

Eetu Törmä

Pakokaasunpoistojärjestelmän suunnittelu

Suupohjan Konehuolto Ay

Opinnäytetyö

Kevät 2019

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Eetu Törmä

Työn nimi: Pakokaasunpoistojärjestelmän suunnittelu

Ohjaaja: Jarno Arkko

Vuosi: 2019

Sivumäärä: 40

Liitteiden lukumäärä: 2

Opinnäytetyön päätavoitteena oli suunnitella toimiva pakokaasunpoistojärjestelmä. Kohdeyrityksellä ei ollut minkäänlaista pakokaasunpoistojärjestelmää hallissa. Traktoreita ja työkoneita jouduttiin käyttämään pihalla aina, kun haluttiin tutkia vikaa. Pakokaasunpoistojärjestelmä helpottasi korjaamista paljon, kun koneilla ei tarvitsisi ajella edestakaisin hallista.

Työ aloitettiin tutustumalla korjaamoon ja haastateltiin, miten korjaamo halusi pakokaasunpoistojärjestelmän toimivan. Korjaamo rajasi alueet, mihin pakokaasunpoistojärjestelmät tulisivat. Korjaamo halusi hallin molemmille puolille pakokaasunpoistojärjestelmät: kaksi pakokaasuletkustoa traktoreille ja puimureille/suuremmille työkoneille yksi pakokaasuletkusto. Näillä tiedoilla alettiin tutkimaan, mitä kaikkea pitää ottaa huomioon.

Työssä tutustutaan korjaamosuunnitteluun ja lähdetään avaamaan sen kautta pakokaasunpoistoa. Lisäksi kerrotaan traktoreista ja työkoneista. Myös työssä perehdytään dieselmootteihin ja niiden päästöjen vaikutuksesta terveyteen. Työssä käydään läpi, kuinka saadaan laskettua onnistuneesti pakokaasunpoistojärjestelmä ja miten se rakentuu.

Avainsanat: ilmanvaihto, kohdepoisto, päästöt, traktori, suunnittelu, dieselmoottorit

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Eetu Törmä

Title of thesis: Design of exhaust extraction system

Supervisor: Jarno Arkko

Year:2019

Number of pages:40

Number of appendices:2

In the thesis the main objective was to design an exhaust extraction system layout for a company. The company was Suupohjan Konehuolto Ay which services and repairs tractors in the Suupohja area. The company did not have an exhaust extraction system previously.

The work was started by interviewing the company. How they would like an exhaust extraction system to function. The company wanted to install an exhaust extraction system in two different locations. One exhaust extraction system would be placed on the left side of the hall, on the maintenance side of the tractors. Another exhaust extraction system would be placed on the right side of the hall, on the maintenance side of the combine. The company also informed how many exhaust extraction hoses they would like to have.

The thesis studied workshop design and exhaust extraction. The thesis also presented tractors and work machines, as well as diesel motors and their emission impacts on health. The structure of the exhaust extraction system was presented and how the structure would be carried out successfully.

Keywords: ventilation, local ventilation, emission, tractor, design, diesel motor

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Työn tausta ja tavoite.....	8
1.2 Käytetyt menetelmät.....	9
2 KORJAAMOSUUNNITTELU.....	10
2.1 Laki ja asetus.....	11
2.2 Ilmanvaihto.....	13
3 TYÖKONEET JA TRAKTORIT.....	16
3.1 Työkoneiden moottorit.....	16
3.2 Päästöt.....	17
3.2.1 Terveysvaikutukset.....	18
3.2.2 Päästöluokat.....	18
4 KOHDEPOISTOJÄRJESTELMÄT.....	20
4.1 Matalapainejärjestelmän rakenne.....	20
4.2 Matalapainejärjestelmän mitoitus.....	22
4.2.1 Kanaviston mitoitus.....	22
4.2.2 Puhaltimen mitoitus.....	25
5 PAKOKAASUNPOISTOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU YRITYKSELLE.....	28
5.1 Nykytila.....	28
5.2 Layout.....	28
5.3 Rakenne.....	29
5.4 Mitoitus.....	30
5.5 Vaikutukset ilmanvaihtoon.....	34
6 YHTEENVETO.....	36

LÄHTEET	37
LIITTEET	40

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Esimerkki .	22
Kuvio 2. Letkustojen ilmamäärät.	24
Kuvio 3. Painehäviöt esimerkissä	25
Kuvio 4. Esimerkkikanavisto	27
Kuvio 5. Pohjapiirustus	29
Kuvio 6. Traktorien huoltapuolen runkokanavisto	30
Kuvio 7. Puimurien ja isojen työkoneiden pakokaasupoiston runkokanavisto.....	33
Taulukko 1. Ilmamäärät.	23
Taulukko 2 Puhaltimen valinta.	25
Taulukko 3 Kanaviston mitoitus	26
Taulukko 4 Esimerkkikanavisto.....	26
Taulukko 5. Letkun halkaisija ja pituus taulukko	31
Taulukko 6. Painehäviötaulukko	31

Käytetyt termit ja lyhenteet

2D-piirros	Kaksiulotteinen piirros
3D-piirros	Kolmiulotteinen piirros
Alveolialue	Keuhkorakkuloiden alue
EPA	Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto
SCR	Selective Catalytic Reduction, Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen

1 JOHDANTO

Korjaamoissa ylläpidetään työntekijöiden terveyttä sillä, ettei heidän tarvitse hengittää pakokaasuja tai muita epäpuhtauksia. Työntekijät ovat tärkeä voimavara yrityksille. He ovat yrityksen sisäisiä vaikuttajia. Työntekijät ovat alansa asiantuntijoita, jotka ovat korvaamattoman arvokkaita organisaatiolleen (Lämsä 2015). Yritysten pitää vaalia, että työntekijöillä on turvalliset ja terveelliset tilat tehdä töitä. Kun yritys ottaa huomioon työntekijät saadaan heidän työmotivaatiota kasvatettua.

1.1 Työn tausta ja tavoite

Tässä työssä suunnitellaan toimiva pakokaasunpoistojärjestelmä. Työn tilasi Suupohjan Konehuolto Ay Kauhajoelta. Suupohjan Konehuolto Ay korjaa ja huoltaa erilaisia traktoreita ja työkoneita. Traktoreita ja työkoneita joudutaan välillä käyttämään vikadiagnoosin aikana tai korjaustöiden jälkeen. Aina kun traktoria tai työkoneita käytetään, ne pitää ajaa pihalle käymään, ettei ilmaa pilaantuisi sisällä. Tästä syystä syntyi idea pakokaasunpoistojärjestelmästä.

Työn tavoitteena on saada aikaan toimiva pakokaasunpoistojärjestelmä, koska pakokaasujärjestelmää tarvittaisiin melkein koko ajan. Pakokaasunpoistojärjestelmää suunnitellessa on kuitenkin tärkeää, että se on yksinkertainen ja helppo huoltaa. Toimivalla pakokaasunpoistojärjestelmällä saadaan epäpuhtaudet pois ilmasta ja pystytään huoltamaan tai korjaamaan koneita sisällä. Toisaalta kesällä voi olla mukava huoltaa tai korjata pihalla, mutta talvella tai vesisateella se ei ole mukavaa.

Korjaamalla motivaatiota saadaan ylläpidettyä paremmin, kun ei tarvitse pakokaasun ympäröimänä huoltaa tai korjata. Työn laajuus rajattiin vain suunnitteluun. Toiteuksen tekee korjaamo itse.

1.2 Käytetyt menetelmät

Tässä työssä käytettiin kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimista. Kvalitatiivisesta tutkimusta sanotaan myös laadulliseksi menetelmäksi. Tässä pääpaino on tilastollisten arvioiden sijaan mielipiteiden syväluotaus. Etsitään mielipiteen syy ja mitä siitä seuraa. Tiedonkeruu tässä tapahtuu tyypillisesti kasvotusten, esimerkiksi haastatteluina. (Talotutkimus, [Viitattu 2.5.2019].) Kvantitatiivista tutkimusta sanotaan myös määrälliseksi menetelmäksi. Tällä kuvataan ja tulkitaan ilmiöitä mittausmenetelmillä, jotka keräävät numeerisia tutkimusaineistoja. (Tilastokeskus, [Viitattu 2.5.2019].)

2 KORJAAMOSUUNNITTELU

Korjaamot ovat palveluyrityksiä, jotka tarjoavat moottoriajoneuvojen korjaus- ja huoltopalveluita (Autohuolto, [Viitattu 15.5.2019]). Korjaamot ovat yrityksiä, jolla tarkoitetaan yhden tai useamman henkilön yhdessä perustamaa taloudellista toimintaa, joka pyrkii tuottoisaan toimintaa. (Tilastokeskus, [Viitattu 9.5.2019]). Korjaamosuunnittelussa pitää huomioida, onko kyseessä monimerkkikorjaamo vai merkkikorjaamo. Monimerkkikorjaamoilla huolletaan ja korjataan useita eri konemerkkejä. Ne eivät ole minkään valmistajan tai koneen maahantuojaan määräysvallassa. Monimerkkikorjaamoja kutsutaan joskus myös riippumattomiksi tai vapaiksi korjaamoiksi. Merkkikorjaamo on koneenvalmistajan tai maahantuojaan valtuuttama korjaamo. Mikä vain korjaamo voi ryhtyä merkkikorjaamoksi, kun he täyttävät koneenvalmistajan tai maahantuojaan asettamat kriteerit. (Autonhuolto, [Viitattu 9.4.2019].)

Korjaamosuunnittelussa ei ole olemassa yksittäistä suunnitteluohjetta, jonka perusteella voidaan suunnitella kaikki korjaamot. Korjaamosuunnittelussa asiakkaan tarpeet ohjastavat suunnittelua, eli millaista kalustoa huolletaan ja paljonko niitä on. Tärkeitä huomioitavia asioita korjaamosuunnittelussa on myös työajakohtaiset ergonomiset ja työturvallisuuteen vaikuttavat tekijät. (Arpre Oy, [Viitattu 22.4.2019].) Korjaamosuunnitelmaa tehdessä pitää huomioida lain ja asetuksen antamat velvoitteet. Suomen rakentamismääräyskokoelma on myös hyvä ottaa huomioon, vaikka ne ovat perinteisesti koskeneet uuden rakennuksen rakentamista. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa ohjeistetaan suunnitteluun ja valvontaan, rakenteiden lujuuteen ja vakauteen, paloturvallisuuteen, terveellisyteen, käyttöturvallisuuteen, esteettömyyteen ja meluntorjuntaan. (Ympäristöministeriö 2019.)

Korjaamosuunnittelussa tehdään asiakkaan tarpeiden pohjalta tietokonepohjaisella mallinnusohjelmalla 2D- ja 3D-piirustuksia. Korjaamosuunnitteluja tarjoavat arkkitehtitoimistot ja monet suuremmat korjaamolaitteiden edustajat. Korjaamolaitteiden edustajat tarjoavat suunnittelua myös avaimet käteen -periaatteella, jolloin yhdeltä toimitsijalta saadaan korjaamosuunnittelusta laitteiden asennukseen ja käyttökoulutus. (Arpre Oy, [Viitattu 22.4.2019].)

2.1 Laki ja asetus

Työturvallisuuslaissa 23.8.2002/738 on määritetty työpaikan rakeenteellisestä ja toiminnallisesta turvallisuudesta ja terveellisyydestä. Työpaikan rakenteiden, materiaalien, varusteiden sekä laitteiden tulee olla turvallisia ja terveellisiä työntekijöille. Niiden käsittely, kunnostus ja puhdistettavuus pitää olla turvallista. Työpaikan ja työskentelypaikkojen kulkuteiden, käytävien, uloskäytävien ja pelastusteiden, työskentelytasojen ja muiden alueiden, jossa työntekijät työnsä vuoksi liikkuvat, on oltava kunnossa ja pidettävä turvallisessa kunnossa. Asianmukaisia uloskäytäviä ja pelastusteitä tulee olla riittävästi ja ne on aina pidettävä vapaina. Asianmukaiset turva- ja muut merkinnät tulee olla työpaikalla. (L 23.8.2002/738.)

Työpaikalla tulee olla riittävästi kelvollista hengitysilmaa. Ilmanvaihdon tulee olla riittävän tehokas ja tarkoituksenmukainen työpaikoilla. Työpaikalla, jossa esiintyy ilman epäpuhtauksia, kuten pölyä, savua, kaasua tai höyryjä työntekijään vahingoittavassa tai häiritsevässä määrin, on niiden mahdollisuuksien mukaan estettävä eristämällä epäpuhtauden lähde tai sijoittamalla se suljettuun tilaan tai laitteeseen. Ilman epäpuhtaudet on riittävässä määrin koottava ja poistettava tarkoituksenmukaisen ilmanvaihdon avulla. Työhuoneen tilavuus ja pinta-ala tulee olla riittävä. Myös siellä pitää olla riittävästi tilaa työntekemiseen ja työnvaatimaan liikkumiseen. (L 23.8.2002/738) Jos työpaikalla käytetään koneellista ilmanvaihtoa, se on pidettävä toimintakunnossa. Laitteistosta tuleva terveyshaittaa aiheuttava lika tai muut epäpuhtaudet on puhdistettava. Jos ilmanvaihtolaitteisto on työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden kannalta tarpeellinen, on ilmanvaihtolaitteisto varustettava valvontajärjestelmällä, joka ilmoittaa toimintahäiriöstä. (A 18.6.2003/577.)

Valaistus tulee olla riittävän tehokas ja sopiva työhön kaikille työntekijöille. Mahdollisuuksien mukaan sinne on päästävä myös luonnonvalo (L 23.8.2002/738). Työpaikalla olevat valaisimet pitää asentaa työtiloihin, käytäviin ja muualle työpaikalle siten, ettei ne aiheuta lisävaaraa turvallisuudelle ja terveydelle. Työpaikalla tulee olla riittävä ulkovalaistus, jollei päivänvalo ole riittävä. (A 18.6.2003/577.)

Työpaikan ajoneuvo- ja jalankulkuliikenne tulee järjestää turvalliseksi. Tavaran nosto, kuljetus, käsittely, varastointi sekä tavaran käsittely- ja kuormauspaikat on

suunniteltava niin, ettei niistä aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle nosto- ja siirtolaitteiden käsittelyn aikana. Järjestyksestä ja siisteystydestä on huolehdittava työpaikalla ja siivous on suoritettava niin ettei siitä aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle. (L 23.8.2002/738.) Työpaikalla lattiat, portaat ja käytävät on pidettävä sellaisessa kunnossa, että liukastumis- ja kompastumis- ja putoamisvaara on mahdollisimman vähäinen. Jos työntekijät työtä suorittaessa tai liikkeessä saattavat pudottaa taikka esineet pudotessa tai kaatuessaan voivat vahingoittaa heitä, tulee työn luonteeseen katsoen olla tarkoituksenmukaisia kaiteita, aitauksia, suojakatoksia tai muita turvallisuuslaitteita. Työntekijöille on järjestettävä turvallinen pääsy työskentelypaikoille. (A 18.6.2003/577.)

Ympäristöministeriön asetuksella rakennusten paloturvallisuudesta annetaan tarkempia säännöksiä paloturvallisuuteen. Rakennuksilla on paloluokitukset ja paloluokat ovat P0, P1, P2, P3. P0-paloluokan rakennusten mitoituksen perusteena olevat palokuormat on määritettävä. P1-paloluokan rakennusten palo-osastojen palokuormaryhmät ovat P1a, joka on alle 600 MJ/m^2 . Tätä käytetään tiloissa, jotka ovat asunnot, majoitustilat, hoitolaitokset, työpaikkatilat, autosuojat sekä osa kokoontumis- ja liiketiloista. P1b, joka on vähintään 600 MJ/m^2 , mutta enintään 1200 MJ/m^2 . Tätä käytetään tiloissa, jotka ovat asuinrakennusten irtaimistovarastoja sisältävät palo-osastot, enintään 50 m^2 varastot, moottoriajoneuvojen korjaus- ja huoltotilat sekä osa kokoontumis- ja liiketiloista, kuten näyttelyhallit, kirjastot, ja palo-osastoltaan yli 300 m^2 myymälät. P1c, joka on yli 1200 MJ/m^2 . Tätä käytetään tiloissa, jossa palo-osastot ovat yli 50 m^2 varastoja. Tulipalon syttymisen vaara on oltava mahdollisimman vähäinen rakennuksessa. Rakennus tai sen rakennusosat eivät saa aiheuttaa vaaraa sortumisen vuoksi määrätynä aikana palon alkamisesta. Jos henkilöturvallisuuden takia tai vahinkojen suuruuteen nähden on tarpeellista, rakennuksen on riittävän luotettavasti kestävä sortumatta koko palokuorman palaminen ja jäähtyminen. Ilmanvaihto järjestelmä ei saa myötävaikuttaa palon tai savukaasujen leviämiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla. Rakennuksesta on voitava poistua turvallisesti tulipalon aikana. Uloskäytävät tulee olla riittävän sopivasti sijoiteltuja, tarpeeksi väljiä ja helppokulkuisia, että poistumisaika rakennuksesta ei ole vaaraa aiheuttavan pitkä. Uloskäytävän on johdettava ulos maan pinnalle tai muualle palon sattuessa turvalliselle paikalle. (A 28.11.2017/848.)

Kosteudesta suunnittelijoiden on tehtäviensä mukaisesti huolehdittava rakennuksen suunnittelusta siten, että rakennus käyttötarkoituksen mukaisesti täyttää sen kosteustekniselle toimivuudelle asetetut olennaiset tekniset vaatimukset. Sisäiset ja ulkoiset kosteusrasitukset huomioon ottaen kosteusteknisesti toimiva niiden suunnitellun teknisen käyttöiän ajan rakennuksessa, rakenteissa ja rakennusosissa. Liian suuri kosteuspitoisuus tai kosteuden kertyminen rakennuksien osiin tai sisäpinnoille ei saa vaurioittaa rakennusta eikä aiheuttaa rakennuksessa oleskeleville terveyshaittaa. Rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa rakennuksen kosteustekniseen toimivuuteen ei tarvitse tehdä muutoksia, jos rakennus on kosteusteknisesti toimiva. Jos rakenteen tekninen käyttöikä on loppunut tai joka on kosteustekniseltä toiminnaltaan vaurioitunut, voidaan korjata rakennusai-kaista rakentamistapaa noudattaen. (A 782/2017.) Vedestä ja viemäroinnistä suunnittelijoiden on tehtävänsä mukaisesti huolehdittava rakennuksen suunnittelussa siitä, että rakennus täyttää käyttötarkoituksen mukaisesti vesi- ja viemäri- laitteistojen turvallisuuteen, terveellisyteen, käyttövarmuuteen, kestävyyyteen ja energiatehokkuuteen vaikuttavat vaatimukset (A 1047/2017). Peseytymistilojen tulee tarvittaessa olla lämmitettäviä ja lämmintä pesuvettä tulee olla saatavissa. Tarvittaessa peseytymis-, pukeutumis- ja lepotiloja sekä käymälöitä tulee olla erikseen miehille ja naisille. (A 18.6.2003/577.)

2.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tarkoituksena on tuoda puhdasta ilmaa hengitykseen ja poistaa epäpuhtaudet, jotka syntyvät rakennuksessa. Tarvittavasta kokonaisilmamäärästä murto-osa riittää ihmisen hapentarpeen tyydyttämiseksi. Vuorokaudessa ihmisen keuhkojen kautta kulkee yli 15 000 litraa ilmaa. Elimistö voi paremmin, mitä puhtaampaa ilma on. Kun rakennuksessa syntyy paljon epäpuhtauksia, joiden lähteitä ei voida poistaa. Tällöin tarvitaan yleisilmanvaihto. Tämän avulla saadaan esim. hiilidioksidin ja vesihöyryn pitoisuudet pidettyä pienenä. Tämä auttaa pitämään rakennukset ja ihmiset terveellisellä tasolla. (Sisäilmayhdistys ry, [Viitattu 14.3.2019].)

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin. Ilmaa virtaa pienempään paineeseen suuremmasta paineesta. Paine-ero voidaan tehdä koneellisilla puhaltimilla (koneellinen ilmanvaihto) tai ilman koneellista puhallinta, jolloin lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksella (painovoimainen ilmanvaihto). Kun kyseessä on tulo- ja poistoilmanvaihto, tuloilma puhalletaan koneellisesti. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa vain poistoilmanvaihto. Ilmastoinnilla tarkoitetaan, kun tuloilmaa kostutetaan tai jäädytetään. On tärkeää järjestää poistoilmanvaihdossa hallittu korvausilman sisäänotto, esim. korvausilmaventtiilien avulla. Tulo- ja poistoilmanvaihdon etuna on tuloilman suodatus ja lämmöntalteenotto poistoilmasta. Kertyvä lika huonosti huollettuun tuloilmakanavistoon voi ajan saatossa alkaa haista ja pilata sisäilman. Eri-tyisesti asuinrakennuksissa painovoimaisen poistoilmanvaihdon suosio perustuu alhaisiin kustannuksiin. Painovoimainen ilmanvaihto ei aiheuta melua, vaan ikkuna- tuuletus meluisella paikalla aiheuttaa. (Sisäilmayhdistys ry, [Viitattu 14.3.2019].)

Kun rakennuksessa on ihmisiä, silloin erityisesti tarvitaan ilmanvaihtoa. Asuinrakennuksissa ilmanvaihdon tulisi olla jatkuvasti toiminnassa, koska ilmanvaihdon määrään nähden kosteuskuormat saattavat olla suuria ja asuinrakennuksissa oleskel- laan epäsäännöllisesti. Toimistorakennuksissa ja muissa, joissa ei olla öisin, ei tar- vita jatkuvaa ilmanvaihtoa. Näissä voidaan käyttää ilmanvaihtoa jaksottaisesti, huo- mioiden rakennuksen ja ilmanvaihtojärjestelmän ominaisuudet. On varmistettava kuitenkin, että sisäilmaston taso on riittävä käyttäjien saapuessa huoneistoon. Il- manvaihdon on oltava päällä tarpeeksi aikaisin, ennen ihmisten saapumista tilaan, koska epäpuhtauksia syntyy rakennuksissa koko ajan. (Sisäilmayhdistys ry, [Viitattu 14.3.2019].)

Kaikki epäpuhtaudet pitää poistaa paikoista missä niitä syntyy, ennen kun ne leviä- vät muihin tiloihin. Kaikkialla missä syntyy epäpuhtauksia ja sitä ei voida estää täy- sin, pitää näihin asentaa kohdepoistojärjestelmä. Kohdepoistolla tarkoitetaan esi- merkiksi toimistoissa kopiokoneen lämmön ja epäpuhtauksien johtaminen lämmön- talteenoton kautta ulos. (Sisäilmayhdistys ry, [Viitattu 14.3.2019].)

FINVAC:in mukaan autokorjaamoilla ja katsastustiloissa pitäisi ilmanvaihdon tuoda ulkoilmavirta $6 \text{ dm}^3/\text{s}$, hlö + $2 \text{ dm}^3/\text{s}$, m^2 . Kohdepoistot pitää asentaa epäpuhtaus- lähteisiin ja ajoneuvojen pakokaasuihin. Paikalliset pakokaasun poistot, henkilöau-

toille vähintään $100 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja kuorma-autoille $300 \text{ dm}^3/\text{s}$. Kun pakokaasunpoistokis-
koa käytetään, voi ilmavirta olla $2 \text{ dm}^3/\text{s, m}^2$. Tilasta ei saa tehdä alipaineista ja tämä
pitää ottaa huomioon pakokaasunpoistossa. (FINVAC 2017, 20).

3 TYÖKONEET JA TRAKTORIT

Traktori on moottoriajoneuvo, jota pääosin käytetään maa- ja metsätaloudessa. Myös tienhoitotehtävissä sekä moninaisissa maansiirto- ja muissa kuljetuksissa käytetään traktoreita. T-luokkaan kuuluu pyörillä varustetut traktorit. Traktorit ovat jaettu kokoon mukaan luokkiin T1-T4. Suomessa maatalouskäytössä olevat traktorit kuuluvat luokkaan T1 ja traktorimönkijät luokkaan T3. T1-luokka on traktori, joiden kuljettajaa lähimpänä olevan akselin pienin raideväli on vähintään 1,15 metriä, omamassa ajokuntoisena yli 0,6 tonnia ja maavara enintään 1,0 metriä. T2-luokka on melkein sama kuin T1 luokka. T2-luokassa raideväli on alle 1,15m, mikä erottaa sen T1-luokasta. T3-luokan traktorin omamassa on ajokuntoisena enintään 0,6 tonnia. T4-luokka on erikoiskäyttöön tarkoitettu traktori, kuten korkean maavaran traktorit, erikoisleveät traktorit ja matalan maavaran traktorit. EU-asetus 167/2013 toi luokitteluun myös nopeuden mukaisen luokittelun. EU-asetuksen mukaisesti traktoreiden luokan perään merkitään suurimman rakenteellisen nopeuden mukaan kirjain a tai b. A-kirjain tarkoittaa traktoria, jonka suurin rakenteellinen nopeus on enintään 40km/h. B-kirjain tarkoittaa traktoria, jonka suurin rakenteellinen nopeus on yli 40km/h. C-luokalla tarkoitetaan traktoria, jota ohjataan ja liikutellaan telaketjuin. Moottorityökoneella tarkoitetaan työkonetta, joka ei rakenteensa vuoksi sovellu matkustajien ja tavaroiden siirtelyyn. (Liikenneturva, [Viitattu 29.4.2019].)

3.1 Työkoneiden moottorit

Moottorit ovat termodynaamisia voimakoneita, joissa lämpöenergia muunnetaan liike-energiaksi ja vauhtipyörältä ulos saatavaksi mekaaniseksi työksi. Rudolf Diesel esitteli vuonna 1893 idean raskasöljyä käyttävästä moottorista, jossa polttoaineen sytytys tapahtuu puristuksen avulla. Dieselmoottorissa on erona ottomoottoriin (bensamoottoriin) on, että dieselmoottorissa ei tarvita erillistä kipinää sytyttämään polttoainetta. Dieselmoottorissa polttoaine suihkutetaan kuumaan puristettuun ilmaan, jolloin se syttyy ja työntää männän alaspäin. (Huhtamaa ym. 2007, 202.)

Polttoaineen sisältämästä lämpöenergiasta saadaan moottorin akselilta ulos vain vajaa $\frac{1}{3}$ ns. mekaanisena energiana. Tällä energialla ajoneuvo on saatava liikku-
maan. Pääosa energiasta hupenee lämpö- ja kaasuvaihtohäviöinä ulkoilmaan. Pa-
kokaasuna mukana menee noin $\frac{1}{3}$ ja moottorin jäähdytyksessä noin $\frac{1}{3}$. (Rantala
2011, 34.)

3.2 Päästöt

Täydellisessä palamisessa lopputuloksena on typpeä (N_2), vettä (H_2O) ja happea (O_2). Jaksottaisesti tapahtuvassa palamisessa (epätäydellisessä palamisessa) tu-
lee enemmän ei-toivottuja palamistuotteita, kuten hiilimonoksidia, palamattomia hii-
livityjä, typenoksideja, hiukkasia ja rikkidioksidia. (Rantala. 2011, 34.)

Dieselmoottorissa palaminen tapahtuu ilmaylimäärän vallitessa. Tämän vuoksi die-
selpakokaasut sisältävät yleensä todella vähän epätäydellisen palamisen tuotteita,
kuten hiilimonoksidia eli häkää (CO). Palamattomia hiilivityjä (HC) syntyy kyllä jon-
kin verran. Hiilivedyt, jotka sisältyvät dieselpolttoaineeseen, ovat vaikeammin pala-
via kuin bensiinin hiilivedyt, koska ne ovat ominaispainoltaan raskaampia ja raken-
teeltaan pitkäketjuisempia. Dieselmoottorin pakokaasut sisältävät typenoksideja (NO_x) yleensä todella paljon, koska ilmaylimäärä palamistapahtumassa on varsin
suuri. Lisäksi palotilassa vallitsee korkea lämpötila, joka edistää typpioksidien syn-
tyä. Pakokaasupäästöistä suurin osa on kaasumaisessa olomuodossa, dieselmoot-
torin pakokaasut sisältävät myös suuret määrät pienhiukkasmaisia aineosasia. Kun
polttoainepisara palaa epätäydellisesti jättäen jäljelle noesta koostuvan ytimen, syn-
tyy pienhiukkasia. Ytimen pinnalle tiivistyy pakokaasun sisältämiä hiilivety-yhdistel-
miä. Myös rikkiä löytyy epäpuhtautena dieselpolttoaineessa, joka palamisessa
muuttuu rikkidioksidiksi (SO_2). Rikkidioksidi yhtyy helposti pakokaasujen sisältä-
mään vesihöyryyn muodostaen sulfaatteja, jotka myös tarttuvat kiinteiden hiukkas-
ten pinnoille. Dieselpakokaasun hiukkanen on siis erittäin monimutkainen ja vaike-
asti määriteltävä kokonaisuus. Moottorin kulumisen tai muun vaurion johdosta voi
pakokaasuissa esiintyä metallihiukkasia. (Autotieto, [Viitattu 19.3.2019].)

3.2.1 Terveysvaikutukset

Dieselpakokaasuhiukkasten pienen kokonsa vuoksi keuhkoihin pidättyvistä päätyy keuhkojen alveolialueelle eli keuhkorakkuloiden alueelle. Alveoleista pakokaasuhiukkaset poistuvat pääasiassa syöjäsolujen kuljettamina keuhkojen ylempiin osiin ja edelleen ruuansulatuskanavaan, kun pakokaasuhiukkaset ovat niukkaliukoisia. Hiukkaset voivat myös kulkeutua alveolien ohuen epiteetin läpi ja päätyä imusuonistoon ja verenkiertoon. Dieselpakokaasun kaasufaasin yhdisteistä typpidioksidi pääsee helposti alahengitysteihin. Kaasu voi liueta keuhkoepiteelin pinnalla olevaan nestekalvoon muodostaen typpihapoketta, typpihappoa ja näiden suoloja. Typpioksidi ja/tai sen muodostamat yhdisteet imeytyvät helposti keuhkoista verenkiertoon. Typpidioksidi poistuu elimistöstä nitraattina virtsassa. Lyhytaikaisessa altistumisessa dieselpakokaasu voi ärsyttää silmiä ja hengitysteitä. Pitkäaikaisessa altistumisessa dieselpakokaasuille on liitetty kohonneeseen keuhkosyöpäriskiä ja virtsarakon syöpiä. (Työterveyslaitos 2015, 10-12.)

3.2.2 Päästöluokat

Konekorjaamoilla korjataan erilaisia työkoneita, joiden päästöluokka on yleisesti Suomessa Stage-päästönormi. Yleisimpien korjattavien koneiden ikä on 12 vuotta. Konekorjaamolla yleisimpien korjattavien koneiden valmistusvuodet liikkuvat 1995–2018 välillä (Nummikoski 2019). EU ja EPA -alueilla sovelletaan työkonemootoreille kahta eri päästöluokkaa, mutta ne ovat vertailukelpoisia keskenään. EU:n alueella käytetään Stage-päästönormia ja EPA:n alueella Tier-päästönormia. (Emission standards, [Viitattu 10.4.2019].)

Stage. Työkoneiden pakokaasupäästönormi Euroopassa. Stage-normit ovat tulleet vuonna 1997 voimaan direktiivillä (97/68/EY). Ensimmäinen Stage 1 -taso otettiin käyttöön vuonna 1999 ja siitä lähtien on siirrytty koko ajan tiukempiin rajoituksiin. Tämänhetkinen päästöluokka on Stage 5. (Koneluokitus, [Viitattu 12.3.2019].) Liitteessä 1 näkee, kuinka Stage-normit ovat tiukentuneet.

Tier. EPA-alueilla työkoneiden pakokaasupäästöjä säädellään Tier-normeilla. Tier-normit hyväksyttiin vuonna 1994 yli 37 kW:n moottoreille, jotka otettiin käyttöön asteittain vuosina 1996–2000. Tämänhetkinen päästöluokka on Tier 4. (Emission standards, [Viitattu 10.4.2019].) Liitteessä 2 näkee, kuinka Tier-normit ovat tiukentuneet.

Konekorjaamoilla olevien työkoneiden päästönormit tällä hetkellä ovat Stage 1- Stage 4. Yleisimmät korjattavat työkoneet olivat 12 vuotta vanhoja, silloin niissä on Stage 2- ja Stage 3A- päästönormeja. Koko Stage 2- ja Stage 3A- päästönormeissa ei ollut pakollisia pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmät, jos päästiin sallittuihin rajoihin. Ennen päästönormeja tehdyt koneet tarvitsevat pakokaasuimurin hallissa. Stage 1-, Stage 2- ja Stage 3 -päästönormeilla olevien työkoneiden käyttö sisällä vaatii pakokaasuimurin. Stage 4 -päästönormin mukaisia työkoneita voi hetkellisesti käyttää sisällä, kun näissä on yleisin ratkaisu, SCR-pakokaasunjälkikäsittely. (Kone-luokitus, [Viitattu 12.3.2019].)

4 KOHDEPOISTOJÄRJESTELMÄT

Kohdepoisto on kohdeilmanvaihdon vaihe, jossa ilman epäpuhtaus eliminoidaan lähteestä tai lähteen läheisyydestä. (TTL, [Viitattu 2.4.2019]). Kohdepoistojärjestelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään, korkeapainejärjestelmiin ja matalapainejärjestelmiin (Teca suunnitteluopas 2008, 4).

Korkeapainejärjestelmässä ilman nopeus on suuri, mutta ilmamäärä on pieni. Poisto syntyy hyvin lähellä epäpuhtauksien synty pistettä. Tyypilliset sovellukset ovat lattian ja koneiden puhdistus imuroimalla työkalukohtaisilla suulakkeilla. (Teca suunnitteluopas 2008, 4.)

Matalapainejärjestelmissä ilman nopeus on hidas, mutta ilmamäärä on suuri. Poisto voidaan tehdä suuremmalta alueelta johtuen suuresta ilmamäärästä. Suositellaan käytettäväksi käryjen, pölyjen ja muiden leijuvien epäpuhtauksien poistamiseen. Poisto tapahtuu letkustoilla, pakokaasusuulakkeilla ja koneisiin liitettävillä huuville. (Teca suunnitteluopas 2008, 4.)

4.1 Matalapainejärjestelmän rakenne

Pakokaasunpoistojärjestelmät tehdään yleensä matalapainejärjestelmillä. Poistossa käytetään suurta ilmamäärää, 600-2000 m³/h. Poistokanavisto on yleensä suuri halkaisijaltaan ja ilman nopeus on matala, noin 10-25 m/s. Painehäviöt jäävät pieniksi, noin 1-3 kPa:iin. Rakenteeseen kuuluu puhallin, suodatin ja letkustot. Puhallin imee suodattimen ja letkuston kautta käryn ja pölyn pois ulkoilmaan. (Teca suunnitteluopas 2008, 14.)

Matalapaine puhallin. Puhaltimen tarkoitus on imeä ilmaa, jossa on epäpuhtauksia seassa. Puhaltimen tyyppi valitaan käyttökohteen painehäviöiden ja ilmamäärän mukaan. Painehäviöitä syntyy, kun välissä on letkuja, kanavia ja suodattimia. Ilmamäärän on pysyttävä riittävällä tasolla, että se pystyy kuljettamaan epäpuhtauksia ilman seassa. Sulkupeltejä ja paineenohjausjärjestelmiä käyttämällä saadaan pienennettyä energiankulutusta ja käyttökuluja. Näin puhallin saadaan toimimaan taloudellisesti. (Teca suunnitteluopas 2008, 48.)

Suodatin. Suodattimilla suodatetaan epäpuhtaudet puhaltimella imetystä ilmasta. Epäpuhtauksien laskemisesta ympäristöön on usein tiukat säännöt ja niiden rikkomisesta voi joutua korvausvelvolliseksi. Suodatinjärjestelmän on täytettävä niille asetettavia perusvaatimuksia. Suodatintyyppi valitaan sen mukaan, käytetäänkö sitä räjähdysvaarallisissa tai ei-räjähdysvaarallisissa tiloissa. Suodattimia on erilaisia, esimerkiksi liikuteltavia suodatinkärryjä, MFS-moduulisuodatinta ja suodatin-kaappeja. Esimerkiksi räjähdysvaarallisiin tiloihin suodattimen tulee täyttää ATEX-direktiivi. (Teca suunnitteluopas 2008, 35.)

Matalapaineletkustot. Letkustolla ohjataan ilma ja epäpuhtaudet kokoojaputkistoon, josta ne menevät esimerkiksi suodattimelle. Letkuja löytyy runsaasti sekä räjähdysvaarallisiin että ei-räjähdysvaarallisiin tiloihin. Myös letkuilla on erilaisia lämmönkestävyysluokkia, esimerkiksi jotkut letkut kestävät 70-asteista ilmanlämpötilaa ja jotkut yli 300-asteista. Räjähdysvaarallisiin tiloihin suunnitellut letkut pitää täyttää niitä koskevat direktiivit, kuten laitedirektiivin 98/37/EC sekä 94/9/EC (tunnetaan myös ATEX 100a-direktiivinä). Näillä saadaan turvallinen ja laillinen sovellus. (Teca suunnitteluopas 2008, 17.)

Sulkupelti. Sulkupellillä saadaan parannettua kohdenpoistojärjestelmän tehokkuutta. Tällä pystytään ohjaamaan imuilmaa tarpeen mukaan. Sulkupelti mahdollistaa pienemmän puhaltimen käyttö kanavistossa, jossa on paljon letkustoja. (Teca suunnitteluopas 2008, 55.)

Öljysumuerotin. Kun koneistuksessa metallien jäähdytys- tai voiteluaineena käytetään öljyä, voi muodostua öljysumua. Tähän tilanteeseen on ratkaisuna öljynsumuerotin. Pitkäaikainen altistuminen öljysumulle on haitallista terveydelle. Myös öljysumun tiivistyminen koneiden, laitteiden ja työtilojen lattioille voi olla sekä haitallista että vaarallista. Öljysumu voi koostua pelkästä öljysumusta tai öljysumun ja veden seoksesta, emulsiosta. Emulsiot sisältävät yleensä 5 - 10 % vesiliukoisia öljyjä ja 90 - 95 % vettä. (Teca suunnitteluopas 2008, 44.)

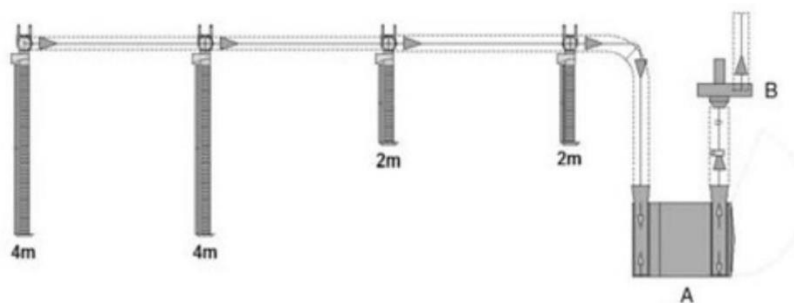
4.2 Matalapainejärjestelmän mitoitus

Ensimmäinen askel kohti tehokasta ja turvallista kohdepoistoa on oikean letkuston valinta. Seuraava askel on päättää, miten epäpuhtaudet suodatetaan poistetusta ilmasta sekä minne suodatettu ilma palautetaan, esimerkiksi työtiloihin vai ulkoilmaan. Lopuksi kun on tiedossa kokonaisilmamäärä ja tarvittava alipaine, voidaan alkaa etsimään oikean kokoista puhallinta. (Teca suunnitteluopas 2008, 15.)

4.2.1 Kanaviston mitoitus

Helpottaakseen laskemista piirretään yksinkertainen luonnos, johon piirretään letkustot, mahdolliset suodattimet ja puhaltimet. Merkitään kanaviston pituus luonnokseen ja lasketaan, kuinka monta 90 asteen käyrää tarvitaan. Esimerkiksi arvioidaan kanaviston pituudeksi 25 metriä ja 90 asteen käyriä 5 kappaletta. (Teca suunnitteluopas 2008, 15.)

Seuraavaksi pitää miettiä, millainen letkusto tarvitaan. Esimerkiksi valitaan tähän esimerkkiin Tecan tarjoamaa kaksi 4 metrin ja kaksi 2 metrin NEX HD-letkustoa, kuten esimerkki Kuvio 1 on tehty. (Teca suunnitteluopas 2008, 15.)



Kuvio 1. Esimerkki (Teca suunnitteluopas 2008, 15).

Nyt kun tiedetään, millainen letkusto on, voidaan laskea kokonaisilmamäärä. Ennen kun voidaan laskea kokonaisilmamäärä, pitää tietää ilmamäärän tarve. Ilmamäärän tarpeen saa taulukosta (Taulukko 1). (Teca suunnitteluopas 2008,15.)

FINVACIN opas ilmanvaihdon mitoituksessa kerrotaan minimi-ilmamäärät pakokaasunpoistossa ovat henkilöautoille 100 dm³/s ja kuorma-autoille 300 dm³/s. Yksikön muutoksella saadaan tarkistettua, onko taulukossa varmaa tietoa. Yksikön muutokset tehdään kaavalla (1). Laskuissa muutetaan kuutiodesimetrit kuutiometreiksi ja sekunnit tunneiksi.

Minimi-ilmamäärä x muunnetaan kaavalla

$$((x * 60) * 60)/1000 = y \quad (1.)$$

missä

y on minimi-ilmamäärä m³/h

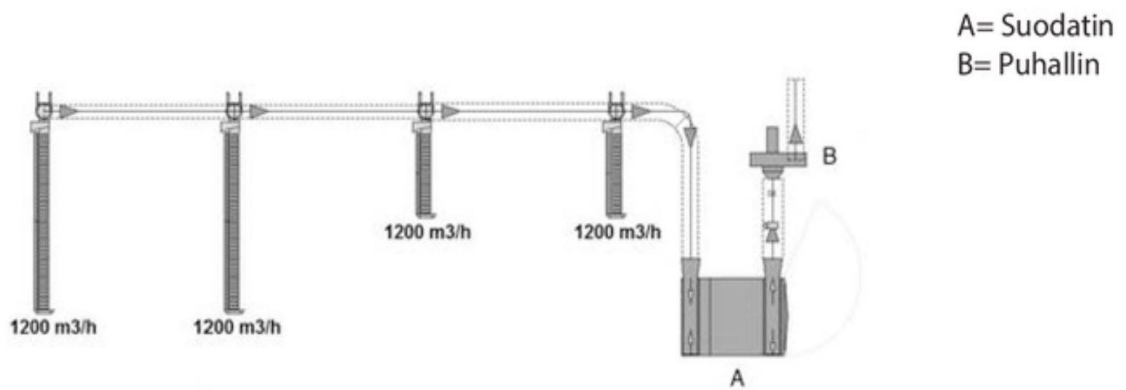
Laskujen tuloksesta voi huomata, että taulukon 1 ilmamäärät ovat aivan oikein, koska minimi-ilmamäärät ovat samanlaiset.

Taulukko 1. Ilmamäärät (Teca suunnitteluopas 2008, 90).

Ilmamäärät paikallaan oleville ajoneuvoille

Ajoneuvoryhmä	Ilmamäärä m ³ /h	Letkun halkaisija, mm
Henkilöautot	360 - 600	(75)/100
Hyötyajoneuvot / pakettiautot	800-1000	(125)/150
Hyötyajoneuvot / kuorma-autot, rekat, julkisen liikenteen ajoneuvot	1080-1200	150/200

Otetaan esimerkkiin ajoneuvoryhmäksi hyötyajoneuvot eli maksimi ilmamäärän tarve on 1200 m³/h letkustoa kohti. Tämä tarkoittaa 4800 m³/h kokonaisilmamäärää. Käytännössä on kuitenkin todennäköistä, että korkeintaan kaksi letkustoa neljästä on samanaikaisesti käytössä. Näin ollen suunnittelumääränä käytetään 50 % kokonaisilmamäärästä (4800 m³/h) eli suunnitteluilmamäärä on 2400 m³/h. (Teca suunnitteluopas 2008, 15.) Kuvio 2 näyttää, kuinka letkustojen ilmamäärät jakaantuvat.



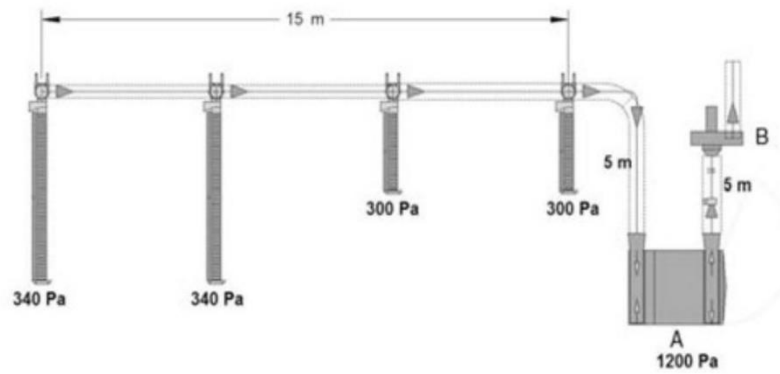
Kuvio 2. Letkustojen ilmamäärät (Teca suunnitteluopas 2008, 15).

Kun tiedetään kokonaisilmamäärä, tarvitaan vielä tarvittava alipaine ennen kuin päästään valitsemaan puhallinta. Arvioidaan tarvittava alipaine noudattaen seuraavaa kaavaa:

- Luetaan NEX HD:n ominaiskäyrästä painehäviön suuruus, kun ilmamäärä on $1200 \text{ m}^3/\text{h}$. Esimerkissä on sekä 4 metrin että 2 metrin letkustot ja laskelmiin sen letkuston painehäviö, joka kokonaisilmamäärällä on suurempi. Tässä tapauksessa painehäviö 4 metrin letkustolla $1200 \text{ m}^3/\text{h}$:n kohdalla on 340 Pa . Huom. Laskelmissa käytetään vain yhden letkuston painehäviötä.
- Lisää 5 Pa jokaista kanavan metriä kohden, laskien puhaltimelta kauimmaiseen kohtaan. Tässä esimerkissä etäisyys on 25 metriä .
- Lisää 15 Pa jokaista 90 asteen käyrää kohden. Tässä esimerkissä $5 \times 15 = 75 \text{ Pa}$
- Lisää 1200 Pa , joka on suodattimen FilterMax F:n painehäviö $2400 \text{ m}^3/\text{h}$ ilmamäärällä.

Vaadittava alipaine on: $340 + (25 \times 5) + (5 \times 15) + 1200 = 1740 \text{ Pa}$

(Teca suunnitteluopas 2008, 15.) Kuvio 3 on merkitty kaikkien osien, paitsi runkokanaviston painehäviöt.

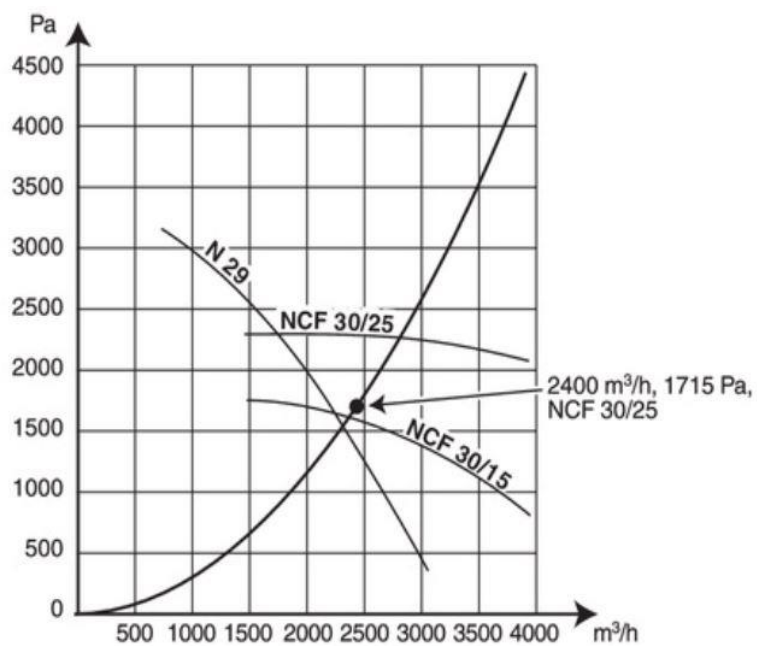


Kuvio 3. Painehäviöt esimerkissä (Teca suunnitteluopas 2008, 15).

4.2.2 Puhaltimen mitoitus

Nyt kun tiedetään kokonaisilmamäärä ja painehäviö, voidaan valita puhallin taulukosta 2 (Teca suunnitteluopas 2008, 16).

Taulukko 2. Puhaltimen valinta (Teca suunnitteluopas 2008, 16).



Puhaltimen on tuotettava vähintään 1740 Pa 2400 m³/h ilmamäärällä. Sopiva puhallin on NCF 30/25. Kanavisto mitoitetaan, sen mukaan montako kuutiometriä ilmaa siellä kulkee tunnissa. Taulukko 3 näkee ilmamäärät, kanavan koot ja ilman nopeudet. (Teca suunnitteluopas 2008, 16.)

Taulukko 3. Kanaviston mitoitus (Teca suunnitteluopas 2008, 16).

Kanaviston mitoitus

Ilmamäärä m ³ /h	Käry		Pöly	
	Kanavan ø mm	Ilman nopeus m/s	Kanavan ø mm	Ilman nopeus m/s
600 asti	125	10-15	100	15-25
700-1100	160	10-15	125	15-25
1100-1700	200	10-15	160	15-25
1700-2600	250	10-15	200	15-25
2600-4200	315	10-15	250	15-25
4200-6800	400	10-15	315	15-25
6800-12000	500	10-15	400	15-25

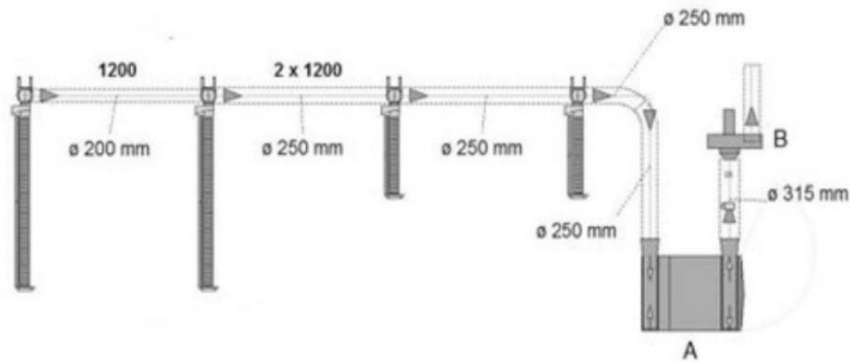
Tämän esimerkin kanaviston on oltava Taulukko 4 mukainen (Teca suunnitteluopas 2008, 16).

Taulukko 4. Esimerkkikanavisto (Teca suunnitteluopas 2008, 16).

	Ilmamäärä m ³ /h	Kanaviston ø mm
Letkustojen 1 ja 2 välillä	1200	200
Letkustojen 2 ja 3 välillä	2400	250
Letkustojen 3 ja 4 välillä	2400	250
Letkuston 4 ja suodattimen välillä	2400	250
Suodattimen ja puhaltimen välillä	2400	315
Puhaltimen poistokanava	2400	315

Kun laitetaan monta letkustoa sarjaan yhdelle puhaltimelle, runkkanavan putken koon pitää kasvaa ilmamäärän kasvaessa. Kuvio 4 näytetään esimerkki runkkanaviston koot. Ensimmäisen pakokaasuletkuston jälkeen runkkanavan halkaisija

on 200 mm, mutta toisen letkuston jälkeen halkaisija pitää suurentaa 250 mm, kun ilmamäärä kasvaa kaksinkertaiseksi.



Kuvio 4. Esimerkkikanavisto (Teca suunnitteluopas 2008, 16).

Yhdyskanava letkustolta runkokanavaan on oltava vähintään 160mm. Myös pitää huomioida, että työtilaan tulee yhtä paljon korvausilmaa, kuin sitä poistuu. Tavallisissa kanavistoissa, joissa on yksi puhallin ja monta käyttöpistettä, voi satunnaisesti esiintyä imutehon vaihteluja ja paineen laskua, mutta nämä ongelmat voidaan helposti ehkäistä käyttämällä automaattisia sulkupeltejä sekä puhaltimen paineenohjausjärjestelmää. (Teca suunnitteluopas 2008, 16.)

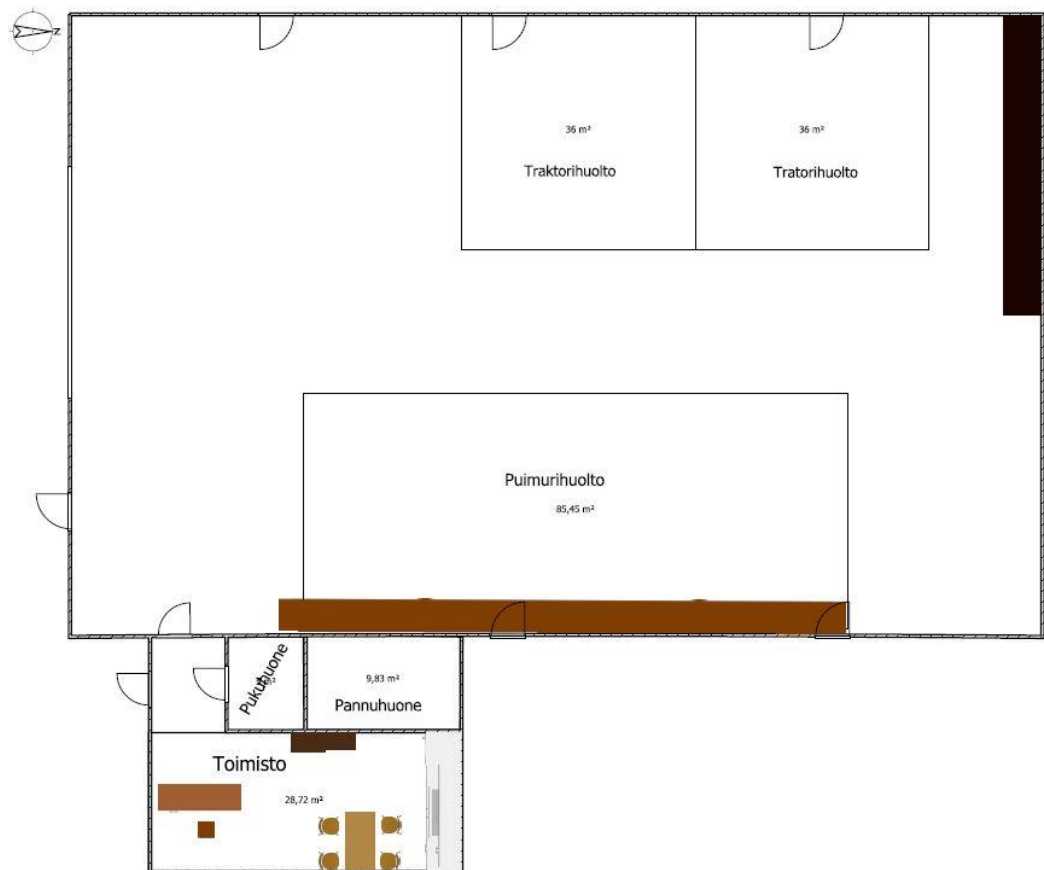
5 PAKOKAASUNPOISTOJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU YRITYKSELLE

5.1 Nykytila

Suunnitelmana on rakentaa toimiva pakokaasunpoistojärjestelmä Suupohjan Konehuolto Ay:lle. Suupohjan Konehuolto Ay on toiminut vuodesta 2012 ja tarjonnut traktorien ja maatalouskoneiden huolto- ja korjauspalveluja. Suupohjan Konehuolto Ay tarjoaa huoltoa ja korjauspalvelua muunmuuassa seuraaville merkeille John Deere -traktorit, -työkoneet, -puimurit, -kurottajat sekä -ympäristökoneet. He korjaavat ja huoltavat myös monia muita merkkejä. Suupohjan Konehuolto Ay tekee myös ilmastointihuoltoja traktoreihin, työkoneisiin sekä autoihin. Yritys huoltaa pääasiassa Suupohjan alueella. Tämä yritys aloitti kotona omassa pienessä noin 100 m² hallissa ja vuonna 2017 siirtyi vuokralle noin 400 m² halliin. Tällä hetkellä hallissa ei ole minikäänlaista pakokaasunpoistojärjestelmää, vaan koneita käytetään mahdollisuuksien mukaan pihalla. Hallissa ilmanvaihto on toteutettu yhdellä puhaltimella, joka on keskellä kattoa, jota säädetään manuaalisesti ajastimella. Korvausilma tulee katon rajasta kahdesta korvausilmaventtiilistä, jotka säätyvät lämpötilan mukaan.

5.2 Layout

Halli on 25 metriä pitkä, 16 metriä leveä ja 6 metriä korkea. Hallin reunoilla on vanhan hallinosturin runko paikoillaan, mutta itse nosturi on viety pois. Pakokaasunpoistojärjestelmän suunnittelussa pitää ottaa huomioon, jos halutaan hallinosturi käyttöön. Pakokaasunpoistojärjestelmän letkukelat pitää tuoda riittävän alas, etteivät ne kosketa hallinosturiin. Halliin suunnitellaan vasemmalle puolelle kaksi letkukelaa traktorien huoltopaikoille ja oikealle puolelle yksi letkukela suurempien työkoneneiden, esimerkiksi puimureiden huoltoon. Kuvio 5 on tietokoneella piirtämä hallin pohjapiirustus, jossa on merkitty koneiden huoltopaikat.



Kuvio 5. Pohjapiirustus

Traktorien huoltoon ovat kaksi pakokaasuletkukelaa laitetaan sarjaan yhdelle puhallimelle. Puimurien ja suurempien työkonoiden pakokaasuletkukelalle laitetaan yksi puhallin.

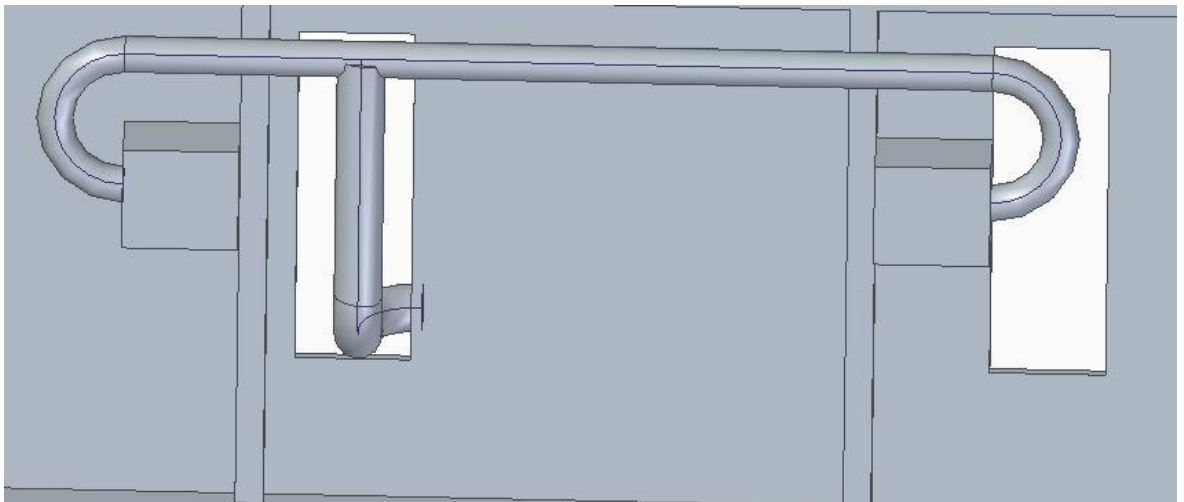
5.3 Rakenne

Pakokaasunpoistojärjestelmän letkukset yhdistetään runkokanavistoon. Runkokanavistoa pitkin pakokaasut kulkevat suodattimeen ja siitä kulkemaan puhallinta pitkin ulkoilmaan. Pakokaasuletkujen valinnassa pitää huomioida kuinka kovalla rasituksella työkonetta käytetään sisällä. Jos työkonetta rasitetaan kovasti sisällä pitää pakokaasuletkut valita niin, että ne kestävät todella kuumia pakokaasuja, esimer-

kiksi 800 astetta kestävä pakokaasuletku. Kun tehdään vain huoltokorjauksia, letkuksi sopii 300 astetta kestävä pakokaasuletku. Runkokanavisto rakennetaan kierresaumakanavistosta, jota käytetään ilmanvaihtoputkena rakennuksissa. Suodattimina käytetään edullista MFS-moduulisuodatinta ja FilterMax F 30 -suodatinta. Puumurien ja suurten työkoneiden puolella käytetään MFS-moduulisuodatinta, kun siellä on vain yksi pakokaasuletku ja tämä riittää hyvin suodattamaan hiukkaset. Traktorien huollon puolella taas suuren ilmamäärän vuoksi ei voida hyödyntää MFS-moduulisuodatinta, vaan tähän valitaan suurempi FilterMax F -suodatin. Nämä on helppo asentaa runkokanavistoon ja ovat helppoja huoltaa. Puhallin mitoitetaan oikeankokoiseksi ja asennetaan ulkopuolelle. Näin puhaltimen äänitaso varmistetaan mahdollisimman pieneksi. Myös runkokanavisto eristetään, ettei puhaltimen käynti resonoi runkokanavistoa pitkin. Pakokaasuletkuihin valitaan suulakkeiksi tavallinen kumisuu lake, jossa on sulkuläppä ja kiinnitys pakoputkeen lukkopihdillä.

5.4 Mitoitus

Vasemmalle puolelle traktorien huoltopaikkaan tulee kaksi pakokaasuletkusta yhdellä puhaltimella. Kuviossa 6 esitellään, kuinka runkokanavisto muotoutuisi.



Kuvio 6. Traktorien huoltopuolen runkokanavisto

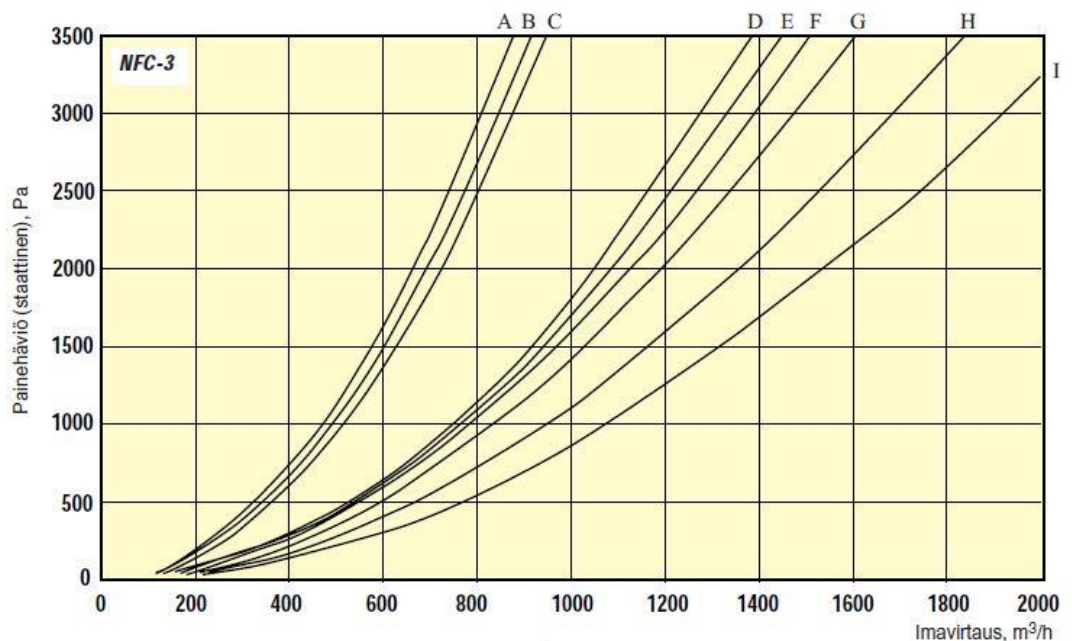
Tässä runkokanavistossa on 9 kappaletta 90 asteen käyriä. Runkokanava olisi kokonaisuudessaan 10 metriä pitkä. Taulukosta 1 valitaan, mihin tarkoitukseen pakokaasunpoisto tehdään. Pakokaasunpoistoletkustoja käytetään traktorien pakokaasunpoistoon ja tätä voidaan verrata kuorma-autojen pakokaasunpoistoon. Taulukon 1 mukaan ilmamäärän tarve on 1200 m³/h letkusta kohti ja letkun halkaisija pitää olla 150 mm. Tämä tarkoittaa 2400 m³/h kokonaisilmamäärää. Letkustojen pituus olisi 10 metriä, jolloin letkuilla olisi liikkuma varaa mennä kauemmaksi. Tähän tarkoitukseen löytyy Nederman pakokaasukelan malli 865, joka on jousipalautteinen. Sen letkuston halkaisija on 150 mm ja 10 metriä pitkä. Taulukosta 5 etsitään sopivan kokoinen ja pituinen letku. Sieltä löytyy juuri oikeanlainen letku kirjaimella G. Taulukko 6:ssa etsitään kirjain G-käyrästä, josta saadaan painehäviö, kun ilmanvirtaus on 1200 m³/h.

Taulukko 5. Letkun halkaisija ja pituus taulukko (TECA Oy 2002, 4).

NFC-3

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| A. 100 mm (4"), 10 m (33') | F. 125 mm (5"), 5 m (16') |
| B. 100 mm (4"), 7.5 m (25') | G. 150 mm (6"), 10 m (33') |
| C. 100 mm (4"), 5 m (16') | H. 150 mm (6"), 7.5 m (25') |
| D. 125 mm (5"), 10 m (33') | I. 150 mm (6"), 5 m (16') |
| E. 125 mm (5"), 7.5 m (25') | |

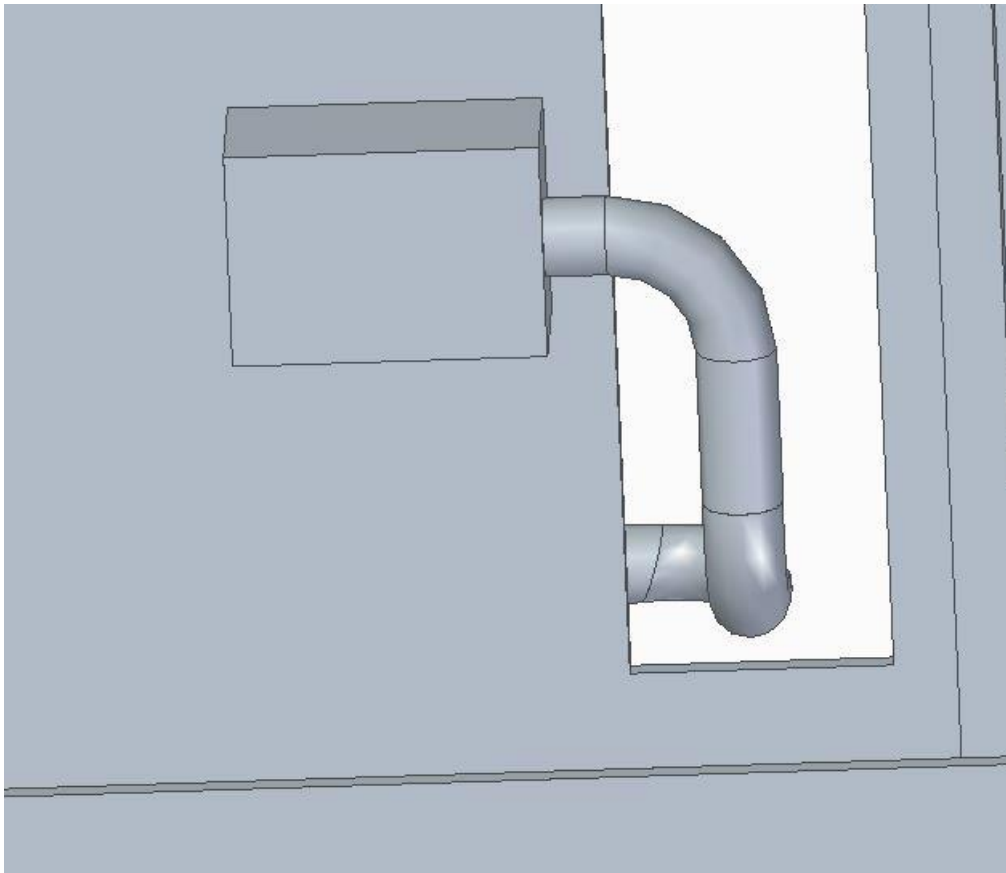
Taulukko 6. Painehäviötaulukko (TECA Oy 2002, 4).



Käyrästön mukaan painehäviö on 2000 Pa, kun ilmamäärä on 1200 m³/h. Laskelmassa käytetään vain yhden letkuston painehäviötä. Kun runkokanavan pituus on 10 metriä, jokaiselta metriltä lisätään 5 Pa painehäviötä eli yhteensä 50 Pa. 90-asteisissa käyrissä lisätään 15 Pa yhdestä käyrästä ja kokonaisuudessa käyriä on 9 kappaletta eli yhteensä 135 Pa. FilterMax F 30 -suodattimen painehäviö on 1200 Pa, 2400 m³/h ilmamäärällä. Nyt kun lasketaan nämä yhteen, saadaan vaadittava alipaine, joka on 3385 Pa. Nyt kun tiedetään kokonaisilmamäärä ja vaadittava alipaine, voidaan valita oikeankokoinen puhallin.

TECA Oy tarjoaa ensimmäiseksi puhallinvaihtoehdoksi Nedermanin mallia NCF 120/15, jonka nimellisteho on 7.5 kW. Tämä puhallin on liian suuri vain kahden pakokaasuletkun ilmamäärään ja kokonaispainehäviö jää liian pieneksi. Tammiholma Oy myy myös pakokaasunpoistopuhaltimia. Heiltä löytyi sopivan kokoinen puhallin. Plymovent TEV-765 -puhaltimen käyrästö täyttää nämä vaatimukset.

Hallin oikean puolen puimurien ja suurien työkoneiden huoltopaikalla pakokaasut poistetaan yhdellä pakokaasuletkustolla. Runkokanavistossa on oma suodatin ja puhallin. Runkokanavisto muotoutuu Kuvion 7 mukaisesti.



Kuvio 7. Puimurien ja isojen työkoneiden pakokaasupoiston runkokanavisto

Tässä on 90 asteen käyriä 3 kappaletta. Runkokanavan pituus kokonaisuudessa on 4 metriä. Taulukosta 1 katsotaan, mitä ajoneuvoryhmää huolletaan tällä paikalla. Traktoreita ja työkoneita verrataan hyötyajoneuvoihin ja kuorma-autoihin. Tämän vuoksi valitaan taulukon 1 mukaan viimeinen ryhmä, johon kuuluu hyötyajoneuvot, kuorma-autot, rekat ja julkisen liikenteen ajoneuvot. Näille maksimi ilmamääräksi on annettu $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ ja pakokaasuletkuston halkaisijaksi 150 mm. Letkuston pituus on 10 metriä, että olisi liikkumavaraa letkustolla puimureiden ja suurten työkoneiden takia. Puimureissa pakoputki löytyy takaosasta ja suurissa työkoneissa etuosasta.

Tähän käytetään samanlaista letkustoa kuin traktorien huolto paikalla. Nederman pakokaasukela NFC-3 on letku, joka kestää 300-asteista pakokaasua. Puimurin huolto paikalle ei tule muuta kuin tämä ainoa pakokaasuletkukela, joten sen kokonaisilmamäärä jää siten $1200 \text{ m}^3/\text{h}$. Taulukon 5 mukaan etsitään oikea letkun halkaisija ja pituus, jotka ovat 150 mm ja 10 metriä. Taulukosta 5 löytyy tällainen kirjaimella G. Taulukko 6 mukaan etsitään G-kirjain käyrästöstä ja tutkitaan, mitä 1200

m^3/h ilmavirtauksessa tulee painehäviötä. Kokonaisilmamäärällä $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ tuleva alipaine on 2000 Pa . Jokaista kanavan metriä kohden pitää lisätä 5 Pa . 4 metrin kanavistossa on yhteensä 20 Pa . 90 asteen käyrissä pitää lisätä 15 Pa jokaista käyrää kohden, joka on 3 käyrän kohdalla yhteensä 45 Pa . Puimurin huoltopaikalla käytetään MFS-moduulisuodatinta. Tämä MFS-moduulisuodattimen painehäviö on 550 Pa . Nyt kun lasketaan kaikki painehäviöt yhteen, saadaan kokonaispainehäviö, joka on 2615 Pa .

Kun tiedetään kokonaisilmamäärä ja kokonaispainehäviö, voidaan etsiä oikeanlainen puhallin. TECA Oy myy pakokaasunpoistoon tarkoitettuja puhaltimia. Heillä on tarjota kahta eri kokoluokkaa. Yksi näistä on Nederman N29 $1,5 \text{ kW}$:n moottorilla ja toinen on Nederman N29 $2,2 \text{ kW}$:n moottorilla. Nederman N29 $2,2 \text{ kW}$:n moottorilla riittää hyvin, koska kokonaispainehäviö tällä ilmamäärällä jää puhallinkäyrän alapuolelle. Nederman N29 $1,5 \text{ kW}$:n moottorilla jäisi liian pieneksi tähän tarkoitukseen.

5.5 Vaikutukset ilmanvaihtoon

Korjaamohallissa pitää tarkista korvausilman riittävyys. Kun korvausilmaa ei ole tarpeeksi, tilasta tulee alipaineinen. Alipaineinen ilmanvaihto imee ilmaa vääristä paikoista, joista voi tulla epäpuhtauksia lattian tai seinien välistä sisäilmaan. Radon on radioaktiivinen jalokaasu, jota ei haista ja eikä näe. Tämä tunkeutuu rakennusten sisäilmaan maaperästä. Radonpitoisuus asunnoissa on keskimäärin noin 120 becquerelia kuutiometrillä. Enimmäisarvo uusissa rakennuksissa sallituille radonpitoisuuksille on $200 \text{ bq}/\text{m}^3$. (Terveysilma, [Viitattu 6.5.2019].) Tilasta ei saa myöskään tehdä liian ylipaineista. Ylipaineisessa tilassa nurkkiin tiivistyy enemmän kosteutta. Korvausilman tasainen riittävyys saataisiin onnistumaan sähköisellä korvausilmaventtiilillä. Kun pakokaasunpoistojärjestelmä aktivoituisi, myös korvausilmaventtiilit aktivoituisivat. Kun korvausilmaventtiilit aktivoituisivat, ne avautuisivat enemmän ja siirtäisivät enemmän ilmaa. Tämä varmistaisi, ettei tilasta tulisi alipaineinen eikä ylipaineinen. Ilmanvaihdon säätämisessä pitää huomioida, että saadaan tilasta pienesti alipaineinen. Tällä saadaan ilmanvaihto toimimaan parhaiten ja terveellisemmäksi pitkälle aikavälille. Kun pakokaasunpoistoa käytetään paljon, hallissa vaihtuu suuria määriä ilmaa. Viileää ilmaa tulee halliin, ja tällöin hallia joudutaan lämmittämään

enemmän ja lämmityskustannukset nousevat. Viileän ilman voi huomata vedon tunteena. Myös runkokanavaan voitaisiin asentaa lämmöntalteenotto, joka ottaisi lämmön talteen pakokaasusta ja sillä lämmitettäisiin hallia. Tällä saataisiin lämmityskustannuksia taas pienemmäksi.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella toimiva pakokaasunpoistojärjestelmä Suupohjan Konehuolto Ay:lle. Tämä työ tehtiin Suupohjan Konehuolto Ay:n pyynnöstä, kun heillä ei ollut pakokaasunpoistoa suunniteltu nykyiseen korjaamohalliin. Pakokaasunpoistojärjestelmiä käytetään paljon korjaamoilla nykypäivänä. Haastavuutta työn laatimiseen toi kirjallisen materiaalin saatavuus ja tämä työ ei puhtaasti liity kone-tekniikkaan. Ilmanvaihtojärjestelmiin materiaalia löytyi kohtalaisesti ja näitä pystyttiin soveltamaan suunnittelutyössä.

Suunnitelma laadittiin Suupohjan Konehuolto Ay:n kanssa. Heillä oli idea, missä huoltopaikat sijaitsisivat traktoreille ja puimureille. Näitä tietoja hyödyntäen saatiin selville, missä pakokaasuletkustojen pitäisi olla. Kirjallisena suunnitteluoppaana toimi TECA Oy: Kohdeilmastointi ja työympäristön suunnitteluopas. Tämä toimi ratkaisevana tekijänä suunnitelman laatimisessa. Opas oli kattava, jotta suunnitelma saatiin päätökseen.

Opin työtä tehdessä paljon, mitä kaikkea pitää ottaa huomioon pakokaasunpoistojärjestelmän suunnittelussa. Mielestäni suunnittelu onnistui hyvin. Pakokaasunpoistojärjestelmän mitoitukseen olisi voinut olla enemmän tarkempaa tietoa, eikä pelkkiä taulukoista otettua tietoa. Mukavinta tässä työssä oli, että sai toteuttaa itse suunnittelun alusta loppuun asti. Kun pakokaasunpoistojärjestelmää asennetaan ja kokeillaan sen toimivuutta. Pitää olla varma, että korvausilma tulee tarpeeksi. Alipainen ilmanvaihto pilaa ilman laadun ja homehduttaa hallin. Suunnitelmaa olisi voinut jatkaa vielä, esimerkiksi pakokaasun lämmön talteenotolla ja lämmön siirtäminen hallin lämmitykseen.

LÄHTEET

- A 18.6.2003/577. Valtioneuvoston asetus työpaikkojen turvallisuus- ja terveysvaatimuksista.
- A 28.11.2017/848. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta.
- A 782/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta.
- A 1047/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistosta.
- Arpre Oy. Ei päiväystä. Korjaamosuunnittelu. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.5.2019]. Saatavana: <https://www.arpre.fi/palvelut>
- Autohuolto. Ei päiväystä. Korjaamokeskustelun ABC. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.4.2019]. Saatavana: <http://autonhuolto.fi/kasitteet/autokorjaamot/>
- Autohuolto. Ei päiväystä. Käsitteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.5.2019]. Saatavana: <http://autonhuolto.fi/kasitteet/>
- Autotieto. Ei päiväystä. Pakokaasujen koostumus dieselmoottorissa. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.3.2019]. Saatavana: http://www.autotieto.net/pakokaasukurssi/oppi-materiaalit/pakokaasujen_koostumus_diesel.htm
- DieselNet. Ei päiväystä. Emission Standards. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.4.2019]. Saatavana: <https://www.dieselnets.com/standards/>
- Dieselpakokaasujen tavoitetasoperustelumuihistio. 7.12.2015. [Verkkajulkaisu] Työterveyslaitos (TTL). [Viitattu 2.4.2019]. Saatavana: <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/12/dieselpakokaasut-tavoitetaso.pdf>
- Huhtamaa, P., Lehtinen, A., Rantala, J. & Setälä, R. 2007. Auto- ja Kuljetusalan erikoistumisoppi, Moottori. Helsinki: OTAVA.
- Ilmanvaihdon perusteet. 30.11.2017. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: The Finnish Association of HVAC Societies (FINVAC). [Viitattu 2.4.2019]. Saatavana: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B59DC42F9-7C8A-4CBE-817E-1E2DBB67E02E%7D/133706>
- Kohdeilmastoinnin ja työympäristön suunnitteluopas. 2008. [Verkkajulkaisu]. Vantaa: TECA Oy [Viitattu 16.4.2019] Saatavana: <http://www.e-julkaisu.fi/teca/suunnitteluopas/mobile.html#pid=179>

Koneluokitus. Ei päiväystä. Työkoneiden pakokaasupäästöjä määrää Stage-luokitus. [Verkkosivu]. [Viitattu 12.3.2019]. Saatavana: <http://www.koneluokitus.fi/paastot.php>

L 23.8.2002/738. Työturvallisuuslaki.

Liikenneturva. Ei päiväystä. Traktorit ja työkoneet. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.4.2019]. Saatavana: <https://www.liikenneturva.fi/fi/liikenteessa/traktorit-ja-tyokoneet>

Lämsä, A. 29.10.2015. Joiqu: Henkilöstö yrityksen tärkeimpänä voimavarana. [Blogi-kirjoitus]. [Viitattu 6.5.2019]. Saatavana: <http://www.joiqu.com/fi/blogi/henkilosto-yrityksen-tarkeimpana-voimavarana.html>

Nederman Jousipalauteinen pakokaasukela 865. 2002. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: TECA Oy. [Viitattu 29.4.2019]. Saatavana: <https://www.teca.fi/Download/27450/Nederman%20Jousipalautteinen%20pakokaasukela%20865.pdf>

Nummikoski, T. 2019 Yrittäjä. Suupohjan Konehuolto Ay. Haastattelu 29.4.2019.

Rantala, J. 2011. Auto- ja Kuljetusalan perusoppi, Moottori. Helsinki: OTAVA.

Sisäilmayhdistys ry. Ei päiväystä. Ilmanvaihdon perusteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.3.2019]. Saatavana: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>

Taloustutkimus. Ei päiväystä. Laadullinen tutkimus. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.5.2019]. Saatavana: <https://www.taloustutkimus.fi/tuotteet-ja-palvelut/laadullinen-tutkimus.html>

Terveysilma. Ei Päiväystä. Tietopankki. [Verkkosivu]. [Viitattu 6.5.2019]. Saatavana: <http://www.terveysilma.fi/fi/ilmanvaihto>

Tilastokeskus. Ei päiväystä. Käsitteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.5.2019]. Saatavana: https://www.stat.fi/meta/kas/kvanti_tutkimus.html

Tilastokeskus. Ei päiväystä. Käsitteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.4.2019]. Saatavana: <https://tilastokeskus.fi/meta/kas/yritys.html>

Työterveyslaitos (TTL). Ei päiväystä. Teollisuusilmastoinnin suunnittelu. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.4.2019]. Saatavana: <https://www.ttl.fi/tyoymparisto/sisaymparisto/toimiva-ilmanvaihto/teollisuusilmastointi/>

Ympäristöministeriö. 25.3.2019. Suomen rakentamismääräyskokoelma. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.4.2019]. Saatavana: https://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

LIITTEET

Liite 1. Stage-päästönormi

Liite 2. Tier-päästönormi

Liite 1. Stage-päästönormit

	Teho (kW)	Voimaantulo						
Stage 1			CO	HC	Nox	PM		
A	130-560	1999	5.0	1.3	9.2	0.54		
B	75-130	1999	5.0	1.3	9.2	0.70		
C	37-75	1999	6.5	1.3	9.2	0.85		
Stage 2			CO	HC	Nox	PM		
E	130-560	2002	3.5	1.0	6.0	0.2		
F	75-130	2003	5.0	1.0	6.0	0.3		
G	37-75	2004	5.0	1.3	7.0	0.4		
D	18-37	2001	5.5	1.5	8.0	0.8		
Stage 3A			CO	HC	HC+Nox	Nox	PM	
H	130-560	2006	3.5	-	4.0	-	0.2	
I	75-130	2007	5.0	-	4.0	-	0.3	
J	37-75	2008	5.0	-	4.7	-	0.4	
K	19-37	2007	5.5	-	7.5	-	0.6	
Stage 3B			CO	HC	HC+Nox	Nox	PM	
L	130-560	2011	3.5	0.19	-	2.0	0.025	
M	75-130	2012	5.0	0.19	-	3.3	0.025	
N	56-75	2012	5.0	0.19	-	3.3	0.025	
P	37-56	2013	5.0	-	4.7	-	0.025	
Stage 4			CO	HC	Nox	PM		
Q	130-560	2014	3.5	0.19	0.4	0.025		
R	56-130	2014	5.0	0.19	0.4	0.025		
Stage 5			CO	HC	HC+Nox	Nox	PM	PN
NRE-v/c-1	alle 8	2019	8.0	-	7.5 _c	-	0.4 _b	-
NRE-v/c-2	8-19	2019	6.6	-	7.5 _c	-	0.4	-
NRE-v/c-3	19-37	2019	5.0	-	4.7 _c	-	0.015	1x10 ¹²
NRE-v/c-4	37-56	2019	5.0	-	4.7 _c	-	0.015	1x10 ¹²
NRE-v/c-5	56-130	2020	5.0	0.19 _c	-	0.4	0.015	1x10 ¹²
NRE-v/c-6	130-560	2019	3.5	0.19 _c	-	0.4	0.015	1x10 ¹²
NRE-v/c-7	yli 560	2019	3.5	0.19 _c	-	3.5	0.045	-
b 0.60 Käsinkäynnistettäville, ilmajäähdytteisille suorasuihkumoottoreille								
c A= 1.10 Kaasumoottoreille								
d A= 6.00 Kaasumoottoreille								

Liite 2. Tier-päästönormit

	Teho (kW)	Voimaantulo	CO	HC	NMHC+Nox	Nox	PM
Tier 1	alle 8	2000	8.0	-	10.5	-	1.0
	8-19	2000	6.6	-	9.5	-	0.8
	19-37	1999	5.5	-	9.5	-	0.8
	37-75	1998	-	-	-	9.2	-
	75-130	1997	-	-	-	9.2	-
	130-225	1996	11.4	1.3	-	9.2	0.54
	225-450	1996	11.4	1.3	-	9.2	0.54
	450-560	1996	11.4	1.3	-	9.2	0.54
	yli 560	2000	11.4	1.3	-	9.2	0.54
			CO	HC	NMHC+Nox	Nox	PM
Tier 2	alle 8	2005	8.0	-	7.5	-	0.8
	8-19	2005	6.6	-	7.5	-	0.8
	19-37	2004	5.5	-	7.5	-	0.6
	37-75	2004	5.0	-	7.5	-	0.4
	75-130	2003	5.0	-	6.6	-	0.3
	130-225	2003	3.5	-	6.6	-	0.2
	225-450	2001	3.5	-	6.4	-	0.2
	450-560	2002	3.5	-	6.4	-	0.2
	yli 560	2006	3.5	-	6.4	-	0.2
			CO	HC	NMHC+Nox	Nox	PM
Tier 3	37-75	2008	5.0	-	4.7	-	*
	75-130	2007	5.0	-	4.0	-	*
	130-225	2006	3.5	-	4.0	-	*
	225-450	2006	3.5	-	4.0	-	*
	450-560	2006	3.5	-	4.0	-	*
	* -merkitty täytyy olla Tier 2 tasolla						
			CO	HC	NMHC+Nox	Nox	PM
Tier 4	alle 8	2008	8.0	-	7.5	-	0.4
	8-19	2008	6.6	-	7.5	-	0.4
	19-37	2008	5.5	-	7.5	-	0.3
		2013	5.5	-	4.7	-	0.03
	37-56	2008	5.0	-	4.7	-	0.3
		2013	5.0	-	4.7	-	0.03
	56-130	2012-2014	5.0	0.19	-	0.40	0.02
	130-560	2011-2014	3.5	0.19	-	0.40	0.02