistämisen jälkeen. [16, s. 4.] Kuvassa 8 on EHC HT -suodattimen mitat.



Kuva 8. EHC HT -suodatin [16].

Suodatin koostuu seuraavista osista:

- suodatin
- lauhdeveden poistohana
- tulo- ja poistoaukon laipat
- jalat
- lämpökilpi
- kansi epäkeskolukolla (suodattimen vaihto on helppoa)

- painekytkin, joka kytkeytyy liian korkeasta ylipaineesta suodattimen kotelossa, varoitusvalo ja äänimerkki, jotka ilmoittavat käyttäjälle, kun suodatin tai kalvo on vaihdettava.

[16, s. 4.]

EHC HT -pakokaasusuodattimen käyttöä suositellaan kun työskennellään sisätiloissa ja altistutaan dieselpäästöille. EHC HT -suodatinta voidaan käyttää kokoonpanokoneissa, raskaissa ajoneuvoissa, teollisuuslaitoksissa ja haarukkatrukeissa. Suodattin poistaa pakokaasusta yli 95 % hiukkaista, joiden halkaisija on vähintään >0,4 µm, sekä hiukkasiin kiinnittyneet mutageeniset tai syöpää tai allergiaa aiheuttavat aineet. Suodattimien enimmäiskäyttölämpötila on 250 °C (hetkellisesti 300 °C). Suodattimet täyttävät säännösten TUV S-129.99.001.00, TRGS 554 (D), COSHH (GB) ja VERT Filter List (CH) vaatimukset. [17, s. 4.]

Suodattimen käyttöikä on seuraava:

- EHC HT35, 10 m<sup>3</sup>/min ~ 600 h, 20 m<sup>3</sup>/min ~ 350 h, 35m<sup>3</sup>/min ~ 200 h
- EHC HT20, 5 m<sup>3</sup>/min ~ 600 h, 10m<sup>3</sup>/min ~ 400 h, 20m<sup>3</sup>/min ~ 200 h
- EHC HT10, 2,5 m<sup>3</sup>/min ~ 400 h, 5 m<sup>3</sup>/min ~ 200 h, 10 m<sup>3</sup>/min ~ 100 h

Suodattimen käyttöikään vaikuttaa moottorin koko ja kunto. [16, s. 4.]

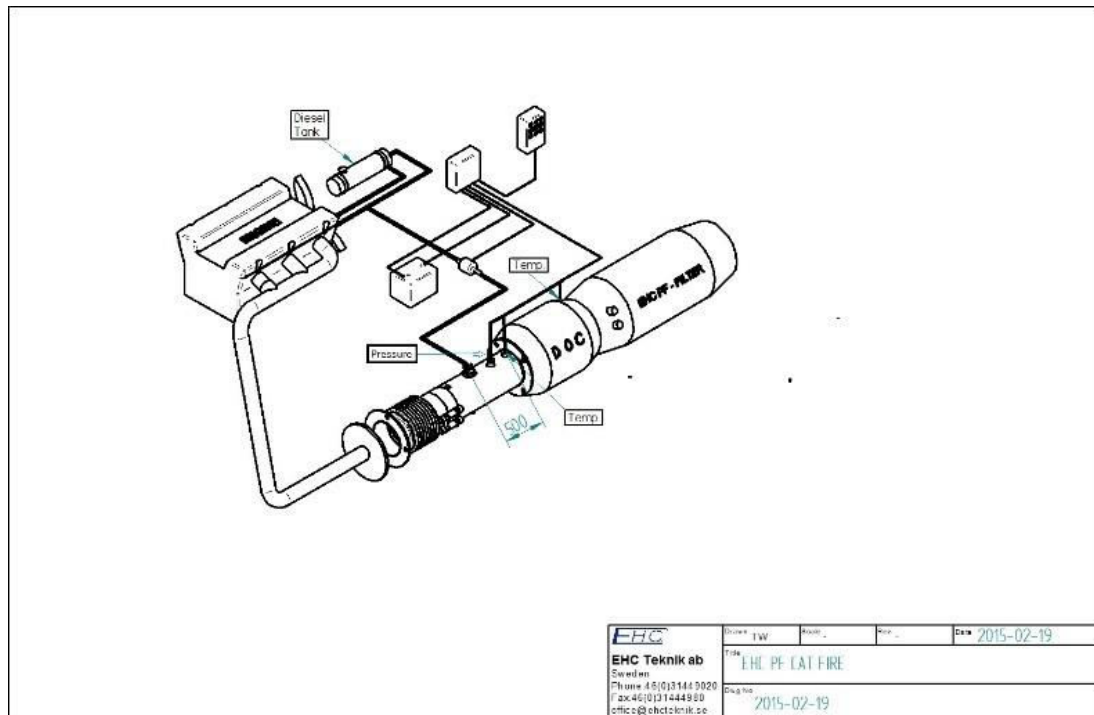
Suodatinlaitteiden kokonaispainot ovat:

EHC HT 35 kokolaite	50 kg
EHC HT 20 kokolaite	34 kg
EHC HT 10 kokolaite	23 kg [17, s. 4.]

## 7.2 CatFire

CatFire on EHCteknikin valmistama pakokaasun jälkikäsitteily järjestelmä. Järjestelmää on saatavilla erilaisilla kokoonpanoilla räätälöitynä käyttötarkoituksen mukaan. Dieci Pegasukseen sopii parhaiten hapetuskatalysaattori ja EHC PF -suodatin. Järjestelmän kokonaisuus pituus on 1260 mm, joka sisältää 500 mm suoraa putkea, johon kiinnitetty polttoaineen-suihkutus-suutin ja toinen lämpötila-antureista. Toinen lämpötila anturi on sijoitettu katalysaattorin ja hiukkassuodattimen väliin (kuva 9). Lämpötila-anturit antavat ohjainyksikölle tietoa, onko lämpötila riittävä regeneroinnin aloittamiseen ja ilmoittaa regeneroinnin edistymisestä. [18, s. 1 - 3.]

Paineanturin antaman painetiedon perusteella ohjainyksikkö päättelee suodattimen tukkoisuuden. Regenerointi voidaan aloittaa jo 150 °C:n lämpötilassa, jos käytetään päällystettyä suodatinta. Mikäli pakokaasujen lämpötila on alle 150 °C, voidaan pakokaasun lämpötilaa nostaa Templift-lisämoduulilla, joka rajoittaa hetkellisesti imuilman määrää. Kun ohjainyksikkö toteaa liian suuren suodattimen aiheuttaman ylipaineen, alkaa regenerointi automaattisesti. Ohjainyksikkö antaa CatFiren polttoaineen syöttöyksikölle käskyn syöttää polttoainetta katalysaattoriin, jossa se hapettuu. Syötettävän polttoaineen määrä muuttuu lämpötilakehityksen mukaan. Kun lämpötila nousee riittäväksi (noin 600 °C), hiukkaset tuottavat palaessaan lisälämpöä, joka auttaa suodattimen puhdistuksessa. CatFire toimii itsenäisenä yksikkönä, riippumatta moottorin ohjainyksikön toiminnasta. [18, s. 1 - 3.]



Kuva 9. CatFire kytkentäkuva [18].

CatFire koostuu seuraavista osista:

- ohjainyksikkö
- polttoaineen syöttöyksikkö
- ohjainpaneeli
- virtalähde
- lämpötila-anturi (2 kpl)
- paineanturi

- polttoaineen syöttösuutin
- DOC -katalysaattori
- DPF -suodatin (EHC PF) [18, s. 6.]

Hapetuskatalysaattori (DOC) vähentää tehokkaasti hiilivetyjen ja hiilimonoksidin määrää pakokaasussa ja hapettaa typpimonoksidin (NO) typpidioksidiksi (NO<sub>2</sub>). Lisäksi hiukkasten koko pienee, kun nokihiukkasten pinnalle kondensoitunut helposti palava hiilivety hapettuu. Typpidioksidi (NO<sub>2</sub>) edistää hiukkassuodattimen toimintaa hapettaen nokihiukkaset matalammassa lämpötilassa kuin happi. Hapetuskatalysaattori tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle moottoria, jolloin saavutetaan toimintaan tarvittava lämpötila mahdollisimman nopeasti. [19 ; 3, s. 596.]

EHC PF -suodatin on valmistettu piikarbidista, joka on hyvin lämpöä kestävä materiaali. Suodatinelementti on malliltaan kennomainen, jonka kanavien päät on vuorollaan suljettu syötön ja ulostulon puolelta (kuva 10). Pakokaasu joutuu kulkemaan huokoisten seinämien läpi, jolloin hiukkaset jäävät suodatinyksikköön. Regeneroituakseen pakokaasun lämpötilan täytyy olla vähintään 300 °C. [17, s.10.]



Kuva 10. EHC PT -suodattimen rakenne [20].

### 7.3 Suodattimen valinta

Kurottajaan asennettavan suodattimen valintaan vaikutti suodattimen toimivuus, koska kurottajalla työskennellään pääasiallisesti sisätiloissa. Verrattaessa CatFiren ja EHC HT -suodattimen soveltuvuutta Dieci Pegasus -kurottajaan sekä sisätiloissa työskentelyyn tuli ottaa huomioon seuraavat seikat: suodattimen tarvitsema tila, käyttölämpötila, hiukkasten suodattavuus ja kustannukset.

Dieci Pegasus -kurottajan rungon sisällä ei ole tarpeeksi tilaa suodattimen asentamiseen. CatFiren polttimen, hapetuskatalysaattorin ja hiukkassuodattimen yhteispituus on 1260 millimetriä ja EHC HT -suodattimen pituus on 705 millimetriä. Molemmat suodattimet olisi sijoitettava koneen takarunkoon poikittain.

CatFiren asennuksessa on huomioitava regenerointi tapahtuman aikaansaama korkea lämpötila, joten sitä ei voida asentaa liian lähelle palavia materiaaleja, kuten hydrauliletkuja tai sähköjohtoja. EHC HT -suodattimen lämpötila ei nouse pakokaasulämpötilaa korkeammalle.

Sekä CatFire että EHC HT -suodatin erottelee hiukkaset yli 95- prosenttisesti pakokaasuista. EHC HT -suodattimen asennus ja hankintahinta on edullisempi verrattuna CatFireen.

Pakokaasuhiukkasten vähentämiseksi valittiin EHC HT -suodatin, koska se soveltui paremmin sisätiloissa tapahtuvaan työskentelyyn. CatFiren haittapuolena tässä tapauksessa on sen regenerointi-tilanteessa aikaansaama korkea lämpötila, joka voi aiheuttaa tulipaloriskin, mikäli olosuhteet työskentelyalueella ovat pölyiset.

### 7.4 Pakokaasusuodattimen mitoitus Dieci Pegasus kurottajaan

Pakokaasusuodattimen mitoituksessa täytyy ottaa huomioon moottorin tilavuus, moottorin maksimi-kierrokset, moottorin tehokkuus ja pakokaasulämpötila. Oikean malli voidaan laskea kuvassa 11 esitetyllä kaavalla.



**Kaava oikean EHC HT - mallin valintaan**

$$\frac{\text{sylinteritilavuus litroina} \times \text{moottorin kierrosnopeus/min} \times \text{tehokkuus}}{2000} = \text{ilmankulutus m}^3/\text{min}$$

$$\frac{\text{ilmankulutus} \times (\text{pakokaasun lämpötila } ^\circ\text{C} + 273)}{^\circ\text{C} + 273} = \text{pakokaasun määrä m}^3/\text{min} \quad (\text{imuilman lämpötila } ^\circ\text{C} + 273)$$

Tehokkuus: imumoottori = 0,85  
 turbomoottori = 1,70  
 turbo välijäähdyttimellä = 1,85

Kuva 11. Laskukaava EHC HT – mallin valintaan.

$$\begin{aligned} &\text{Moottorin tarvitseva ilma määrä} \\ &(4,4\text{L} * 2200 \text{ rpm} * 1,85) / 2000 = \mathbf{9 \text{ m}^3/\text{min}} \\ &\text{Pakokaasu määrä} \\ &(9 \text{ m}^3/\text{min} * 483) / 293 = \mathbf{15 \text{ m}^3/\text{min}} \end{aligned}$$

Tässä tapauksessa moottorin tarvitsemaksi ilmamääräksi saatiin 9 m<sup>3</sup>. Normaalisti sisätiloissa työskenneltäessä moottorin kierrosnopeudet ovat alle 2000 rpm, mutta laskennassa on otettava huomioon maksimikierrokset. Moottorin kuormitus ei nouse maksimitehoalueelle, koska työhydrauliikka kuormittaa moottoria vain osateholla. Pakokaasun lämpötilat pysyttelevät alle 200 °C:ssa, mutta laskennassa huomioitiin korkein lämpötila. Pakokaasun määräksi saatiin 15 m<sup>3</sup>. Suodattimen kokoa valittaessa otimme huomioon suodattimen huollon tarpeen, suodattimen pakokaasun läpäisykyvyn ja ulkoiset mitat. EHC HT20 -suodattimessa riittää pakokaasun läpäisykyky, mutta ulkoisessa mitoituksessa ei ole ratkaisevaa etua verrattuna EHC HT35 -suodattimeen.

Päädyimme EHC HT35 -suodattimeen, koska silloin suodattimen huoltoväli saadaan samanlaiseksi kuin moottorin huoltoväli, joka on 500 tuntia.

## 7.5 Suodattimen asennus

### 7.5.1 Suodattimen asennuspaikka

Dieci Pegasus -kurottajan rungon sisällä ei ollut riittävästi tilaa suodattimelle, joten se oli sijoitettava kurottajan takarunkoon poikittain. Suodattimen asennuspaikkaa valittaessa tuli ottaa huomioon kurottajan ylävaunun kääntyminen. Ylävaunulle oli jäävä riittävästi tilaa myös silloin, kun ylävaunu on käännettynä eri asentoihin suhteessa alavaunuun. Asennuspaikkaa määriteltäessä huomioitiin myös siirtoajotilanne. Nelipyöräohjausta käytettäessä, kurottajan ulompi kääntösäde tassusylintereistä mitattuna on 4790 mm, joten suodattimen olisi pysyttävä tämän alueen sisäpuolella, jolloin suodattimen rikkoutumisriski pienenee ajettaessa ahtaissa paikoissa.

### 7.5.2 Suodattimen suojakehikko

Koska suodatin päätettiin asentaa kurottajan alavaunun takarunkoon, jouduttiin sille tekemään erillinen suojakehikko. Suojakehikko valmistettiin teräsputkesta ja teräsverkosta (suojakehikon suunnitelma erillinen liite 1--5). Suojakehikon kiinnitysraudat hitsattiin kiinni kurottajan takarungossa olevaan tukitassunkoteloon. Suojakehikko kiinnitettiin kiinnitysrautoihin lukitussalvoilla, jolloin suodatin kehikkoineen voidaan tarvittaessa helposti irroittaa.

### 7.5.3 Asentaminen

Suodatin kiinnitettiin kehikkoon suodattimen asennussarjassa mukana tulevilla kiinnityspannoilla. Suodattimen asennuksessa oli huomioitava kondensiovesiputken paikka ja asento. Kondensiovesiputki tulee olla paikassa, josta suodattimeen kondensoitunut vesi pääsee valumaan vapaasti pois.

Kurottajan pakoputken päähän asennettiin kolmitieventtiili, jolla voidaan ohjata pakokaasun reittiä joko suodattimelle tai suoraan ulkoilmaan. Kolmitieventtiilin kautta pakokaasut ohjataan suoraan ulkoilmaan ajettaessa siirtoajoa. Siirtoajossa kurottajan pakokaasulämpötila nousee yli 250 °C. Kurottajaan asennettiin käsikäyttöisesti ohjattava kolmitieventtiili. Venttiiliä on saatavana myös kauko-ohjattuna.

Kolmitieventtiiliin hitsattiin 80 mm:n sisäreiällä oleva 80 mm pitkä putki, joka kiinnitettiin kurottajan pakoputken päähän pakoputkiklemmarilla. Kolmitieventtiilin sivulle lähtevään haaraan kiinnitettiin pakoputkiklemmarilla 90 mm:n sisäreiällä oleva 90<sup>0</sup>:n kulmaputki. Kulmaputkeen asennettiin vielä toinen samanlainen 90<sup>0</sup> kulmaputki, joka suunnattiin EHC HT 35 -suodattimen päätyyn. Suodattimen mukana tulevaan liitoslaippaan hitsattiin 90 mm:n sisäreiällä oleva yhdysputki, jonka jälkeen laippaan tehtiin putken sisäreiän suuruinen aukko. Yhdysputki liitettiin 90<sup>0</sup>:n kulmaputkeen joustoputkella ja pakoputkiklemmareilla. Suodattimesta poistuvaa pakokaasua varten asennettiin 130 mm:n sisäreiällä oleva 90<sup>0</sup>:n kulmaputki, joka kiinnitettiin pakoputkiklemmarilla poistoputkeen.

Suodattimen kotelossa on paineanturi, joka mittaa suodattimen aikaansaamaa vastapainetta. Mikäli suodatinkotelossa on yli kahden minuutin ajan yli 150 mbar:n ylipaine, suodattimen tukkoisuuden tunnistin ilmoittaa asiasta merkkivalolla. Koska kurottaja on ympäripyörivä (360<sup>0</sup>) ja sähköläpiviennissä ei ole ylimääräistä johtoa, jolla saataisiin suodattimen tukkoisuustieto koneen kuljettajan näkyville merkkivalolla, asennettiin merkkivalon tilalle äänimerkki. Äänimerkki ja viivereleen suojalaatikko kiinnitettiin suojakehikkoon. Äänimerkki on niin tehokas, että se kuuluu ohjaamoon asti (103 dB). Äänimerkin ottoteho 3 A. Sähkökytkennästä kaavio erillisenä liitteenä 8.

#### 7.5.4 Suodattimen huolto

Huoltotyöhön kuuluu suodatin patruunan vaihto. Vaihtotyössä on otettava huomioon suodattimen lämpötila, joka heti käytönjälkeen voi olla yli 200 °C. Käytetyn suodattimen voi hävittää palavan jätteen mukana. Lisäksi on hyvä tarkastaa, että kondensiovesiputki on auki ja painekeytkimen ja ohjainyksikön sähköliittimet ovat kunnossa. Huoltotyötä tehtäessä on käytettävä hengityssuojaimia ja suojakäsineitä.

## 8 Yhteenveto

Aihe opinnäytetyöhön tuli asiakkaan tarpeista saada pakokaasuhaitat pienemmiksi työkoneissa silloin, kun työskentely tapahtuu sisätiloissa. Pakokaasujen haitallisuutta voidaan vähentää kahdella tavalla: joko vähentämällä moottorin tuottamaa pakokaasua tai puhdistamalla syntynyttä pakokaasua. Suunnittelutyön alkuvaiheessa piti ensimmäisenä tehdä päätös keskitytäänkö pakokaasun syntyyn, että sitä tulisi vähemmän vai syntyneen pakokaasun puhdistamiseen. Yhdessä asiakkaan kanssa päätimme, että alamme puhdistamaan syntyvää pakokaasua jälkikäsitteilyjärjestelmän avulla.

Useista eri vaihtoehdoista otimme lähempään tarkasteluun kaksi eri vaihtoehtoa pakokaasujen jäkikäsitteilyyn: EHC HT:n sekä CatFiren. Näiden soveltuvutta Dieci Pegasus -kurottajaan selvitettiin mittaamalla pakokaasujen lämpötilat. Selvitysten perusteella jouduimme jättämään CatFiren pois PF suodattimen vaatiman korkean lämpötilan takia.

Omat haasteensa suodattimen asentamiseen toi sijoituspaikka. Dieci Pegasus -kurottajan runko on ahdas, joten suodatinta ei saatu sijoitettua rungon sisälle vaan se jouduttiin asentamaan ulkopuolelle (kuva 12), jolloin suodatin vaati erillisen suojakehikon.



Kuva 12. EHC HT -suodatin asennettuna Dieci Pegasus -kurottajaan.

Koska Dieci Pegasus on ympäripyörivä (360 astetta), on se varustettu pyörivällä läpiviennillä, jossa kulkee sähkö ylä ja alavaununvälillä. Läpiviennissä ei kuitenkaan ole tilaa, jossa saataisiin suodattimen tukkoisuus ja kolmitieventtiin ohjaustieto kulkemaan.

EHC HT -suodatin on helppo asentaa ja se on helppo huoltaa. Se soveltuu monenlaisiin laitteisiin ja on käyttökustannuksiltaan edullinen.

## Lähteet

- 1 Dieselpolttoaineopas. Neste Oil Oy. 2007.
- 2 Dieselmoottori. Verkkodokumentti. Motiva.  
[http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori](http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/dieselmoottori). Luettu 25.3.2015.
- 3 Autoteknillinen taskukirja. Bosch Robert. 2003. 6. painos. Jyväskylä: Autoalan koulutuskeskus Oy.
- 4 Eran Sher. 1998. Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines. Pollutant Formation and Control. Orlando: Academic press.
- 5 Dieselmoottorin ohjausjärjestelmät. Bosch Robert. 2010. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus Oy.
- 6 Parviainen, Heikki. 2011. Päästöjen synty otto- ja dieselmoottoireissa. Kurssimateriaali, moottoritekniikka. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 7 Khair Magdi K. & Jääskeläinen Hannu. Effect of EGR on Emissions and Engine Performance. Dieselnet. Verkkojulkaisu.  
<https://www.dieselnet.com/tech/images/engine/egr/tradeoff1.png>. Luettu 12.4.2015.
- 8 Laurikko, Juhani. Dieselhenkilöautojen ympäristöystävällisyys. Ajoneuvohallintokeskus. Tutkimuksia ja selvityksiä Nro 12/2008. Saatavissa:  
<http://www.trafi.fi/filebank/a/1321969257/5a5f23edd6aa03c1e5bd319fb07e468b/1319-AKE1208Dieseidenymparistoystavallisyys.pdf>.
- 9 Pakokaasut ja haitalliset aineet. NGK. Verkkodokumentti. ngksparkplugs.  
<http://www.ngk.de/fi/tekniikkaayksityiskohtaisesti/lambdatunnistimet/pakokaasujen-perusteita/pakokaasut-ja-haitalliset-aineet/> Luettu 12.4.2015.
- 10 Erkkilä Kimmo, Lappi Maija, Hartikka Tuukka & Nylynd Nils-Olof. 2007. Bussikaluston pakokaasupäästöjen evaluointi: vuosiraportti 2005. VTT Tutkimusraportti 16.4.2007.
- 11 Laivakonetekniikka. Pakokaasujärjestelmä. Wikispaces. Verkkodokumentti.  
<http://laivakonetekniikka.wikispaces.com/Pakokaasuj%C3%A4rjestelm%C3%A4>. Luettu 25.3.2015.
- 12 Dieselpakokaasujen tavoitetasoperustelumuuisto. TY-01-2009. Työterveyslaitos 23.11.2009. Saatavissa:  
[http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus\\_ja\\_riskien\\_hallinta/riskien\\_hallinta/ohjeavot\\_tavoitetasot\\_haittatekij%C3%B6ille/tavoitetasot/Documents/dieselpakokaasut\\_122012.pdf](http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/riskien_hallinta/ohjeavot_tavoitetasot_haittatekij%C3%B6ille/tavoitetasot/Documents/dieselpakokaasut_122012.pdf).
- 13 Emission Standards.European Union. Nonroad Engines. Dieselnet. Verkkodokumentti. [www.dieselnet.com/standardas/eu/nonroad.php#s3](http://www.dieselnet.com/standardas/eu/nonroad.php#s3). Luettu 27.3.2015.
- 14 Dieci Pegasus käyttöohjekirja, AXH 1128.

- 15 Perkins / Industrial engine / ratings guide. 2012. Perkins Engines Company.
- 16 EHC Pakokaasusuodattimet. Yleisesite.  
[http://www.ytm.fi/download/liikkuvan\\_kaluston\\_ratkaisut/EHC/EHC-pakokaasusuodattimet%20%28yleisesite%29.pdf](http://www.ytm.fi/download/liikkuvan_kaluston_ratkaisut/EHC/EHC-pakokaasusuodattimet%20%28yleisesite%29.pdf). Luettu 11.12.2014
- 17 EHC pakokaasusuodatin. Verkkodokumentti. EHC Teknik.Ab.  
[http://www.ehcteknik.com/wp-content/uploads/2012/02/broshure\\_finsve\\_uus\\_210.pdf](http://www.ehcteknik.com/wp-content/uploads/2012/02/broshure_finsve_uus_210.pdf). Luettu 21.3.2015
- 18 CatFire. Installation and operating instructions. (Version 1.2) EHC Teknik.ab.
- 19 Jälkiasennettavat pakokaasujen puhdistuslaitteet: suorituskyky ja kustannukset. 2006. Helsinki: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta.
- 20 EHC pakokaasusuodatin. EHC Teknik Ab. <http://www.ehcteknik.com/wp-content/uploads/2012/07/EHC-PF.jpg>. Luettu 21.4.2015