

Aleksi Nyman

## **DYNAMOMETRITILAN ILMANVAIHDON HANKESUUNNITTELU**

# DYNAMOMETRITILAN ILMANVAIHDON HANKESUUNNITTELU

Alexi Nyman  
Opinnäytetyö  
Kevät 2023  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä(t): Aleksi Nyman

Opinnäytetyön nimi: Dynamometritilan ilmanvaihdon hankesuunnittelu

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Design of Ventilation for Dynamometer Room

Työn ohjaaja(t): Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 43 + 3 liitettä

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä alustavaa ilmanvaihdon suunnittelua tilaajan tulevaa dynamometritilaa varten. Työn tavoitteena oli tuottaa materiaalia, jota voitaisiin hyödyntää lopullisessa suunnitteluvaiheessa. Suunnittelussa pyrittiin kiinnittämään huomiota aiemmissa tiloissa ilmenneisiin ongelmiin.

Työssä tutustuttiin tilassa tarvittaviin komponentteihin sekä käsiteltiin näihin liittyviä asioita. Tämän jälkeen perehdyttiin eri vaatimuksiin, joita suunnittelussa tulee huomioida. Suunnitteluosiossa määritettiin tilan koko, laskettiin ilmamäärät ja suunniteltiin ilmanvaihdon toteutusta.

Työn tuloksena saatiin alustava suunnitelma, jonka pohjalta lopullista suunnittelua voidaan jatkaa. Alustavassa suunnittelussa tehtyjen linjauksien ja kerätyn tiedon tarkoituksena on helpottaa lopullista suunnitteluvaihetta ja auttaa pääsemään haluttuun lopputulokseen.

---

Asiasanat: dynamometri, ilmanvaihto, suunnittelu

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	DYNAMOMETRIT .....	7
2.1	Jaottelu kiinnitysmenetelmän mukaan.....	7
2.1.1	Moottoridynamometri .....	7
2.1.2	Alustadynamometri .....	8
2.1.3	Napadynamometri.....	10
2.2	Jaottelu jarrutyypin mukaan.....	11
2.2.1	Kitkajarru.....	12
2.2.2	Pyörrevirtajarru .....	12
2.2.3	Vesipyörrejarru.....	13
2.2.4	Sähköjarru.....	14
3	TILAN MUUT KOMPONENTIT .....	16
3.1	Jäähdytyspuhallin.....	16
3.2	Ilmanvaihto .....	19
3.3	Jäähdytyslaitteisto .....	20
4	ILMANVAIHDON VAATIMUKSET .....	21
4.1	Rakennuksen perusilmanvaihto .....	21
4.2	Pakokaasun poisto .....	21
4.3	Ulko- ja jäteilmalaitteiden sijoitus.....	23
4.4	Äänitekniset vaatimukset.....	26
5	SUUNNITELMA.....	28
5.1	Tilan koko .....	28
5.2	Ilmamäärät .....	28
5.3	Ilmanvaihdon toteutus .....	29
5.3.1	Tulopuoli .....	30
5.3.2	Poistopuoli .....	36
6	YHTEENVETO .....	40

LÄHTEET..... 41

# 1 JOHDANTO

Dynamometritilaa voidaan hyödyntää useisiin eri käyttötarkoituksiin. Se on tärkeä testaustila, jota käyttävät esimerkiksi autovalmistajat, kilpa-autoilijat sekä virittäjät. Dynamometritilan käyttö mahdollistaa ajoneuvojen suorituskyvyn sekä muiden ominaisuuksien testauksen ja mittauksen eri olosuhteissa.

Dynamometritilan käytössä erilaiseen testaukseen ja viritukseen on monia hyviä puolia. Ajoneuvon ollessa paikallaan siihen voidaan asentaa monia laitteita valvomaan ajoneuvon käyttäytymistä, erityisesti päästöjä ja polttoaineen kulutusta. Dynamometritilaa käytettäessä myös tietyt tieajoon liittyvät epävarmuudet pystytään välttämään, kuten arvaamattomat sääolosuhteet sekä muu liikenne. Myös testien tarkka toisto on helpompaa. (1, s. 91.)

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä dynamometritilan ilmanvaihdon suunnitteluun. Suunnittelua ohjaavia tekijöitä ovat aiemmat kokemukset, tilan tarkka käyttötarkoitus, mahdolliset laitevalinnat ja laitevalmistajien asettamat vaatimukset. Ilmanvaihto on tärkeässä roolissa tehonmittauksen kannalta, koska sillä on vaikutusta testattavien autojen suorituskykyyn sekä mittausta suorittavien henkilöiden työhön.

Työn tavoitteena on toteuttaa ilmanvaihdon alustavaa suunnittelua, jota työn tilaaja voi hyödyntää tulevan dynamometritilan lopullisessa suunnittelussa ja toteutuksessa. Työn toimeksiantajana on Fingermotors Oy, jonka pääasiallinen toimiala on tuotekehitys sekä tutkimus- ja suunnittelupalvelut moottoriajoneuvojen parissa.

## **2 DYNAMOMETRIT**

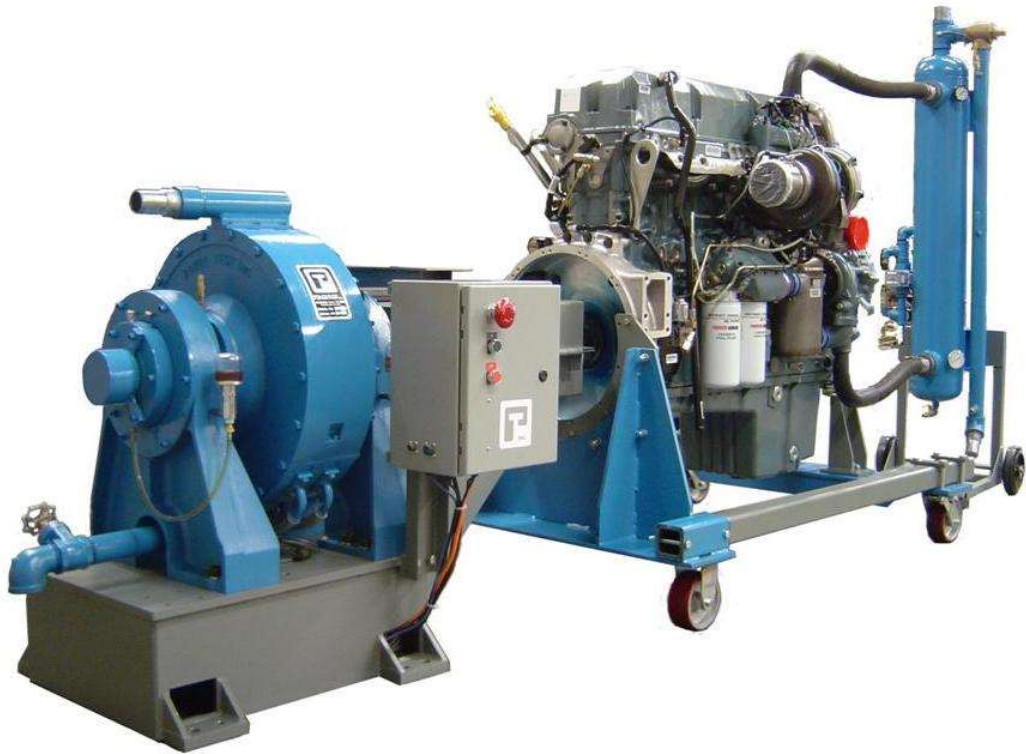
Dynamometrien avulla on mahdollista saada tarkkoja ja luotettavia tietoja, joiden avulla voidaan esimerkiksi optimoida moottorin suorituskykyä, diagnosoida mekaanisia ongelmia ja varmistaa päästö määräyksissä pysyminen. Tehonmittaukseen tarkoitettut dynamometrilaitteet mittaavat pääsääntöisesti vääntömomenttia ja kierrosnopeutta, joiden avulla pystytään laskemaan moottorista saatava teho. Nykyään käytävissä olevia mittauslaitteita on saatavilla useita erilaisia. Yleensä niiden jaottelu tapahtuu kiinnitysmenetelmän sekä jarrutyypin mukaan.

### **2.1 Jaottelu kiinnitysmenetelmän mukaan**

Kiinnitysmenetelmän mukaan dynamometrilaitteet voidaan jaotella moottori-, alusta- ja napadynamometreihin. Jokainen menetelmä sisältää omat etunsa ja lopullinen käyttötarkoitus on tärkein ohjaava tekijä sopivan menetelmän valinnassa.

#### **2.1.1 Moottoridynamometri**

Moottoridynamometrissä testataan ainoastaan moottoria. Moottori ja tarvittavat apulaitteet kuten polttoaine-, sähkö- ja jäähdytysjärjestelmät kiinnitetään alustaan tai penkkiin, johon tyypillisesti dynamometrikin on kiinnitetty (kuva 1). Moottorin kampiakseli on yhdistetty dynamometriin tai jarruun vetoakselin avulla. (2.)



*KUVA 1. Vesijarrulla varustettu moottoridynamometri (3)*

Moottoridynamometriä käytettäessä moottoria ja sen säätöjä voi testata hyvin tarkasti, kun muutuvia tekijöitä on vähemmän verrattuna alustadynamometriin. Koska moottoridynamometri mittaa vääntömomenttia suoraan, se tarjoaa tarkan tuloksen moottorin tuottaman tehon määrästä. Tämän vuoksi moottoridynamometri on tarkin tapa tehdä vertailuja eri osien välillä tai hienosäätää moottoria maksimaalisen tehon saamiseksi. Lisäksi moottoriin on helppo päästä käsiksi osien vaihtamisen, virityksen sekä vianmäärityksen kannalta. Moottoridynamometrin avulla moottorin suorituskyky voidaan varmistaa ennen ajoneuvon lopullista kasausta. Menetelmä on kuitenkin työläämpi ja hitaampi verrattuna alustadynamometrin käyttöön, mikä rajaa sen käyttöä. (4.)

### **2.1.2 Alustadynamometri**

Alustadynamometrissä testattavan ajoneuvon tehoa voidaan mitata vetäviltä pyörittä. Mitattaessa vetopyörät asetetaan kosketukseen ajorullan tai ajorullien kanssa siten, että renkaan kosketusalueen läpi siirtyvä teho voidaan mitata (kuva 2). Ajorulla vastustaa vetopyörien kohdistamaa voimaa

joko jarrun tai oman inertiansa avulla. Jarrulliset alustadynamometrit mittaavat yleensä vääntömomenttia sekä kierrosnopeutta, kun taas inertiadynamometrit ainoastaan kierrosnopeutta. Alustadynamometrejä on markkinoilla useita eri malleja ja ajoneuvojen tehoa voidaan mitata sekä kaksietä nelivetomalleista. (2, s. 31–32.)



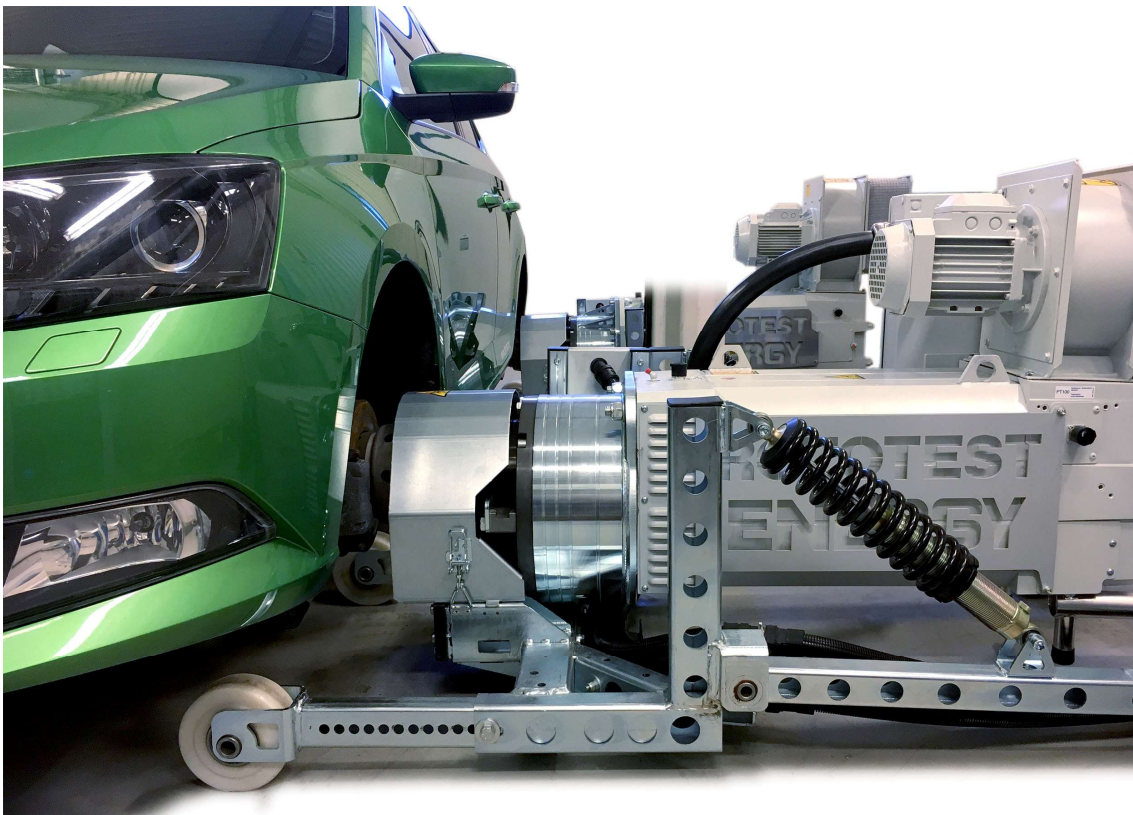
*KUVA 2. Ajourullinen alustadynamometri (5)*

Jarrullisissa dynamometreissä on käytössä jokin tyypillisistä jarrutyypeistä, kuten vesi-, kitka-, pyörrevirta- tai sähköjarru. Jarrun avulla tehoa voidaan mitata tasaisessa vauhdissa sekä kiihtyvyyttä voidaan pitää tasaisena. Jarrullisessa dynamometrissä on myös mahdollisuus esimerkiksi kilparatojen simulointiin, minkä avulla voidaan arvioida kestävyysominaisuuksia tai voimansiirto- ja jäähdytysratkaisuja. Jarrituksen aikana jarrut muuttavat liike-energian lämpöenergiaksi, joka siirtyy ympäröivään ilmaan tai nesteeseen. (2, s. 32.)

Inertiadynamometrissä tehoa ei voi mitata tasaisella nopeudella eikä sen avulla voi simuloida kilparadan kuormitusolosuhteita. Siinä käytetään kiinteää massaa, joka syntyy yhden tai kahden ajorullan avulla. Teho voidaan laskea mittaamalla aika, joka kuluu ajorullan kiihdyttämiseen. Tyypilliset mallit laskevat vääntömomentin kussakin datapisteessä ja olettavat voimansiirron häviön laskeakseen moottorin tehon ja vääntömomentin. (2, s. 33.)

### 2.1.3 Napadynamometri

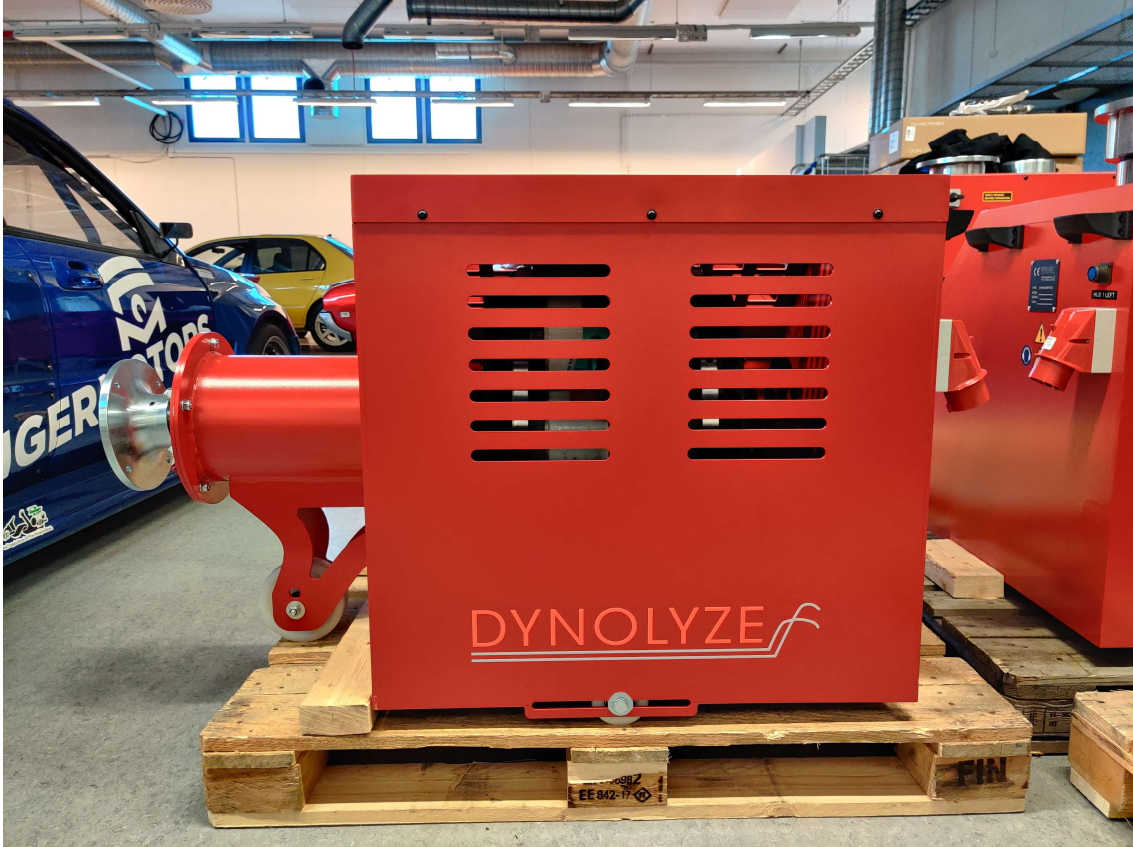
Napadynamometrissä ajoneuvon renkaat irrotetaan ja dynamometri kiinnitetään suoraan vetävien pyörien napoihin (kuva 3). Tämän menetelmän isoimpia hyötyjä on muun muassa se, että tässä menetelmässä pystytään välttämään renkasiin liittyvät ongelmat ja rajoitukset, joita ajorullallisessa dynamometritestauksessa esiintyy. Kun testattavien ajoneuvojen teho kasvaa riittävän isoksi, yleensä pito muodostuu ongelmaksi. Riskinä on myös renkaan rikkoutuminen tai kiinnityksen pettäminen. (6.)



KUVA 3. Auto napadynamometrissä (7)

Napadynamometrin muita hyötyjä ovat muun muassa laitteiston liikuteltavuus sekä pienemmän inertian myötä jarrujen ohjauksen tarkkuus. Sen avulla voidaan havaita herkemmin pienempiä muutoksia esimerkiksi moottorissa. (6.)

Työn tilaaja tulee käyttämään omassa testaustoiminnassaan napadynamometriä. Tilaajalla on hankittuna neljä kappaletta Dynolyzen keskikokoisia napadynamometrilaitteita (kuva 4). Dynamometrit on varustettu pyörrevirtajarruilla, ja ne ovat ilmajäähdytteisiä.



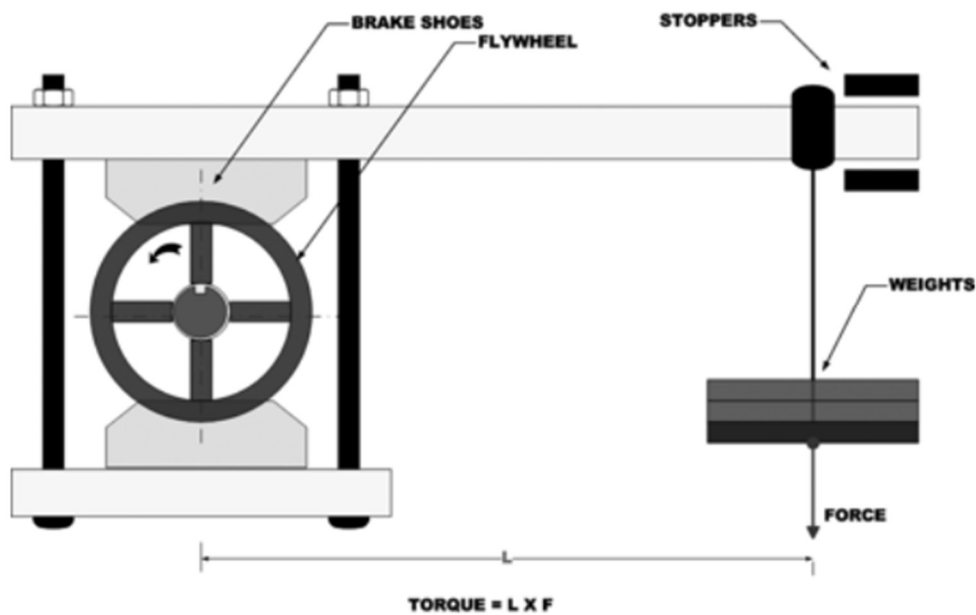
KUVA 4. Dynolyzen napadynamometri

## 2.2 Jaottelu jarrutyypin mukaan

Dynamometrien jaottelussa jarrutyypin mukaan ratkaisevana tekijänä on tekniikka, jonka avulla jarrutus tapahtuu. Yleisiä jarrutyyppejä ovat muun muassa kitka-, pyörrevirta-, vesipyörre- ja sähköjarru.

## 2.2.1 Kitkajarru

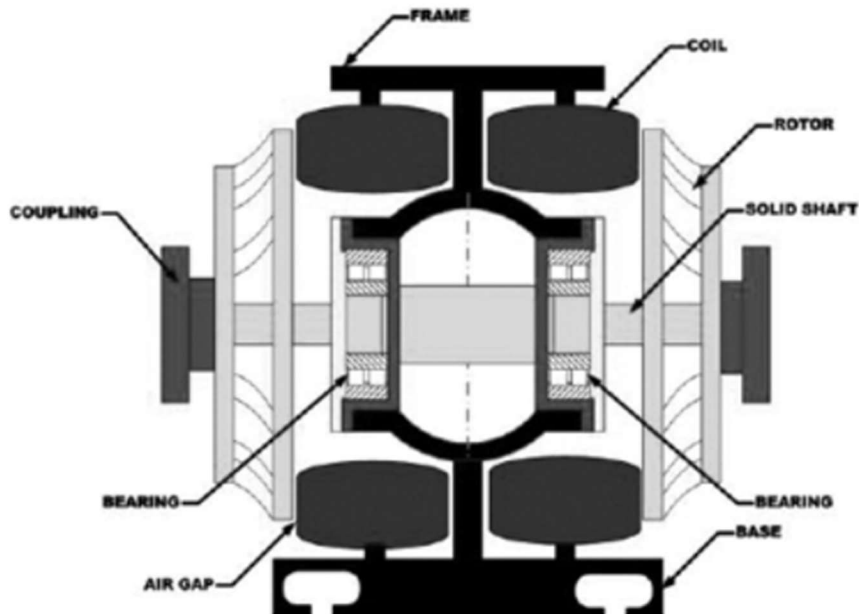
Varhaisimmissa dynamometrisovelluksissa jarruina on käytetty kitkajarruja. Tämän aikakauden tunnetuin jarrutyyppejä on Prony-jarru, joka kehitettiin 1820-luvulla. Ensimmäisissä malleissa käytettiin puisia jarrupaloja pyörivän laitteen, kuten veto-, vauhti- tai hihnapyörän ympärillä (kuva 5). Useita Prony-jarrun versioita on ollut olemassa 1800-luvun puolivälistä lähtien ja niitä on käytetty erilaisissa sovelluksissa. (2, s. 46.)



KUVA 5. Prony-jarru (8, s. 21)

## 2.2.2 Pyörrevirtajarru

Pyörrevirtajarru on ollut käytössä dynamometrisovelluksissa 1930-luvulta lähtien. Sen toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Laitteessa on magnetointikelat, jotka tuottavat magneettikentän laitteeseen syötetyn sähköä avulla. Jarrun akseliin on kiinnitetty roottorit, joihin indusoituu pyörrevirtoja roottorien pyöriessä magneettikentän läpi (kuva 6). Pyörrevirrat vastustavat akselin pyörimistä ja kuormitus kohdistuu testattavaan kappaleeseen tai moottoriin. (8, s. 70.)

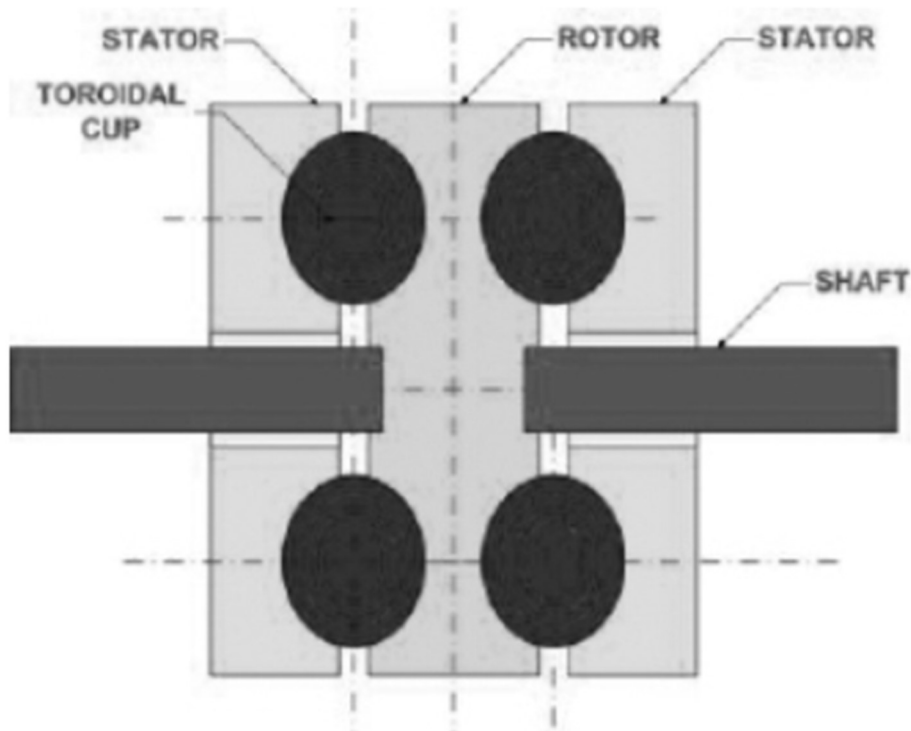


KUVA 6. Ilmajäähdytteinen pyörrevirtajarru (8, s. 82)

Pyörrevirtajarrullisia dynamometrejä on saatavilla sekä ilma- että vesijäähdytteisinä versioina. Ilmajäähdytteisten yksiköiden käyttö on yksinkertaisin vaihtoehto, koska ne siirtävät lämmön ympäröivään ilmaan eivätkä vaadi putkistoja. Ilmajäähdytteiset mallit ovat myös hankintahinnaltaan edullisempia. (2.)

### 2.2.3 Vesipyörrejarru

Vesipyörrejarrun rakenne koostuu staattorista ja roottorista, joissa on eräänlaisia taskuja, joissa vesi kiertää (kuva 7). Akselia pyöritettäessä muodostuu pyörteinen vesimassa, jonka synnyttämä vääntö vastustaa akselin pyörimistä sekä pyrkii liikuttamaan kotelointia. Voimaa voidaan mitata, kun kotelointi on kiinnitetty voimanmittausanturiin. (8, s. 47.)



KUVA 7. Vesipyörrejarrun rakenne (8, s. 49)

Vesipyörrejarrua käytetään usein sovelluksissa, joissa moottorin teho on 3–3000 hevosvoiman välillä. Se on suosituin jarrutyyppi korkean suorituskyvyn sovelluksissa. Sen etuina ovat myös kohtuullinen hinta ja hyvät ohjausominaisuudet. (2.)

#### 2.2.4 Sähköjarru

Sähköisissä dynamometrisovelluksissa yleisin piirre on voiman muuttaminen sähköiseksi energiaksi. Dynamometrin jarruna toimii vaihto- tai tasavirtamoottori. Sähköiset dynamometrit soveltuvat hyvin testausympäristöihin, joissa suoritettavat testit ovat pitkäkestoisia. (2, s. 53.)

Tasavirtadynamometri on regeneratiivinen dynamometri, jossa testattava voimanlähde käyttää tasavirtasähkömoottoria, joka toimii generaattorina. Generaattorin tuottama sähkövirta täytyy kuluttaa, jotta sille saadaan kuormaa. Testauksen aikana tuotettu sähkö voidaan syöttää kaupalliseen sähköverkkoon, jolloin dynamometrin käytöstä on mahdollista saada tuloja takaisin. Pienemmissä

dynamometrisovelluksissa voidaan käyttää niin sanottua kuormituspankkia, joka kohdistaa kuorman tasavirtadynamometriin. (8, s. 122–123.)

Vaihtovirtadynamometri on samankaltainen kuin tasavirtadynamometri, mutta se käyttää toiminnassaan vaihtovirtamoottoria. Vaihtovirtadynamometri on rakenteeltaan yksinkertaisempi ja kompaktimpi, minkä seurauksena ne ovat nykyisin suositumpia kuin tasavirtadynamometrit. (8, s. 144.)

### 3 TILAN MUUT KOMPONENTIT

Dynamometrin lisäksi tilaan tarvitaan muitakin testauksen kannalta tarpeellisia komponentteja. Tarkempi käyttötarkoitus määrittelee, mitä komponentteja tilaan olisi tarpeen suunnitella ja hankkia. Tehonmittaukseen tarkoitettussa tilassa tarvittavia pääkomponentteja dynamometrin lisäksi ovat ajoneuvon jäähdytyspuhallin sekä testaukseen soveltuva ilmanvaihto.

#### 3.1 Jäähdytyspuhallin

Ajoneuvon jäähdytyspuhallin on yleensä sijoitettuna suoraan ajoneuvon eteen (kuva 8). Sen tehtävänä on simuloida moottorin jäähdyttimen läpi ja auton alla kulkevaa jäähdyttävää ilmavirtaa ikään kuin se olisi tiellä. Ilmavirralle asetetut vaatimukset määrittelevät puhaltimen koon. Ajoneuvovalmistajien testeissä noudatetaan tarkempia ohjeita ja vaatimuksia, jotka on määritelty erikseen kullekin suoritettavalle testille. Ilmavirtoja käytetään jäähdyttämään ajoneuvon eri osia, jotka tuottavat lämpöä ajon aikana. Merkittävimmät lämmönlähteet ovat moottorin jäähdytin, moottori, pakoputket, jarrut ja renkaat. Yleensä puhallinta tarvitaan pääasiallisesti moottorin jäähdyttämistä varten, ja tällöin suhteellisen pieni puhallin riittää. (1, s. 93.)



*KUVA 8. Jäähdytyspuhallin (9)*

Jäähdytyspuhaltimia voi olla käytössä yksi tai useampia riippuen puhaltimien koosta, testattavasta ajoneuvosta sekä testauksen luonteesta. Joissakin autoissa on ilmanottoaukot myös auton kyljissä, mitkä mahdollistavat jäähdyttävän ilmavirtauksen jarruille sekä moottorille. Näihin ilmanottoaukkoihin voidaan kohdistaa omat puhaltimensa tarvittavan jäähdytyksen varmistamiseksi.

Työn tilaajalla on jo hankittuna testaukseen tarvittavat jäähdytyspuhaltimet. Ajoneuvon edessä tullaan käyttämään Dynolyzen jäähdytyspuhallinta (kuva 9), jonka ilmavirta on noin 18000 m<sup>3</sup>/h ja maksimi ilmannoisuus 140–170 km/h. Tämän lisäksi on hankittu kaksi kappaletta Dyno Blowing Systemsin P22-jäähdytyspuhaltimia (kuva 10), joiden ilmavirta on noin 4500 m<sup>3</sup>/h per puhallin ja maksimi ilmannoisuus 130 km/h.



KUVA 9. Dynolyzen jäähdytyspuhallin



KUVA 10. Dyno Blowing Systemsin jäähdytyspuhallin (10)

### 3.2 Ilmanvaihto

Kun ajoneuvoa testataan suljetussa ympäristössä, on välttämätöntä syöttää tilaan ilmaa palamisprosessia varten ja poistaa syntyneet pakokaasut. Ilmanvaihdon tulee olla riittävä, jotta tilassa on turvallista työskennellä. Ilmanvaihdolla on myös paljon vaikutusta ajoneuvon suorituskykyyn ja mitaustuloksiin.

Pakokaasujen poisto tapahtuu yleensä melkein suoraan pakoputken päästä, jolloin suurin osa pakokaasuista saadaan poistettua heti (kuva 11). Poistoputkea ei kuitenkaan tulisi liittää ajoneuvoon ilmatiiviillä liitännällä, sillä se vääristää mittausta. Suoran poistomenetelmän lisäksi tilassa tulisi olla jokin muu poistoreitti loppujen pakokaasujen varalle. Jos pakokaasut alkavat kiertää takaisin ilmavirtaan, josta saadaan palamisilmaa moottoriin, heikentää se sisäilman laatua ja ajoneuvon suorituskykyä.



*KUVA 11. Pakokaasun poistoputki (11)*

Tilaan tarvittava tuloilmajärjestelmä voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Tilan tarkempi käyttötarkoitus määrittelee vaatimukset tuloilmalle. Tiloissa, joissa suoritetaan pelkästään tehonmittausta,

tuloilmajärjestelmä voidaan toteuttaa yksinkertaisemmin. Jos tiloissa on tarkoitus suorittaa tarkempia testejä, joissa on erityisiä vaatimuksia tuloilman suhteen, täytyy se ottaa tuloilmajärjestelmän toteutuksessa huomioon.

### **3.3 Jäähdytyslaitteisto**

Ajoneuvojen testauksessa syntyvät lämpökuormat ovat yleensä suuria mutta hetkellisiä. Jos dyna-mometritilassa on tarkoituksena suorittaa pidempiaikaista kestävyystestausta, on todennäköisesti tarpeellista varustaa tila jäähdytyslaitteistolla. Lyhytaikaisessa tehonmittauksessa tämä ei kuitenkaan ole välttämätöntä.

## 4 ILMANVAIHDON VAATIMUKSET

Tässä luvussa käsitellään rakennuksen perusilmanvaihtoa, pakokaasun poistoa, ulko- ja jäteilmalaitteiden sijoitusta sekä äänitekniisiä vaatimuksia.

### 4.1 Rakennuksen perusilmanvaihto

Rakennukseen tulee suunnitella ja toteuttaa rakennusvalvonnan vaatima perusilmanvaihto. Perusilmanvaihdon tehtävänä on huolehtia rakennuksen ilmanvaihdosta silloin, kun dynamometritilassa ei suoriteta testausta. Tässä työssä ei kuitenkaan perehdytä tähän osa-alueeseen. Projektiin valittava LVI-suunnittelija tulee tekemään viralliset suunnitelmat, jotka sisältävät ilmanvaihtosuunnitelman.

### 4.2 Pakokaasun poisto

Pakokaasun poistojärjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon muun muassa pakokaasujen määrä sekä lämpötila. Pakokaasun määrään vaikuttavia tekijöitä ovat moottorin koko, kierrosnopeus ja lämpötila. Poistettavien pakokaasujen määrä voidaan laskea kaavan 1 avulla. (12, s. 49–50.)

$$V = V_h * n * 0,0363 * 1,2 * \frac{t}{273} * \lambda$$

KAAVA 1

jossa

$V$  on vaadittava imutilavuusvirta [ $m^3/h$ ]

$V_h$  on testattavan ajoneuvon moottorin koko [ $l$ ]

$n$  on moottorin kierrosnopeus [ $kierrosta/ minuutti$ ]

0,0363 on korjauskerroin

1,2 on huoneilman osuus [20 %]

$t$  on lämpötila (°C)

$\lambda$  on syöttökerroin, joka määräytyy turbon mukaan

Sijoittamalla työn tilaajalta saadut arvot edellä mainittuun kaavaan saadaan laskettua poistettavan pakokaasun määrä, jossa on myös mukana poistojärjestelmän huoneesta ottaman ilman osuus.

$$V = 5,2 * 8000 * 0,0363 * 1,2 * \frac{500}{273} * 3 = 9956,6 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Pakokaasun määrän lisäksi on hyvä kiinnittää huomiota myös sen lämpötilaan. Poistettavaan ilmapvirtaan voidaan sekoittaa viileämpää ilmaa sekaan, jotta sen lämpötila saadaan laskemaan. Tästä voidaan suorittaa esimerkkilasku kaavan 2 avulla.

$$T_3 = \frac{T_1 * q_{v1} + T_2 * q_{v2}}{q_{v1} + q_{v2}} \quad \text{KAAVA 2}$$

jossa

$T_3$  on sekoittuneen ilmapvirran lämpötila [°C]

$T_1$  on pakokaasun lämpötila [°C]

$T_2$  on sekoitettavan ilman lämpötila [°C]

$q_{v1}$  on pakokaasun tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$q_{v2}$  on sekoitettavan ilman tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

Kaava saadaan johdettua alla olevaan muotoon, jonka avulla voidaan laskea, kuinka paljon tarvitaan sekoitettavaa ilmaa, jotta sekoittuneen ilmapvirran lämpötila on halutulla tasolla.

$$q_{v2} = \frac{T_1 * q_{v1} - T_3 * q_{v1}}{T_3 - T_2}$$

Alla olevassa laskussa on sijoitettuna jo aiemmin laskettu pakokaasun tilavuusvirta, jonka lämpötilaksi on arvioitu 500 °C. Sekoitettavan ilmapvirran lämpötilana on käytetty 20 °C:ta ja sekoittuneen ilmapvirran arvona 300 °C:ta.

$$q_{v2} = \frac{500 \text{ °C} * 9956,6 \text{ m}^3/\text{h} - 300 \text{ °C} * 9956,6 \text{ m}^3/\text{h}}{300 \text{ °C} - 20 \text{ °C}} = 7111,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 4.3 Ulko- ja jäteilmalaitteiden sijoitus

Ulko- ja jäteilmalaitteiden sijoituksen suunnittelussa voidaan käyttää apuna Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osaa D2, joka käsittelee rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa. Sen sisältämät määräykset, taulukot ja kuvat toimivat hyvänä tukena suunnittelussa.

RakMK:n osassa D2 määrätään ulkoilmalaitteiden sijoittamisesta seuraavaa:

*”Ulkoilmalaitteet on sijoitettava siten, että rakennukseen tuleva ulkoilma on mahdollisimman puhdasta. Ulkoilmaa ei saa ottaa ilmanlaatua heikentävän rakenteen tai rakennusosan kautta.”*  
(13, 3.4.1.)

Määräyksen tueksi D2:sta löytyy myös taulukko 1. Siinä on määritelty ulkoilmalaitteiden sijoittamista varten vähimmäisetäisyyksiä esimerkiksi erilaisista epäpuhtauslähteistä.

TAULUKKO 1. Ulkoilmalaitteen sijoitus (13, s. 11)

Ulkoilmalaitteen etäisyys	Etäisyys m
<b>Jäteilmalaitteista</b>	kuva 2
Ulkoilman laatua pilaavista lähteistä kuten jätteiden säilytyspaikoista, autojen pysäköinti- ja lastauspaikoista sekä ajoluiskista, tuuletusviemäreiden ja savupiippujen aukoista, keskuspolynimurin ulospuhalluksesta ja jäähdytystorneista	8
Tuuletusviemärin ja savupiipun aukosta, jos se on yli 3 m ulkoilma-aukkoa korkeammalla	5
Maanpinnasta ja pihatasosta	2
Kattopinnasta	0,9
Etäisyys voi olla pienempi, jos ilmanvaihtoa haittaavan lumipeitteen muodostuminen estetään jyrkän harjakaton avulla, lumisuojaus tai muulla luotettavalla tavalla.	

Jäteilmalaitteiden osalta oleellisia ovat määräykset 3.4.2 ja 3.4.2.1:

”Jäteilma on johdettava ulos siten, ettei rakennukselle, sen käyttäjille tai ympäristölle aiheudu terveydellistä tai muuta haittaa” (13, 3.4.2).

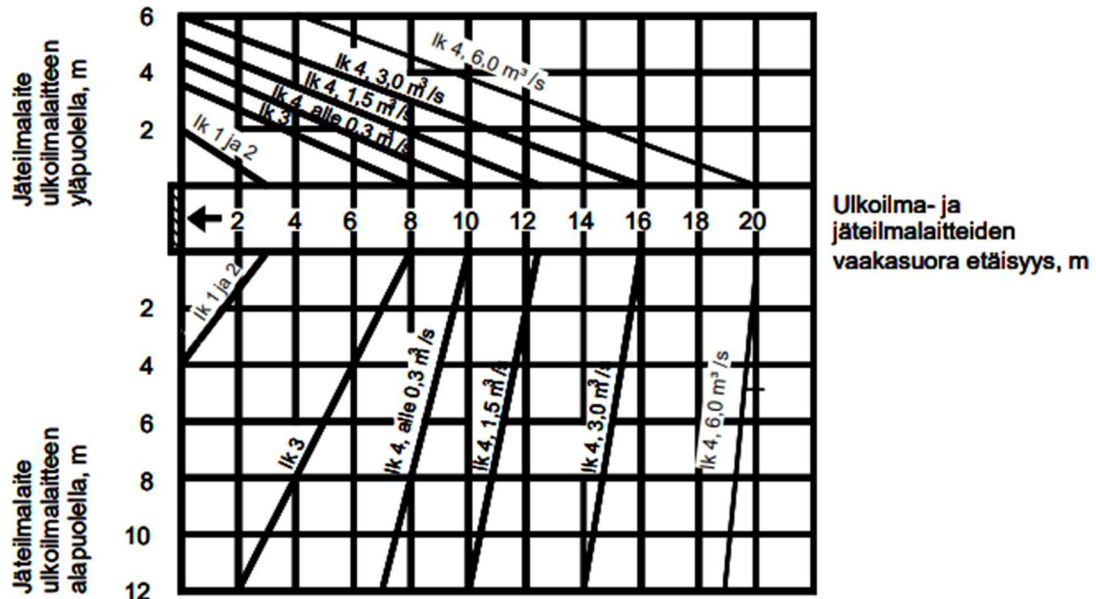
”Jäteilma johdetaan yleensä rakennuksen korkeimman osan vesikaton yläpuolelle ja puhallus suunnataan yleensä ylöspäin, jotta jäteilmän pääsy ulkoilmalaitteisiin, ikkunoihin ja oleskelualueille estetään” (13, 3.4.2.1).

Jäteilmalaitteita koskevien määräyksien tueksi D2:sta löytyy taulukko 2. Se sisältää jäteilmalaitteiden sijoitukseen liittyviä vähimmäisetäisyyksiä.

TAULUKKO 2. Jäteilmalaitteen sijoitus (13, s. 13)

Jäteilmalaitteen etäisyys:	Etäisyys, m			
	Poistoilmaluokka			
	1	2	3	4
Ulkoilmalaitteista	kuva 2	kuva 2	kuva 2	kuva 2
Alapuolella olevista avattavista ikkunoista	2	2	4	6
Samalla tasolla tai yläpuolella olevista avattavista ikkunoista tai oleskelutasoista	3	3	6	10
Maanpinnasta tai pihatasosta	2	2	3	5
Kattopinnasta Etäisyys voi olla pienempi, jos ilmanvaihtoa haittaavan lumipeitteen muodostuminen estetään jyrkän harjakaton avulla, lumisuojaus tai muulla luotettavalla tavalla.	0,9	0,9	0,9	0,9
Naapuritontista (ei koske pientaloja)	2	2	5	8
Tuuletusviemärin ja savupiipun aukosta,	1	1	1	1
Painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon jäteilmalaitteiden välinen etäisyys	1	1	1	1

Ulko- ja jäteilmalaitteiden väliseen vaakasuoraan etäisyyteen vaikuttaa muun muassa se, onko jäteilmalaitte sijoitettuna ulkoilmalaitteen ala- vai yläpuolelle (kuva 12). Toinen vaikuttava tekijä on poistoilmaluokka, jotka on määriteltä taulukossa 3.



KUVA 12. Ulko- ja jäteilmalaitteiden väliset etäisyydet (13, s. 13)

TAULUKKO 3. Poistoilmaluokitus (13, s. 12)

Poistoilma-luokka	Kuvaus ja käytön rajoitus	Tilaesimerkki
1	Poistoilma, joka sisältää vain vähän epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet ovat pääasiallisesti lähtöisin ihmisistä tai rakenteista.  Ilmaa soveltuu palautus- ja siirtoilmaksi.	Toimistotilat ja niiden yhteydessä olevat pienet varastotilat, yleisöpalvelutilat, opetustilat, eräät kokoontumistilat sekä liiketilat, joissa ei ole hajukuormitusta.
2	Poistoilma, joka sisältää jonkin verran epäpuhtauksia.  Ilmaa ei käytetä muiden tilojen palautusilmana, mutta se voidaan johtaa siirtoilmana esimerkiksi WC- ja pesutiloihin.	Asuinhuoneet, ruokailutilat, kahvikeittiöt, myymälät, toimistorakennusten varastot, pukuhuoneet sekä ravintolatilat, joissa tupakointi on kielletty
3	Poistoilma tiloista, joissa kosteus, prosessit, kemikaalit ja hajut oleellisesti huonontavat poistoilman laatua.  Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	WC- ja pesutilat, saunat, asuinhuoneistojen keittiöt, jakelu- ja opetuskeittiöt, piirustuksien kopiointitilat.
4	Poistoilma, joka sisältää pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia huomattavasti enemmän kuin sisäilman hyväksyttävät pitoisuudet.  Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	Ammattimaisessa käytössä olevat: -vetokaapit, grillit ja keittiöiden kohdepoistot, - pesuloiden likapyykkitilat. Autosuojat ja ajotunnelit, maalien ja liuottimien käsittelyhuoneet, elintarvikejätehuoneet, kemialliset laboratoriot, tupakointitilat sekä hotellitilat, joissa tupakointi on sallittu.

#### 4.4 Äänitekniset vaatimukset

Tilan suunnittelussa ja toteutuksessa tulee kiinnittää huomiota äänitekniisiin seikkoihin. Tila tullaan rakentamaan teollisuusalueelle, jossa sijaitsee toimistoja. Tehonmittauksen aikana syntyvä melu ei saa kantautua liian voimakkaana rakennuksen ulkopuolelle, mikä voisi häiritä alueen muita toimijoita. Lisäksi mahdollista meluhaittaa olisi hyvä tarkastella lähimmän asuinalueen suhteen.

Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista sanotaan seuraavaa:

*”Asumiseen käytettävillä alueilla, virkistysalueilla taajamissa ja taajamien välittömässä läheisyydessä sekä hoito- tai oppilaitoksia palvelevilla alueilla on ohjeena, että melutaso ei saa ylittää ulkona melun A-painotetun ekvivalenttitason ( $L_{Aeq}$ ) päiväohjearvoa (klo 7–22) 55 dB eikä yöohjearvoa (klo 22–7) 50 dB. Uusilla alueilla on melutason yöohjearvo kuitenkin 45 dB. Oppilaitoksia palvelevilla alueilla ei kuitenkaan sovelleta yöohjearvoja.” (14, § 2.)*

Keski-Uudenmaan ympäristölautakunnassa on käsitelty tapausta, jossa teollisuusrakennuksesta vuokratessa hallissa suoritettiin autojen viritystoimintaa, mikä häiritsi lähialueen asukkaita. Tapauksen käsittelyssä nojattiin valtioneuvoston päätöksen lisäksi oikeuskäytännössä vakiintuneesti käytettyyn raja-arvoon.

*”Moottoriurheiluratojen asuinalueille aiheuttaman viihtyisyyshaitan arvioinnin pohjana on oikeuskäytännössä vakiintuneesti käytetty 60 dB:n hetkellistä enimmäisäänitasoa ( $L_{AFmax}$ ). Tässä tapauksessa kysymys ei ole moottoriurheiluradasta, eikä myöskään varsinaisesta moottoriurheilutoiminnasta, mutta etenkin moottorin virityksen kaasutusääniä voi pitää samankaltaisena kuin moottoriurheilun ääniä.” (15.)*

Ulkona tapahtuvia äänitasojen mittauksia voidaan suorittaa sekä avoimessa paikassa että rakennusten lähellä. Mittaukset eivät kuitenkaan aina ole vertailukelpoisia keskenään, ja ne onkin pyrittävä tekemään ensisijaisesti avoimessa paikassa. (16.)

Avoimessa paikassa suoritettavassa mittauksessa tutkittavan alueen suuruus vaikuttaa mittauspisteiden lukumäärään. Kun kyseessä on pienempi alue, yksikin mittauspiste voi riittää. Suuremmilla alueilla mittauspisteitä tulee olla useampia. Mittauksissa täytyy kiinnittää huomiota melulähteen

suuntaavuuteen ja äänen etenemisen kannalta edullisiin olosuhteisiin, jotka aiheuttavat tutkittavan alueen tiettyihin osiin suuremmat äänitasot kuin muihin osiin. Avoimen paikan mittauksissa mitauskorkeutena suositellaan käytettäväksi 1,5:tä metriä maanpinnasta. (16.)

Tiheään rakennetuilla alueilla ja muissa paikoissa, missä avoimen paikan mittaukset eivät ole mahdollisia, mittaukset täytyy suorittaa rakennusten lähellä. Mittaus suositellaan suoritettavan 2 metrin etäisyydeltä rakennuksen julkisivusta. Suositus mitauskorkeudesta on 1,5 metriä maanpinnasta tai kerrostalojen kohdalla tarkasteltavan kerroksen lattiatasosta. (16.)

Kohteen virallisessa suunnitteluvaiheessa tarvitaan todennäköisesti akustiikkasuunnittelijaa LVI-suunnittelijan lisäksi, jotta voidaan varmistua riittävästä meluntorjunnasta.

## 5 SUUNNITELMA

Tässä työssä esiteltävä suunnitelma sisältää alustavaa suunnittelua, jota voidaan hyödyntää lopullisessa suunnitteluvaiheessa. Suunnitelmassa käydään läpi tilan suunnittelun kannalta tärkeimmät asiat sekä esitetään mahdollisia toteutusratkaisuja ja laitevalintoja.

### 5.1 Tilan koko

Tilan kokoon vaikuttavia tekijöitä on useita. Muun muassa testattavien ajoneuvojen koko ja tilan laitevalinnat ovat tärkeimpiä tekijöitä. Tilassa täytyy mahtua työskentelemään ongelmitta ja turvalisesti, mutta turhia neliöitä on hyvä välttää. Tilan kokoa kasvatettaessa ilmamäärät nousevat äkkiä suuriksi, mikä lisää ilmanvaihdon kustannuksia ja karsii toteutusmahdollisuuksia.

Tilaaajan tarpeiden pohjalta tilan kooksi valikoitui alustavassa suunnitteluvaiheessa 96 m<sup>2</sup>, joka kattaa pelkästään itse testaustilan. Testaustilan huonekorkeus olisi alustavasti 2,5 metriä. Tämän lisäksi rakennukseen on tulossa tarkastelutila, josta esimerkiksi asiakkaat voivat seurata testausta.

### 5.2 Ilmamäärät

Ilmanvaihdon mitoitukseen löytyy useita eri ohjeita muun muassa eri laitevalmistajilta sekä testaukseen soveltuvien huoneiden valmistajilta. Ohjeiden välillä on joitakin eroavaisuuksia, mutta useimmat niistä perustuvat samoihin mitoitusperiaatteisiin.

Useat valmistajat suosittelevat, että tilan ilma vaihdettaisiin 8–10 kertaa minuutissa. SuperFlow'n suositus on 10–12 kertaa minuutissa, kun huoneessa on erillinen pakokaasun poistojärjestelmä (17). Isoilla ilmanvaihtokertoimilla pyritään takaamaan riittävän ilmanvaihdon lisäksi tarvittavaa jäähdystehoja. Näillä mitoitusperiaatteilla mitoitettaessa huoneen koko täytyy pysyä kohtuullisen pienenä, sillä ilmamäärät kasvavat huoneen koon lisääntyessä äkkiä todella suuriksi. Ilmamääriä on laskettuna taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Ilmamäärät

Vaihtokerroin	Pituus	Leveys	Korkeus	Pinta-ala	Tilavuus	Ilmanvaihto	Ilmanvaihto	Ilmanvaihto
krt/min	m	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s
1	12	8	2,5	96	240	240	14400	4
2	12	8	2,5	96	240	480	28800	8
3	12	8	2,5	96	240	720	43200	12
4	12	8	2,5	96	240	960	57600	16,0
5	12	8	2,5	96	240	1200	72000	20,0
6	12	8	2,5	96	240	1440	86400	24,0
7	12	8	2,5	96	240	1680	100800	28,0
8	12	8	2,5	96	240	1920	115200	32,0
9	12	8	2,5	96	240	2160	129600	36,0
10	12	8	2,5	96	240	2400	144000	40,0

Tilan ollessa näin iso valmistajien suosituksiin yltäminen vaatii järjestelmältä jo melko paljon. Keskusteltuamme tilaajan kanssa alustavaa suunnittelua päätettiin lähteä viemään eteenpäin vaihtokertoimen 3 pohjalta. Päätöstä ohjaavia tekijöitä olivat muun muassa tilaajan aiemmat kokemukset vastaavista tiloista.

### 5.3 Ilmanvaihdon toteutus

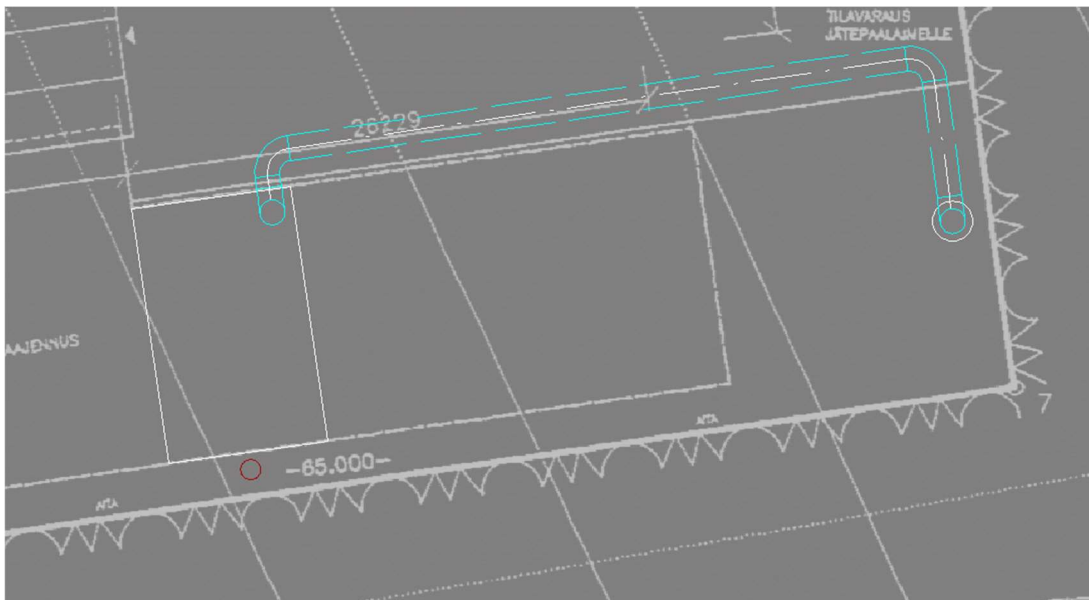
Ilmanvaihto on mahdollista toteuttaa usealla eri tavalla. Yksinkertaisin ratkaisu on sijoittaa poistopuolelle yksi tai useampi puhallin ja järjestää sopiva reitti korvausilmalle. Tätä ratkaisua käyttävät muun muassa useat huonevalmistajat. Tällä toteutusperiaatteella tila on testauksen aikana alipaineinen. Toinen vaihtoehto on sijoittaa myös tulo puolelle puhallin. Tulopuolen puhallinta voidaan käyttää samalla myös jäähdytyspuhaltimena, kun se on sijoitettuna siten, että se puhalttaa ajoneuvon etuosaan. Tällä ratkaisulla voidaan hieman säästää kustannuksissa, kun erillistä jäähdytyspuhallinta ei tarvitse hankkia.

Tässä kohteessa tuloilmapuoli varustetaan puhalltimella. Puhallinta ei kuitenkaan käytetä ajoneuvon jäähdytykseen, sillä tilaajalla on jo hankittuna jäähdytyspuhallimet tätä tarkoitusta varten. Poistopuolella voidaan myös hyödyntää yhtä jo valmiiksi hankittua puhallinta. Poistopuolen puhallinta tarkastellaan myöhemmin tässä luvussa.

Suunnittelussa ja toteutuksessa kannattaa kiinnittää erityisesti huomiota raitis- ja jäteilmalaitteiden sijoitteluun. Ilmavirtojen sekoittuminen pitäisi pystyä välttämään. Tämä onnistuu, kun laitteiden välillä on riittävästi korkeuseroa ja etäisyyttä.

### 5.3.1 Tulopuoli

Alustavassa suunnittelussa päädyttiin ratkaisuun, että raitisilma otetaan tontin reunasta (kuva 13). Tällä ratkaisulla saadaan reilusti etäisyyttä raitis- ja jäteilmalaitteiden välille. Myös raitisilman lämpötila kesällä on pienempi, kun se otetaan tontin reunasta nurmialueelta eikä asfalttipihan puolelta.



KUVA 13. Raitisilmakanava ja poistopiippu

Raitisilmakanavana voidaan käyttää esimerkiksi halkaisijaltaan 1250 mm:n muovikanavaa, joka kulkee maan alla. Maan alla kanava olisi piilossa eikä haittaisi muuta toimintaa. Kaivettaessa maahan kanava tulee ankkuroida huolellisesti, jotta se ei nouse maasta veden aiheuttaman nosteen vaikutuksesta. Huomioitava on myös kondenssiveden muodostuminen. Tätä ajatellen kanava sijoitettaisiin maahan siten, että siinä olisi kaatoa rakennuksen suuntaan. Rakennuksen puolella kondenssivesi päätyisi säiliöön tai kaivoon, josta se voitaisiin pumpata pois. Tontin reunaan sijoitettava

ilmanottoaukko täytyy varustaa suodattimilla sekä suojata siten, että kanavaan ei pääse ei-toivottuja asioita, kuten eläimiä. Taulukossa 5 on esitetty raitisilmakanavan pituus ja käyrien kappalemäärät.

TAULUKKO 5. IV-massalista

Taulukon otsikko	4/4/2023	klo. 11:22 AM				
Tuote	Tyyppi	Koko	Laatu	Eriste	Määrä	Yksikkö
Kanava		ø1250	UponorM		39,16	m
Käyrä		ø1250/90°	UponorM		4	kpl

Taulukoiden 4 ja 5 tietojen perusteella voidaan laskea kanavan painehäviöt. Kanavan kokonaispainehäviö saadaan laskemalla kitkahäviöt ja muotovastukset yhteen kaavan 3 avulla (18, s. 101).

$$\Delta p = \left( \lambda * \frac{L}{d} + \Sigma \zeta \right) * \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

KAAVA 3

jossa

$\Delta p$  on kanavaosalla syntyvä painehäviö [Pa]

$\lambda$  on kitkakerroin

$L$  on kanavan pituus [m]

$d$  on kanavan halkaisija [m]

$\Sigma \zeta$  on kertavastusten summa

$\rho$  on ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$v$  on ilman nopeus [m/s]

Painehäviön laskennassa tarvittava kitkakerroin voidaan määrittää kaavan 4 avulla (19, s. 198).

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3,7*d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right)^2} \quad \text{KAAVA 4}$$

jossa

$\varepsilon$  on pinnan karheus [m]

$d$  on kanavan halkaisija [m]

$Re$  on Reynoldsin luku [m]

Reynoldsin luvun laskennassa käytetään kaavaa 5.

$$Re = \frac{v*d}{\nu} \quad \text{KAAVA 5}$$

jossa

$\nu$  on ilman kinemaattinen viskositeetti [ $m^2/s$ ]

Virtausnopeus pyöreässä kanavassa saadaan laskettua kaavalla 6.

$$v = \frac{4*q_v}{\pi*d^2} \quad \text{KAAVA 6}$$

jossa

$q_v$  on ilman tilavuusvirta [ $m^3/s$ ]

Kun tarvittavat kaavat ja tiedot ovat selvillä, voidaan suorittaa varsinainen laskenta. Ensimmäisenä lasketaan virtausnopeus taulukosta 4 saatavalla tilavuusvirralla ja kanavan halkaisijalla 1250 mm.

$$v = \frac{4 * 12 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 1,25^2 \text{ m}^2} \approx 9,8 \text{ m/s}$$

Reynoldsin luvun laskennassa ilman kinemaattisena viskositeettina voidaan käyttää arvoa 0,00001511 m<sup>2</sup>/s, joka on ilman kinemaattinen viskositeetti 20 °C:n lämpötilassa.

$$Re = \frac{9,8 \text{ m/s} * 1,25 \text{ m}}{15,11 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \approx 810721$$

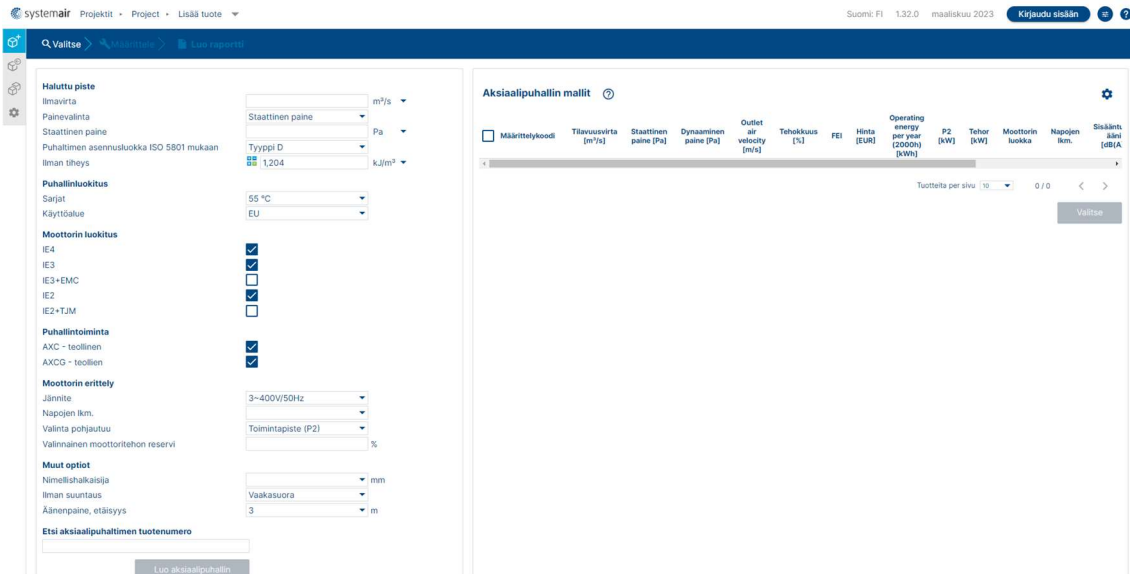
Kitkakertoimen laskentaan tarvitaan pinnan karheuden arvo, joka on muoviputkella 0,005 mm (20).

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{0,000005 \text{ m}}{3,7 * 1,25 \text{ m}} + \frac{5,74}{810721^{0,9}}\right)\right)^2} \approx 0,012$$

Painehäviön laskentaan tarvittava kanavapituus löytyy taulukosta 5. Kertavastusten summana käytetään arvoa 3,1, jossa on huomioitu kanaviston käyrät sekä imuaukon ja ulospuhallusaukon häviöt. Ilman tiheytenä käytetään arvoa 1,2 kg/m<sup>3</sup>, joka on ilman tiheys 20 °C:n lämpötilassa.

$$\Delta p = \left(0,012 * \frac{39,2 \text{ m}}{1,25 \text{ m}} + 3,1\right) * \frac{1}{2} * 1,2 \text{ kg/m}^3 * 9,8^2 \text{ m/s} \approx 200 \text{ Pa}$$

Kun kanavan painehäviö ja tilan tarvittava ilmavirta ovat tiedossa, voidaan tarkastella mahdollisia puhallinvaihtoehtoja. Painehäviön laskennassa ei kuitenkaan ole huomioitu suodattimien aiheuttama painehäviötä, mikä täytyy huomioida puhaltimen lopullisessa valinnassa. Puhaltimien tarkastelu onnistuu esimerkiksi valmistajien omilla valintaohjelmilla. Tässä työssä käytin apuna muun muassa Systemairin aksiaalipuhaltimille tarkoitettua valintaohjelmaa, joka löytyy heidän verkkosivuiltaan. Kuvassa 14 on valintaohjelman etusivu.



KUVA 14. Valintaohjelman etusivu (21)

Valintaohjelmaan täytyy syöttää hakukriteereiksi vähintään ilmavirta sekä staattinen- tai kokonaispaine (kuva 15). Hakua voi rajoittaa halutessaan erilaisilla lisäkriteereillä, joita ovat esimerkiksi puhallinluokitus, moottorin luokitus ja muut optiot, kuten puhaltimen nimellishalkaisijan valinta.

### Haluttu piste

Ilmavirta

12,00 m³/s

Painevalinta

Staattinen paine

Staatinnainen paine

250 Pa

Puhaltimen asennusluokka ISO 5801 mukaan

Tyyppi D

Ilman tiheys

1,204 kJ/m³

### Puhallinluokitus

Sarjat

55 °C

Käyttöalue

EU

### Moottorin luokitus

IE4



IE3



IE3+EMC



IE2



IE2+TJM



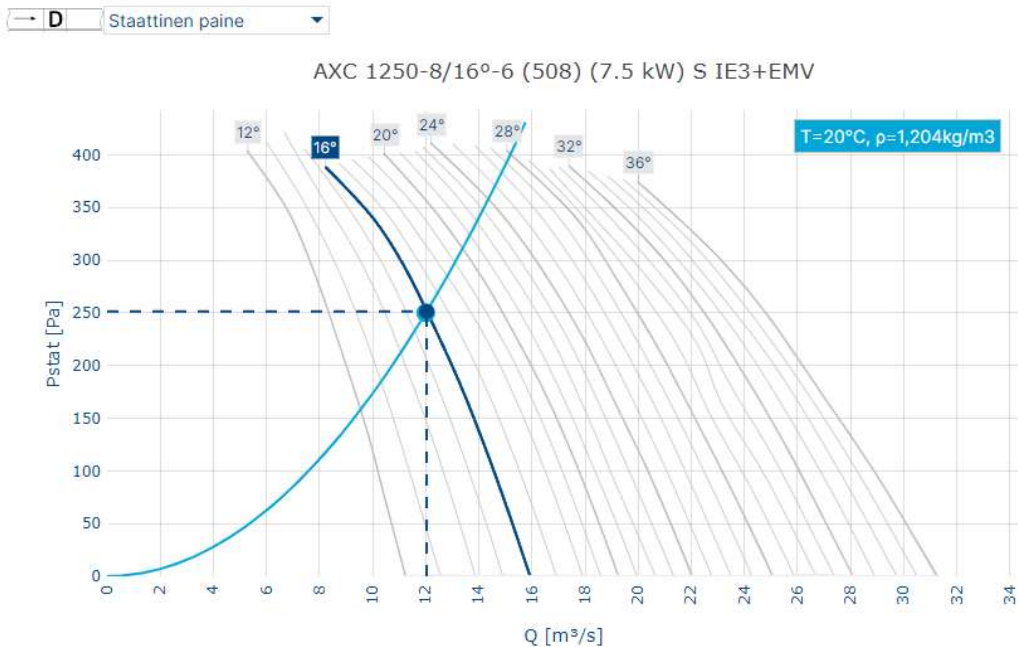
KUVA 15. Valintaohjelman hakukriteerit (21)

Haun suorittamisen jälkeen valintaohjelma näyttää kriteerit täyttävät puhallinmallit (kuva 16). Puhaltimien ominaisuudet ovat selkeästi vertailtavissa. Näkyvillä ovat myös puhaltimien budjettihinnot. Puhallinkäyriä pääsee tarkastelemaan puhallinmallia klikkaamalla (kuva 17).

Aksiaalipuhallin mallit ?

Määrittelykoodi	Tilavuusvirta [m³/s]	Staattinen paine [Pa]	Dynaaminen paine [Pa]	Outlet air velocity [m/s]	Tehokkuus [%]	FEI	Hinta [EUR]	Operating energy per year (2000h) [kWh]	P2 [kW]	Tehor [kW]
<input type="checkbox"/> AXC 1250-8/16°-6 (508) (7.5 kW) S IE3	12,03	251	58	9,8	62,6	1.3	7 192,00	13 321	5,93	7,5
<input type="checkbox"/> AXC 1250-8/16°-6 (508) (7.5 kW) S IE3+EMV	12,03	251	58	9,8	62,6	1.3	7 273,00	13 321	5,93	7,5
<input type="checkbox"/> AXC 710-9/27°-2 (254) (22 kW) S IE3	12,04	252	557	30,4	53,4	1.0	6 623,00	39 207	18,17	22
<input type="checkbox"/> AXC 710-9/27°-2 (254) (22 kW) S IE3+EMV	12,04	252	557	30,4	53,4	1.0	6 703,00	39 207	18,17	22
<input type="checkbox"/> AXC 800-10/18°-2 (304) (18.5 kW) S IE3	12,02	251	344	23,9	47,2	0.9	6 954,00	32 518	15,02	18,5
<input type="checkbox"/> AXC 800-10/18°-2 (304) (18.5 kW) S IE3+EMV	12,02	251	344	23,9	47,2	0.9	7 034,00	32 518	15,02	18,5
<input type="checkbox"/> AXC 900-10/24°-4-P (450) (11 kW) S IE3	12,06	252	216	18,9	68,2	1.3	4 241,00	18 010	8,23	11
<input type="checkbox"/> AXC 900-10/24°-4-P (450) (11 kW) S IE3+EMV	12,06	252	216	18,9	68,2	1.3	4 321,00	18 010	8,23	11
<input type="checkbox"/> AXC 900-5/31°-4-P (450) (11 kW) S IE3	11,96	248	213	18,8	62,2	1.2	4 180,00	19 381	8,86	11
<input type="checkbox"/> AXC 900-5/31°-4-P (450) (11 kW) S IE3+EMV	11,96	248	213	18,8	62,2	1.2	4 260,00	19 381	8,86	11

KUVA 16. Haun tulokset (21)



KUVA 17. Puhallinkäyrä (21)

Tuloilmapuoli voidaan hoitaa yhden puhaltimen avulla. Kun käytössä on erilliset jäähdytyspuhaltimet, tuloilmapuhallinta ei tarvitse käyttää jäähdytykseen. Tämän myötä puhallinta ei myöskään tarvitse sijoittaa suoraan ajoneuvon eteen, vaan riittää, että se on huoneen etuosassa. Puhaltimen tehtävänä on tällöin vain puhalltaa riittävästi ilmaa tilaan. Kuvan 17 puhallinmalli on esimerkki mahdollisesta puhallinvalinnasta. Kuvasta nähdään, että puhaltimen ominaiskäyrä on jyrkkä. Tästä on hyötyä esimerkiksi suodattimien likaantuessa. Kokonaispainehäviön ollessa 350 Pa puhallin tuottaa vielä noin 9,5 m<sup>3</sup>/s.

Tulopuolen kanavisto tulee varustaa pellillä tai säleiköllä, joka voidaan sulkea, kun tilassa ei suoriteta testausta. Etenkin talvella sulkumahdollisuus on tärkeä. Pellin tai säleikön avautumista ja sulkeutumista voitaisiin ohjata puhaltimen toiminnan mukaan.

### **5.3.2 Poistopuoli**

Poistopuolella voidaan hyödyntää tilaajalla jo valmiina oleva puhallin, jota käytetään tällä hetkellä pakokaasunpoistoon väliaikaisessa testaustilassa (kuva 18). Puhallin on Dyno Blowing Systemsin E30-radiaalipuhallin, jonka teho on 3 kW ja suurin ilmavirta 6200 m<sup>3</sup>/h (taulukko 6). Uudessa testaustilassa puhallinta voidaan hyödyntää esimerkiksi siten, että sen avulla hoidetaan poistoilmavirta auton alle. Tällä ratkaisulla saataisiin muun muassa pakoputkistossa syntyviä käryjä poistettua. Kun kyseessä on uusi rakennus, kanavisto voitaisiin sijoittaa lattian alle. Lattiaan tulisi ritilikkö, jonka kautta ilma poistettaisiin. Itse puhallin voitaisiin sijoittaa rakennuksen alaslaskettuun kattoon.



*KUVA 18. Poistopuhallin*

## TAULUKKO 6. Valmistajan radiaalipuhaltimet (22)

model	type	rpm [1/min]	power [kW]	voltage [V]	airflow [m <sup>3</sup> /h]	pressure [Pa]	air speed [km/h]	weight [kg]	inlet/outlet [mm]	price NET [€]
E30	standalone*	3000	3,0	3x400	6 200	2450	130	50	250	1 750
E55	standalone*	3000	5,5	3x400	8 050	2950	160	64	250	2 280
E75	standalone*	3000	7,5	3x400	10 800	3300	150	85	315	2 460

Poistopuolelle tarvitaan myös puhallin, joka hoitaa pakokaasujen poiston. Tähän tarkoitukseen voidaan hankkia esimerkiksi samalta valmistajalta tehokkaampi puhallin, kuten E75-malli, jonka teho on 7,5 kW ja suurin ilmavirta 10800 m<sup>3</sup>/h. Aiemmin suorittamassani laskussa poistettavan pakokaasun määräksi saatiin 9956,6 m<sup>3</sup>/h, minkä perusteella puhaltimen kapasiteetti riittäisi tähän tarkoitukseen. Tämäkin puhallin voitaisiin sijoittaa rakennuksen alaslaskettuun kattoon, josta voitaisiin vetää kanavavedot testaustilaan. Testaustilan takaseinälle voitaisiin tuoda esimerkiksi kaksi pystysuuntaista kierresaumakanavaa sopivalle korkeudelle. Tästä voitaisiin jatkaa esimerkiksi joustavalla pakokaasun poistoletkulla kohti pakoputkea.

Näiden lisäksi testaustilan takaosan kattoon voitaisiin sijoittaa rakennuksen katolle menevä kanava, johon olisi kytketty aksiaalipuhallin. Tämän avulla saataisiin poistettua huoneen yläosasta lämmintä ilmaa ja mahdolliset pakokaasujäämät sekä saataisiin tulo- ja poistopuolen ilmamäärät tasapainoon. Samalta valmistajalta löytyy myös tähän tarkoitukseen sopivia puhaltimia (taulukko 7).

## TAULUKKO 7. Valmistajan aksiaalipuhaltimet (23)

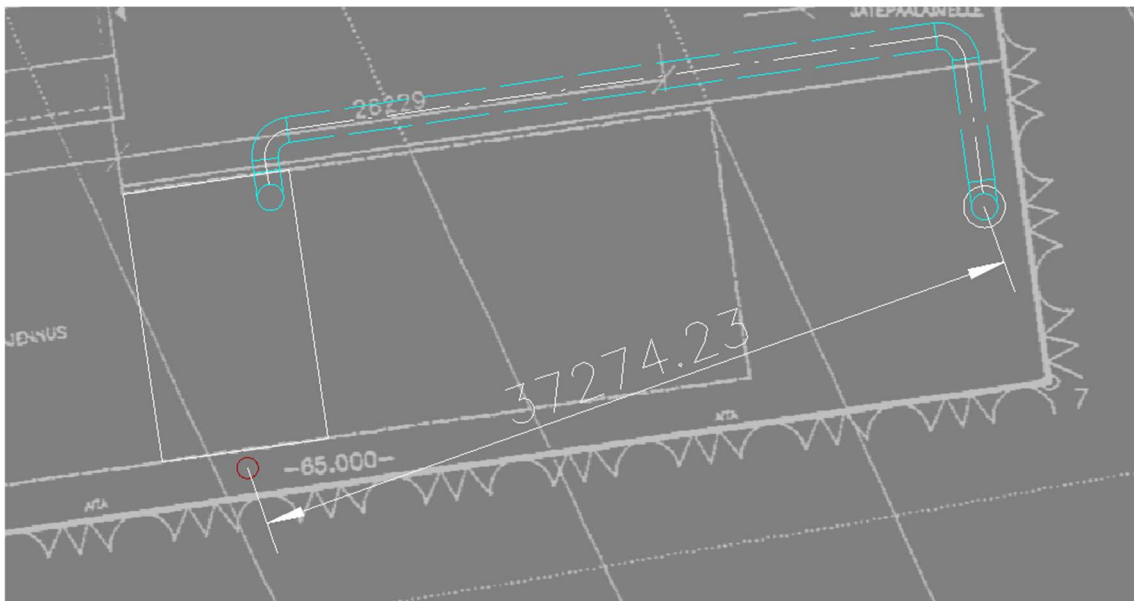
model	type	rpm [1/min]	power [kW]	voltage [V]	air volume [m <sup>3</sup> /h]	pressure [Pa]	weight [kg]	outlet [mm]	price NET [€]
V22	axial	1400	2,2	3x400	16 400	250	40	630	1 160
V30	axial	1400	3,0	3x400	21 600	350	61	710	1 340
V55	axial	1400	5,5	3x400	34 500	375	70	800	1 550

Jotta ilmamäärät olisivat laskennallisesti tasapainossa, poistopuolelle tarvittaisiin puhallin, mikä kykenisi 26200 m<sup>3</sup>/h suuruiseen ilmavirtaan. Tällöin puhaltimeksi voitaisiin esimerkiksi valita V55 malli, jonka teho on 5,5 kW ja suurin ilmavirta 34500 m<sup>3</sup>/h.

Jäteilman johtaminen ulos rakennuksesta voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Yksi vaihtoehto on, että jokaiselta puhaltimelta tuodaan oma jäteilmakanava suoraan ulos (liite 1). Toinen vaihtoehto on yhdistää useampi puhallin samaan jäteilmakanavaan, jolloin ulos vietäviä kanavia olisi vähemmän (liitteet 2–3).

Pakokaasujen kuumen lämpötilan takia tarkoitukseen voisi myös sopia teollinen poistopiippu, joita esimerkiksi Schiedel valmistaa. Heidän valikoimastaan löytyviä ICS-valmiskiippuja voidaan käyttää teollisissa sovelluksissa, joiden jatkuva käyttölämpötila on 450 °C. Piippuja on saatavilla sisähalkaisijaltaan 100–1000 mm koossa. (24.) Jos kaikki jäteilmat johdettaisiin piipun kautta, piipun kooksi voitaisiin valita esimerkiksi sisähalkaisijaltaan 1000 mm piippu.

Ilmanottoaukon ja poistopiipun välinen vaakasuora etäisyys on noin 37 m (kuva 21). Vaakasuoran etäisyyden ollessa näin iso ilmavirtojen sekoittuminen ei pitäisi muodostua ongelmaksi. Tämän myötä piipun ei tarvitse olla erityisen korkea, vaan se voidaan tuoda esimerkiksi hieman kattopin-  
nan yläpuolelle.



KUVA 21. Ilmanottoaukon ja poistopiipun välinen etäisyys

## 6 YHTEENVETO

Työn päätarkoituksena oli tutustua dynamometritilan ilmanvaihdon suunnitteluun ja tehdä alustavaa suunnittelua, jota työn tilaaja voisi hyödyntää lopullisessa suunnitteluvaiheessa. Alustavaan suunnitteluun kuului muun muassa tiedon ja materiaalin keräämistä, laskentaa sekä erilaisten toteutustapojen kartoitusta.

Dynamometritila tulee tässä tapauksessa uuteen rakennukseen, mikä mahdollistaa laajemmat toteutusmahdollisuudet. Tiettyjä kanavaosia voidaan esimerkiksi sijoittaa maahan ja puhaltimet voidaan sijoittaa alaslaskettuun kattoon, jolloin ne eivät vie tilaa testaustilasta. Suunnittelulla voidaan vaikuttaa merkittävästi siihen, että tilaa pystytään hyödyntämään tehokkaasti.

Työssä ilmeni hyvin, miksi dynamometritestaukseen tarkoitetut tilat pyritään pitämään kohtuullisen pieninä. Työssä käytetyillä mitoituskriteereillä ilmanvaihdon vaatimukset nousevat hyvin äkkiä, kun tilan koko kasvaa, ja tietyn pisteen jälkeen ilmamäärät eivät ole enää kovinkaan järkeviä. Tarkemmalla laskennalla pystyttäisiin suorittamaan tarkempia mitoituksia. Tässä työssä kuitenkin turvaututtiin pienempään ilmanvaihtokertoimeen aiempiin kokemuksiin nojaten.

## LÄHTEET

1. Galindo, E., Blanco, D., Brace, C., Chappell, E., & Burke, R. 2017. Chassis dynamometer testing: Addressing the challenges of new global legislation. Society of Automotive Engineers. Hakupäivä 30.1.2023. <https://doi.org/10.4271/R-452>.
2. Bettes, H. & Hancock, B. 2008. Dyno testing and tuning. CarTech Inc.
3. ProTech Service & Engineering. 2013. Dynamometer systems. Hakupäivä 1.2.2023. <https://www.protech-service-engineering.nl/>.
4. IQS Directory. 2023. Engine dynamometer. Hakupäivä 27.2.2023. <https://www.iqsdirectory.com/articles/dynamometers/engine-dynamometer.html>.
5. Darkside developments. 2023. Dynos – What to know. Hakupäivä 1.2.2023. <https://www.dark-sidedevelopments.co.uk/Blog/dynos-what-to-know/>.
6. Dynolyze. 2023. Hub dyno vs roller dyno. Hakupäivä 20.2.2023. <https://www.dynolyze.eu/articles/hub-dyno-vs-roller-dyno/>.
7. Rototest. 2023. Hakupäivä 20.2.2023. <https://rototest.com/>.
8. Killedar, J. 2012. Dynamometer: Theory and Application to Engine Testing. Xlibris Corporation.
9. AIP Automotive. 2023. Hakupäivä 13.2.2023. <https://www.aip-automotive.de/en/>.
10. Dyno Blowing Systems. 2023. Direct Cooling Fans. Hakupäivä 5.4.2023. <https://dynoblowingsystems.eu/directional-cooling-fans-en>.
11. Fume-A-Vent. 2023. Hakupäivä 14.2.2023. <https://www.fumeavent.com/>.

12. Maha. Tuoteinfokortti. Original Operating Instructions. Hakupäivä 21.3.2023. [https://www.maha.de/restriction/check-asset/support\\_documents/dokumente/Betriebsanleitung/04%20Leistungsmesstechnik/BA053101-en.pdf? locale=en](https://www.maha.de/restriction/check-asset/support_documents/dokumente/Betriebsanleitung/04%20Leistungsmesstechnik/BA053101-en.pdf? locale=en).
13. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Hakupäivä 21.3.2023. [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf).
14. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 993/1992. Hakupäivä 22.3.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>.
15. Keski-Uudenmaan ympäristölautakunta. Kokous 10.3.2020. Kirjallinen vireillepano autoharrastustoiminnan melusta. Hakupäivä 22.3.2023. [https://tuusula.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Keski-Uudenmaan\\_ympaumlistoumlautakunta/Kokous\\_1032020/Kirjallinen\\_vireillepano\\_autoharrastusto\(21728\)](https://tuusula.cloudnc.fi/fi-FI/Toimielimet/Keski-Uudenmaan_ympaumlistoumlautakunta/Kokous_1032020/Kirjallinen_vireillepano_autoharrastusto(21728)).
16. Ympäristöministeriö. 1995. Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston ohje 1/1995. Hakupäivä 23.3.2023. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42692/Ymp%C3%A4rist%C3%B6melun%20mittaaminen.pdf?sequence=1>.
17. Superflow. Tuoteinfokortti. Superflow AutoDyn AD-30 AWD Chassis Dynamometer pit installation. Hakupäivä 24.3.2023. [https://superflow.com/wp-content/themes/SuperFlow2020/downloads/AD-30\\_AWD\\_Pit\\_Installation\\_Rev3-20.pdf](https://superflow.com/wp-content/themes/SuperFlow2020/downloads/AD-30_AWD_Pit_Installation_Rev3-20.pdf).
18. Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
19. Miller, D. S. 1978. Internal Flow Systems. BHRA.
20. Heinonen, J., & Sandberg, E. 2016. Ilmastointitekniikka: Osa 2, Ilmastointilaitoksen mitoitus : opastusta sisäilmaston, ilmastointilaitoksen järjestelmien, tilailmastoinnin, kanavistojen, koneiden sekä jäähdytys- ja rakennusautomaatiojärjestelmien suunnitteluun ja mitoitukseen (Toinen painos). Talotekniikka-Julkaisut Oy.

21. Systemair. 2023. Mitoitusohjelmat. Hakupäivä 5.4.2023. <https://www.systemair.com/fi/tuki/mitoitusohjelmat/mitoitusohjelmat/>.
22. Dyno Blowing Systems. 2023. Exhaust Fans. Hakupäivä 5.4.2023. <https://dynoblowingsystems.eu/exhasut-fans-en>.
23. Dyno Blowing Systems. 2023. Extraction Axial Fans. Hakupäivä 5.4.2023. <https://dynoblowingsystems.eu/extraction-fans-en>.
24. Schiedel. 2023. Schiedel ICS. Hakupäivä 18.4.2023. <https://www.schiedel.com/fi/valmispiiput/teollisuuspiiput/ics-valmispiippu/>.

