



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

MOBIILIMURSKAIMEN JÄÄHDYTIMMELUN VÄHENTÄMINEN

Valtteri Ratilainen

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2019
Konetekniikan koulutus
Koneautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutus
Koneautomaatio

RATILAINEN, VALTTERI:
Mobiilimurskaimen jäähdytinmelun vähentäminen

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Maaliskuu 2019

Työssä suunniteltiin Metso Lokotrack Urban LT106 -mobiilimurskaimen jäähdytys uudelleen. Työ toteutettiin Metso Minerals Oy:n Tampereen toimipisteessä. Työn tavoite oli suunnitella mahdollisimman hiljainen ja kustannustehokas jäähdytysratkaisu. Hiljaisempi työkone auttaa asiakasta lupien saamisessa kivenmurskaimen toiminnalle asutuskeskuksissa, sekä se pienentää koneen ympärillä olevaa varoaluetta, jossa tulee käyttää kuulosuojaimia.

Eri vaihtoehtojen mallintamisen sekä laskemisen jälkeen työssä päädyttiin ratkaisuun, jossa nykyisen jäähdyttimen jäähdytys jaetaan kolmelle tuulettimelle. Nämä olivat yksi isompi tuuletin kolmelle jäähdytinkennolle ja kaksi pienempää tuuletinta joko hydraulikan tai ahtoilman kennolle. Työn aikana ei tehty päätöstä, kumpi näistä toteutettaisiin tulevaisuudessa. Vaihtoehtoista matalimman melutason lisäksi tällä toteutustavalla saadaan suurimmat taloudelliset hyödyt, koska moottorimoduulin ulkokuorta eikä alkuperäisiä jäähdyttimen kennoja tarvitse muokata.

Ilman käytännössä tehtyjä melumittauksia ei voida sanoa, onko ratkaisu lopulta niin kannattava, että se otetaan tuotantoon. Tutkimusten perusteella voidaan kuitenkin olettaa tämän toteutustavan vähentävän melua noin 10 desibelillä. Jatkokehitystä voidaan tehdä optimoimalla jäähdytintä edelleen esimerkiksi muokkaamalla tuulettimen lapoja tai tuulitunnelia.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

RATILAINEN, VALTTERI:

Reduction of Fan Noise Produced by a Mobile Crushing Plant

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 3 pages

March 2019

The purpose of this work was to redesign the cooling for the Metso Lokotrack Urban LT106 mobile crushing plant. This work took place at Metso Minerals Oy in Tampere. The aim was to find the most quiet and cost-effective design as possible. A quieter machine helps the customer to get environmental permissions for crushing in urban centers. It also reduces the size of the area around the machine where hearing protection is required.

After modeling and calculating different options, it was decided that the best way is to split the current cooler to be cooled with three fans: one bigger fan to cool three of the radiator cores and two smaller ones to cool either the aftercooler core or the hydraulics core. In the time frame of this work, it was not decided which solution would be used in the future. In comparison to other options, this design was the quietest and the most profitable option as it does not require any modifications to the cover of the motor module, or to the matrixes of the original cooler.

Without actual sound level measurements, it is impossible to say if the solution is profitable enough to warrant production. According to the calculations it can be presumed though that this design will lower the sound pressure by nearly 10 decibels. Further development on this cooler can be done by re-designing the fan house or the blades of the fan.

Key words: sound, cooler, Metso Minerals, Lokotrack

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	YRITYS.....	6
2.1	Metso.....	6
2.2	Metso Minerals Oy	7
3	LÄHTÖKOHDAT.....	9
3.1	Metso Lokotrack LT	9
3.1.1	Ongelma	10
3.1.2	Nykyinen jäähdytin	12
3.2	Selvitys.....	13
4	OHJELMISTOT	17
4.1	Siemens NX	17
4.2	Multi-Wing Optimiser 10	17
5	MALLINTAMINEN	20
5.1	Ahtoilman erottaminen jäähdyttimestä	20
5.2	Hydrauliikan erottaminen jäähdyttimestä	23
5.3	Ahtoilman ja hydrauliikan erottaminen jäähdyttimestä	24
6	LASKELMAT	27
7	TOTEUTUKSEN VALINTA	32
7.1	Jäähdyttimen rakenteen valinta	32
7.2	Jäähdytettävän komponentin valinta	33
7.3	Tarvittavat muutokset	36
7.4	Mahdollinen optimointi	36
8	POHDINTA.....	38
	LÄHTEET.....	39
	LIITTEET	40
	Liite 1. Lokotrack Urban LT106 -esite.....	40
	Liite 2. Multi-Wing EPS -esite	41

1 JOHDANTO

Työn tarkoitus oli löytää ja vertailla Metso Minerals Oy:n LT106 mobiilimurskaimen moottorimoduulin jäähdytyksen meluhallinnan kannalta parempia vaihtoehtoja. Työ toteutettiin Metson Tampereen toimipisteessä. Mobiilimurskain on kivenmurskain, joka on asennettu teloille oman voimayksikön ja liukuhihnojen kanssa. Näin kivenmurskaimesta saadaan huomattavasti helposti liikuteltavampi esimerkiksi louhosympäristössä.

Tämän työn tavoitteena oli pienentää moottorimoduulin jäähdytysjärjestelmän aiheuttamaa melua. Jäähdyttimen pyörimisnopeutta alkuperäisessä toteutustavassa ohjasivat koneen jäähdytettävät komponentit oman jäähdytystarpeensa mukaan. Jäähdyttimessä oli jäähdytinkennot ahtoilmalle, moottorin vesijäähdytykselle, polttoaineelle eli dieselille, sekä hydraulikkaöljylle. Näistä kennoista ahtoilmakkenno oli se, jonka takia jäähdytinnosti useimmiten kierroksiaan ja näin tuotti melua. Tästä syystä työssä tutkittiin, että onko ahtoilmakkenno mahdollista erottaa omaksi jäähdyttimekseen tai voiko sitä jäähdyttää erilisillä tuulettimilla. Vaihtoehtoisesti myös hydraulikkakennon jäähdytysmahdollisuuksiin tutustuttiin sen vaatiman suuren ilman tilavuusvirran takia.

Toteutustapojen mahdollisille kennoille laskettiin tuulettimia Multi-Wing Optimiser ohjelmiston avulla. Kaikkien vaihtoehtojen melutasot laskettiin, sekä 3D-mallinnettiin. Tavoitteena oli löytää mahdollisimman hiljainen ratkaisu mahdollisimman pienillä muutoksilla nykyiseen toteutukseen.

2 YRITYS

2.1 Metso

Metso on suomalainen kaivos-, kivenmurskaus- ja kierrätyslaitteita sekä venttiilejä ja pumppuja valmistava yritys. Metso syntyi vuonna 1999, kun Valmet Oyj ja Rauma Oyj sulautettiin. Yhdessä nämä yritykset työllistivät melkein 23 500 henkilöä ja myyntejä oli 61 miljoonan euron edestä. Nykypäivänä Metso toimii yli 50 maassa ja työllistää yli 12 000 henkilöä. Yrityksen 2,7 miljardin liikevaihdon jakauma vuonna 2017 eri teollisuusalojen välillä on eriteltyä alla olevassa kuviossa 1 (Metso vuosiraportti 2017, 6). Tästä liikevaihdosta Metson tarjoamat palvelut käsittivät vuonna 2017 yli 65 prosenttia.



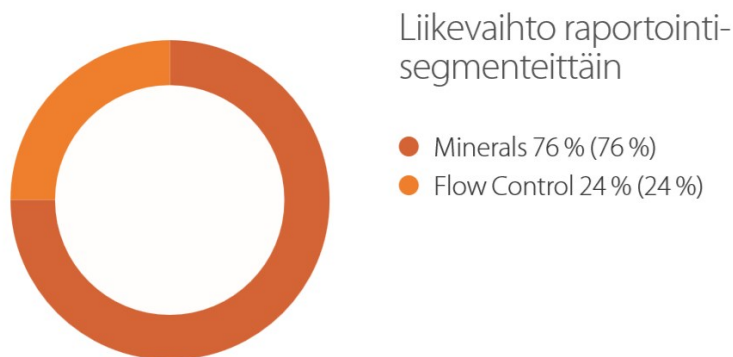
KUVIO 1. Metson liikevaihdon jakautuminen (Metso 2018)

Liikevaihto on jakautunut kuvion 2 mukaisesti eri markkina-alueille (Metso vuosiraportti 2017, 26).



KUVIO 2. Liikevaihdon jakauma markkina-alueittain (Metso 2018)

Metso on jaettu kahteen eri segmenttiin: Metso Minerals ja Metso Flow Control. Näistä kahdesta Metso Minerals käsittää Mining Equipment-, Minerals Services-, Minerals Consumables-, Aggregates Equipment-, ja Recycling -liiketoiminta-alueet. Metso Flow Control sen sijaan toimittaa venttiilejä ja pumppuja, sekä niihin liittyviä palveluita. Näiden raportointisegmenttien osat liikevaihdosta on eritelty alla, kuviossa 3 (Metso vuosiraportti 2017, 26).



KUVIO 3. Raportointi-segmenttien osuus liikevaihdosta (Metso 2018)

Vuonna 2017 Metson saadut tilaukset kasvoivat 9% ja liikevaihto kasvoi 5%. Liikevoitto väheni 4 prosenttia 218 miljoonaan euroon ja investointeja oli 38 miljoonaa euroa. Metso Jakoi osinkoja 157 miljoonaa euroa ja tulos per osake oli 0,68 euroa.

2.2 Metso Minerals Oy

Tämä opinnäytetyö on tehty Metson Tampereen toimipisteessä, joka kuuluu Metso Minerals Oy:n alaisuuteen. Metso Mineralsin aiemmin mainitut liiketoiminnot tuottavat mineraalienkäsittelyratkaisuja ja -järjestelmiä kaivosasiakkaille, sekä murskaus- ja seulontalaitteita kivenmurskausasiakkaille. Tähän tarjontaan kuuluvat vara- ja kulutusosaratkaisut, sekä suunnittelupalvelut molemmille asiakasryhmille. Liikevaihto on jakautunut kuvion 4 mukaisesti eri teollisuusaloille (Metso vuosiraportti 2017, 28).



KUVIO 4. Asiakkaiden teollisuusalojen jakauma (Metso 2018)

3 LÄHTÖKOHDAT

3.1 Metso Lokotrack LT

Kivenmurskain on kone, johon syötetään louhittua kiveä, tai esimerkiksi kierrätysmateriaalia kuten asfalttia ja tämän aineksen murskain hienontaa kooltaan halutunlaiseksi. Murskaimia on monia erilaisia malleja, kuten esimerkiksi leukamurskain, jossa aines murskataan nimensä mukaisesti kahden leuan väliin tai esimerkiksi karamurskain jossa epäkeskeisesti pyörivä kara murskaa aineksen murskaimen reunoja vasten. Tässä työssä käsiteltävässä Metso Lokotrack Urban LT106 koneessa on leukamurskain.

Metso Lokotrack LT-sarja käsittää Metson mobiilimurskaimet, jotka ovat tela-alustaisia kivenmurskaimia oman voimantuottoyksikön ja kuljettimien kanssa. Mobiilimurskaimelle syötetään ainesta usein joko kaivurilla tai toisella mobiilimurskaimella. Mobiilimurskaimen etu on sen helppo liikuteltavuus verrattuna kiinteäasenteiseen murskaimen. Teloilla liikuteltavan murskaimen saa aina siirrettyä helposti ja nopeasti murskattavan aineksen luo sekä niitä on helppo yhdistää jonoon esimerkiksi muiden mobiilimurskainten ja -seulojen kanssa, jolloin saavutetaan vielä suurempi määrä erilaisia lopputuotteita. Työssä käsiteltävä tuuletin sijaitsee koneen moottorimoduulissa, jonka päätyäleikkö näkyy kuvassa 1 kuljettimen vieressä oikealla puolella.



KUVA 1. Metso Lokotrack LT106 -mobiilimurskain syötettävänä (Metso 2018)

3.1.1 Ongelma

Työn tarkoituksena oli saada ratkaisu Metso Lokotrack Urban LT106 -mobiilimurskaimen jäähdytinmeluongelmaan. Koneen käydessä ilman kuormaa tai jos sitä syötetään kiiveä pehmeämmällä aineksella, jäähdytinmelun osuus koneen tuottamasta melusta nousee merkitseväksi. Tässä jäähdyttimessä on kennot ahtoilmalle, hydrauliiikalle, polttoaineelle, sekä moottorin jäähdytykselle. Useimmissa tapauksissa jäähdyttimen kierrosnopeutta näistä jäähdytyskennoista nostaa jäähdyttimen ahtoilmaa jäähdyttävä kenno. Sen jäähdytystehon tarve nousee aika-ajoin aiheuttaen jäähdyttimen tuulettimen kierrosnopeuden kasvua. Syy miksi juuri ahtoilmakennon jäähdytystarve nousee äkillisesti rasituksessa, riippuu kennossa kulkevasta väliaineesta. Kaikissa muissa kennoissa kulkee nestettä, johon lämpö siirtyy komponentilta helposti. Ahtoilman tapauksessa energia siirtyy komponentilta kennolle ilman välityksellä, jolloin se ei ole yhtä tehokasta. Tällöin kennon läpi tarvitaan suurempi ilmavirta haihduttamaan tarvittava energia ja ilmavirtaa saadaan kasvatettua lisäämällä tuulettimen kierrosnopeutta. Tällaisissa tilanteissa yli metrin halkaisijaltaan oleva tuuletin aiheuttaa muun melun yli nousevaa ääntä.

Työssä keskitytään ensisijaisesti Lokotrack Urban LT106 -mobiilimurskaimeen kuvassa 1 esiintyvän Lokotrack LT106 koneen sijaan. Urban-sarjan koneet ovat pohjimmiltaan samoja koneita, mutta koska niitä on tarkoitus käyttää lähempänä ihmisten asuinympäristöjä, on niissä keskitytty erityisesti melun minimoimiseen. Urban-malleissa on esimerkiksi pehmennetty syöttösuppilon pintoja kumimatoilla melusaasteen vähentämiseksi, sekä sen murskain on osittain koteloitu melun ja pölyn leviämisen pienentämiseksi. Kuvasta 2 voi nähdä LT106 Urban-mallin koteloidun murskaimen moottorimoduulin vasemmalla puolella.

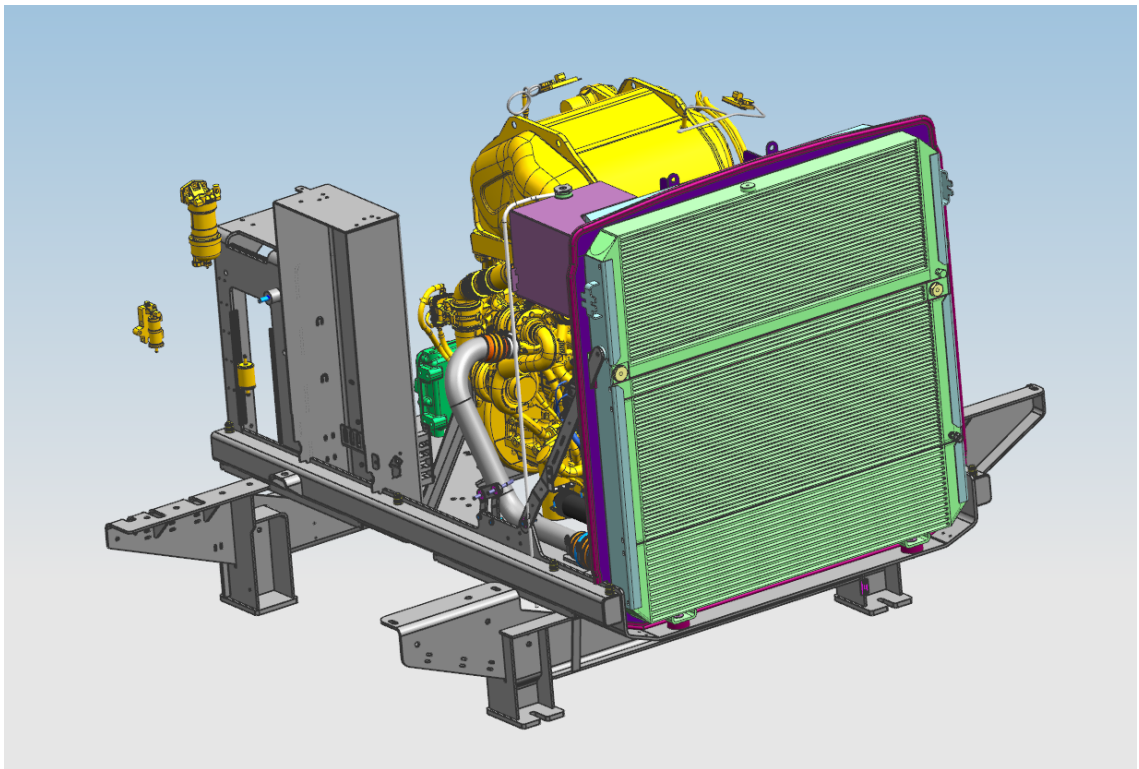


KUVA 2. Metso Lokotrack Urban LT106 (Metso 2018)

Murskaimille myönnetään lupia murskaukseen juuri melun ja niiden aiheuttaman pölyn perusteella. Pienempää melua tuottavalle koneelle luultavasti myönnetään joko mahdollisuus murskata suuremman osan päivästä tai pidempään iltaan. Lupia myönnettäessä huomioidaan melun häiritsevyys johon vaikuttaa esimerkiksi äänen taajuus, äänenvoimakkuus ja melun yleisyys (Valtioneuvoston asetus kivenmurskaamojen ympäristösuojelusta 2010). Hiljaisempi kone myös vaatii ympärilleen pienemmän alueen, jossa tulee käyttää kuulosuojaimia. Juuri näistä syistä myös tämän työ koskee ensisijaisesti Lokotrack LT106 -mobiilimurskaimen Urban-mallia, mutta jos uudistus todetaan toimivaksi ja tarpeeksi kustannustehokkaaksi niin se saatetaan laajentaa myös muihin Lokotrack LT-malleihin.

3.1.2 Nykyinen jäähdytin

Nykyinen Lokotrack LT106 -mobiilimurskaimen jäähdytys on toteutettu kuvan 2 mukaisella hydraulikkatoimisella jäähdyttimellä. Sitä varten on laskettu jokaisen jäähdytettävän komponentin jäähdytystarve ja niiden mukaan on mitoitettu jokaiselle komponentille sopivan kokoinen kenno. Jäähdytettäviin komponentteihin kuuluvat turbon ahtoilma, moottorin jäähdytinneste, hydraulikkaöljy, sekä polttoaine. Jotta ilma kulkisi mahdollisimman tasaisesti kaikkien kennojen läpi on kennot suunniteltu niin, että kennojen takana oleva tuuletin tuottaa jokaiseen lähes saman suuruisen staattisen paineen. Kun paine jakautuu tasaisesti kennojen välille, kulkee myös ilma tasaisesti kennojen läpi, eikä tehoa mene näin hukkaan. Kuvassa 2 on 3D-malli nykyisestä jäähdyttimestä. Kuvaan on myös avattu malli koneen moottorista, sekä moottorimoduulin rakenteista.



KUVA 2. Alkuperäinen jäähdytin kuvattuna edestä

Jäähdytin on niin sanottu ”imevä” malli jolloin kennojen takana oleva tuuletin imee moottorille puhaltamansa ilman kennojen läpi. Toinen vaihtoehto olisi ”puhaltava” malli, jossa tuuletin puhaltaa moottorilasta kuumaa ilmaa ulospäin kennojen läpi. Molemmissa vaihtoehtoissa on hyvät ja huonot puolensa. Nykyisellään kun jäähdytin imee pölyistä ulkoilmaa niin kennot menevät herkästi tukkoon, mikä ei olisi välttämättä niin suuri ongelma

jos tuuletin puhaltaisi ilmaa ulos moottorimoduulista. Kennojen tukkeutuminen on kuitenkin hyvin riippuvaista murskattavasta materiaalista. Esimerkiksi kiveä murskattaessa tuulettimen pyörimissuunnalla ei ole suurta merkitystä, koska runsas pöly tulee joka tapauksessa moottoritilaan, mutta vain eri päädyistä. Ulospäin ilmaa puhallettaessa myös jäähdyttimen jäähdytysteho laskee, kun kennojen läpi puhallettava ilma on moottorin lämmittämää ilmaa, joka voi olla pahimmillaan jopa 80 celsiusasteista riippuen ulkolämpötilasta. Tätä ongelmaa ei kuitenkaan ole imevässä mallissa, joka ottaa moottorille viileämpää ulkoilmaa kennojen läpi.

Nykyistä jäähdytintä ohjataan käänteisesti. Tuulettimen kierrosnopeus määräytyy kennojen jäähdytystarpeen mukaan, mutta jos ohjaussignaalia ei ole, jäähdytin pyörii täydellä nopeudella. Näin varmistetaan, että jos jäähdyttimen ohjaukseen syntyy vika, se ei pysähdy aiheuttaen mahdollisesti vaurioita komponenteille, vaan se alkaa pyörimään täydellä nopeudella.

3.2 Selvitys

Työssä lähdettiin liikkeelle pohtimalla, että mikä jäähdytettävä komponentti olisi järkevintä jäähdyttimestä mahdollisesti erottaa. Nykyisellään ahtoilman jäähdytystarve kasvattaa usein jäähdyttimen pyörimisnopeutta aiheuttaen melua, jota työssä pyritään pienentämään. Ensiksi siis tulisi kokeilla olisiko ahtoilmakenno mahdollista erottaa omaksi jäähdyttimekseen. Toinen vaihtoehto on erottaa hydrauliiikan jäähdytys. Nykyisen jäähdyttimen laskuista selviää, että hydrauliiikka vie lähes puolet jäähdyttimen kokonaistilavuusvirrasta. Jos niin suuresta tilavuusvirrasta päästäisiin eroon, voitaisiin ahtoilmakennoa suurentaa huomattavasti, tai pienentää alkuperäisen tuulettimen kokoa.

Taulukossa 1 on nykyisen jäähdyttimen laskelmat. Taulukon vasemmassa yläkulmassa on moottorin vesijäähdytyksen laskelmat ja sen vieressä ahtoilman. Niiden alapuolella on vasemmalla hydrauliiikan laskelmat ja sen oikealla puolella polttoaineen laskelmat. Tärkeimpiä arvoja ovat Total Airflow eli komponentin jäähdyttämiseen tarvittava tilavuusvirta, sekä Pressure drop eli tuulettimen luoma paine kennoa vasten.

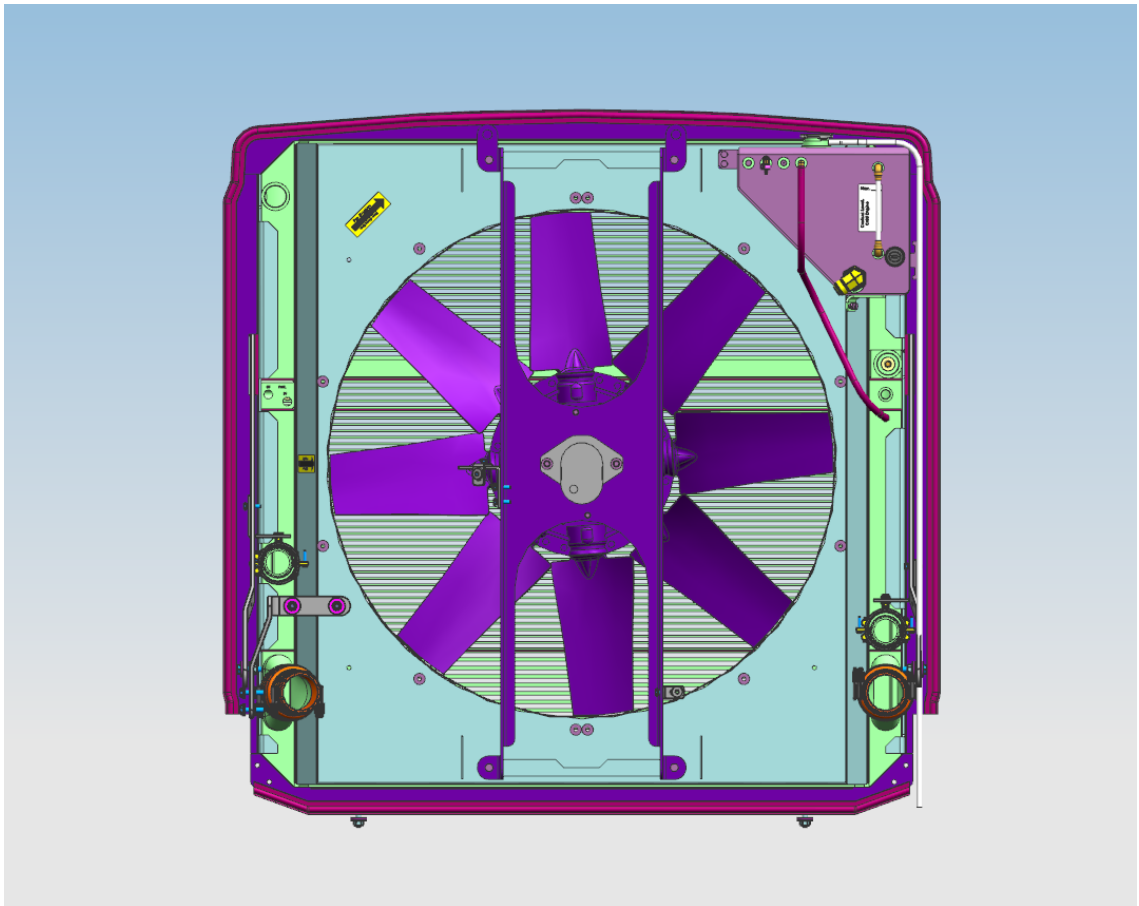
TAULUKKO 1. Nykyisen jäähdyttimen jäähdytystarpeen laskenta

Water		Intercooler	
Heat rejection	150 kW	Heat rejection	54,7 kW
Water flow	350 l/min	Air flow	0,325 kg/s
Total airflow	4,72 m ³ /s	Total airflow	2,19 m ³ /s
Airspeed	8 m/s	Airspeed	6,5 m/s
Pressure drop	417 Pa	Pressure drop	412 Pa
Oil		Diesel	
Heat rejection	100 kW	Heat rejection	54,7 kW
Oil flow	250 l/min	Diesel flow	10 l/min
Total airflow	5,02 m ³ /s	Total airflow	0,57 m ³ /s
Airspeed	8,5 m/s	Airspeed	8,3 m/s
Pressure drop	413 Pa	Pressure drop	419 Pa

Työssä tutkittiin jokainen vartenotettava vaihtoehto jäähdyttimen muuttamiseksi, koska erotettujen jäähdyttimen ulkomitoilla tai sijainnilla ei ollut suurta merkitystä vaan tärkeintä oli aluksi selvittää projektin mahdolliset hyödyt. Työhön kuuluivat selvitys siitä, mitä arvoja äänitasojen mittauksessa huomioidaan ja onko jäähdyttimeen tehtävillä muutoksilla mahdollista saada äänitasoa laskettua tarpeeksi paljon riittävän edullisesti, jotta muutokset olisivat taloudellisesti kannattavat.

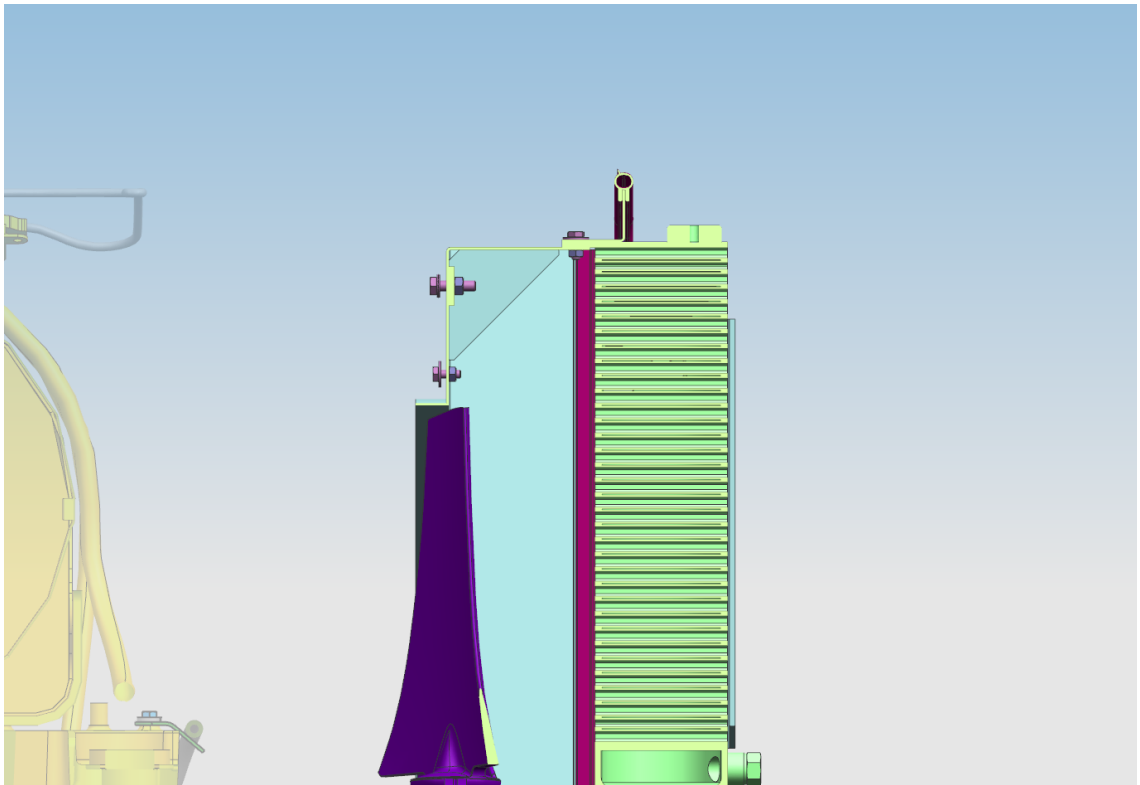
Nämä alkuperäisen jäähdyttimen laskut toimivat pohjana kaikelle tulevien jäähdyttimien mitoituksille. Tulevia jäähdyttimiä tulotaisiin mitoittamaan niin, että ne loisivat saman verran staattista painetta, sekä niin että niiden tilavuusvirta ja pinta-ala vastaisivat alkuperäistä.

Kuvasta 3 voi nähdä, kuinka alkuperäisessä jäähdyttimessä oli korkeutta lievästi enemmän kuin leveyttä. Tästä syystä ilmavirta ei ole tasainen koko kennojen mitalta, vaan reunoihin ja jäähdyttimen ylä- ja alaosaan jää kuolleita alueita jossa ilma ei virtaa kennojen lävitse yhtä hyvin. Kennojen läpi menevään tilavuusvirtaan vaikuttaa myös huomattavasti missä kenno sijaitsee. Esimerkiksi jos kenno sijaitsee jäähdyttimen keskiosassa, vie tuulettimen kara huomattavan osan kennon pinta-alasta kuten kuvasta 3 voi nähdä. Tuulettimen kara ei kuitenkaan tuota yhtään ilmavirtaa, joten kennojen sijainnilla tuulettimen edessä on suuri merkitys niiden jäähdytykseen.



KUVA 3. Kuva alkuperäisen jäähdyttimen 3D-mallin takaa

Myös kennojen paksuudella on huomattava merkitys jäähdytystehossa, koska jäähdytysteho perustuu pinta-alaan, josta kenno energia pääsee siirtymään läpi kulkevaan ilmaan. Nykyisten kennojen paksuuteen ei tultaisi kuitenkaan mielellään tekemään muutoksia moottorimoduulin tilarajoitusten takia. Jäähdyttimen melua voidaan kuitenkin myös laskea esimerkiksi muotoilulla tuulitunnelilla. Alkuperäisessä jäähdyttimessä tuulitunneli on laatikon mallinen, joten siinä ole yhtään ilmavirtaa ohjaavaa muotoilua, kuten kuvasta 4 voi nähdä. Paremmalla tuulitunnelimuotoilulla voitaisiin mahdollisesti parantaa ilmavirran kulkua kennojen läpi ja näin saada mahdollisuus laskea tuulettimen kierrosnopeutta, joka taas laskisi jäähdyttimen tuottamaa ääntä (Baxa 1982).



KUVA 4. Tuulitunnelin muoto (tuuletin violetilla, tuulitunneli sinisellä)

Työssä mitoitettiin näille kennoille mahdollisia tuulettimia joiden oman tai yhteisen melutason pitäisi alittaa nykyisen jäähdyttimen tuottama 108 desibelin melu A-painotuksella. Painotuksilla melumittauksissa tarkoitetaan taajuuksia eri tavoin painottavia suodatuksia. Yleisin on A-suodatin, joka kuvaa parhaiten ihmiskorvaa, koska se suodattaa todella matalat ja todella korkeat äänet pois. Yleinen vaihtoehto on C-painotus, joka sopii korkeiden äänien mittaamiseen (Pesonen 2005, 125). Tavoitteena oli päästä ainakin alle 100 desibeliin A-painotuksella.

4 OHJELMISTOT

Tässä kappaleessa on esitelty tässä työssä käytetyt ohjelmistot. Tämä opinnäytetyö koostui suurimmaksi osaksi 3D-mallintamisesta, sekä tuuletinlaskelmista. 3D-mallinnus toteutettiin Siemens NX- ohjelmistolla ja eri tuuletinvaihtoehtoja tutkittiin Multi-Wingin Optimiser 10 ohjelmistolla.

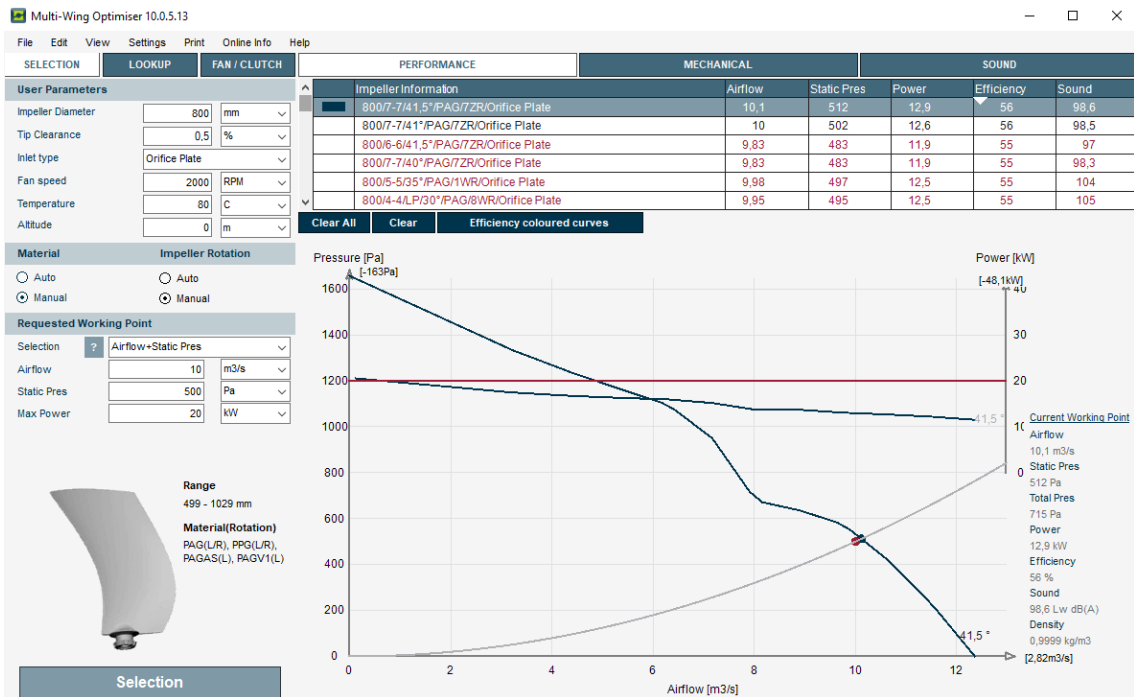
4.1 Siemens NX

Työssä eri vaihtoehtojen mallinnukseen käytettiin Siemensin NX -3D-suunnitteluohjelmistoa. Ohjelma on Metson suunnittelutiimien käytössä ja sitä käytetään yhdessä Siemens Teamcenterin kanssa. Teamcenter on PLM-ohjelmisto, josta löytyvät 3D-mallit, sekä dokumentaatio kaikista Metson tuotteista.

4.2 Multi-Wing Optimiser 10

Jäähdyttimien mitoitukseen käytettiin Multi-Wing Optimiser 10 ohjelmistoa. Multi-Wing on tanskalainen jäähdyttimien tuulettimia tuottava yritys, johon tässä työssä on oltu yhteydessä myös suunnitteluun liittyvissä asioissa.

Multi-Wing Optimiser on ilmaisohjelmisto jota Multi-Wing jakaa kotisivuillaan. Ohjelmisto on suunniteltu yrityksille, jotka haluavat mitoittaa juuri itselleen tuulettimia omien jäähdytystarpeidensa mukaisesti. Optimiseriin pystyy syöttämään vaaditut jäähdytysarvot, jolloin ohjelmisto ehdottaa niihin sopivimpia tuulettimia. Ohjelmistolla pystyy myös etsimään jonkun olemassa olevan tuulettimen tiedot sen suorituskyvystä ja esimerkiksi tuulettimen tuottamasta äänestä. Kuvassa 5 on näytettynä Optimiserin perusnäkyvä, jossa näkyvät ohjelmiston ehdottamat tuulettimet syötetyille arvoille.

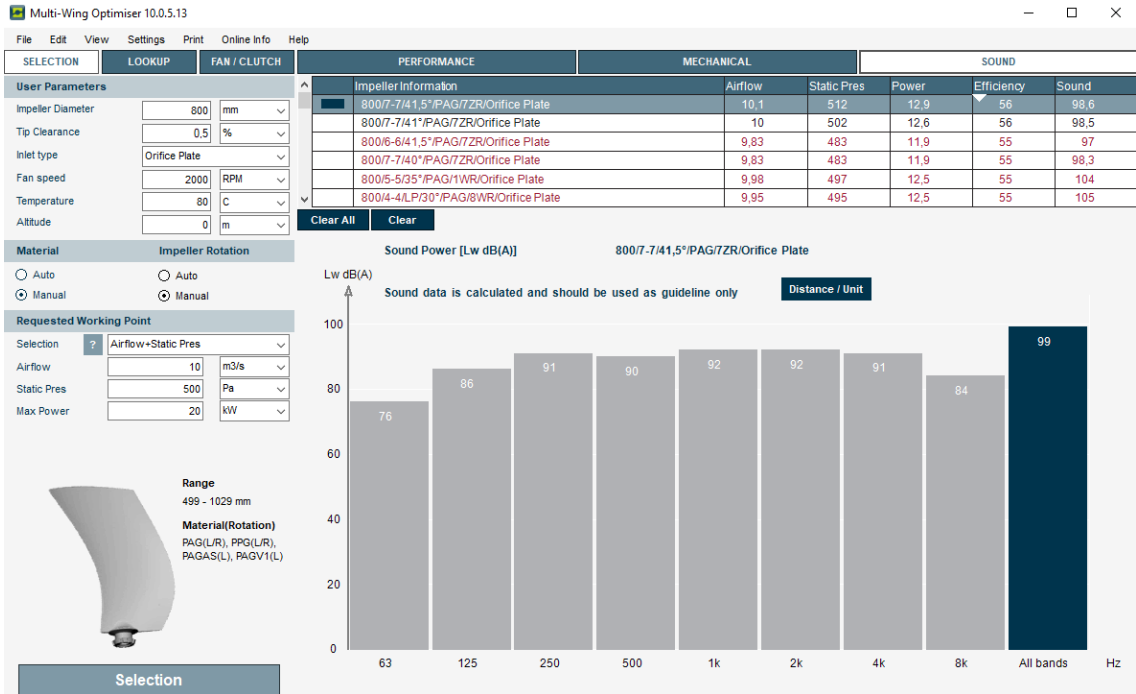


KUVA 5. Multi-Wing Optimiser 10

Kuvasta nähdään, kuinka ohjelman vasempaan reunaan syötetään halutut arvot kuten tuulettimen halkaisija, lavan kärkeen jäävä tila tuulitunnelista ja orifice platen eli yksinkertaisen tuulitunnelin olemassaolo. Ohjelmaan syötetään myös kierrosnopeus, lämpötila ja mahdollinen korkeus merenpinnasta. Näiden jälkeen hakukenttään syötetään arvot mihin tämän tuulettimen tulisi pystyä eli tilavuusvirta, staattinen paine ja maksimi tehonotto. Myös tarjottavien tuulettimien materiaalin ja pyörimissuunnan voi määrittellä joko manuaalisesti tai automaattisesti.

Kun kaikki tiedot on täytetty ohjelmistoon, se antaa listan erilaisia tuulettimia ja niiden arvoja. Näistä arvoista näkee kyseisen tuulettimen tuottaman tilavuusvirran, staattisen paineen, ottaman tehon, hyötysuhteen sekä äänitehon annetuilla arvoilla. Optimiser myös näyttää valitun tuulettimen staattisen paineen tilavuusvirran funktiona (kuvan poikki viivastoista kulkeva tummansininen viiva). Lähes vaakatasossa kulkeva tummansininen viiva esittää tuulettimen ottamaa tehoa tilavuusvirran funktiona. Punainen vaakaviiva osoittaa itse asetetun maksimitehon määrän.

Kuvassa 6 näkyvällä äänivälilehdeltä voi tutkia tarkemmin tuulettimen tuottamaa äänitehoa desibeleinä eri taajuuksilla tai vaihtaa esimerkiksi äänen painotusta. Välilehdeltä voi myös asettaa miten ääntä tuulettimesta mitataan. Työssä käytetyt äänenpaineen arvot on saatu asetuksella joka kuvaa äänenpainetta nollan metrin etäisyydellä tuulettimesta.



KUVA 6. Tuulettimen äänitehoja eri taajuuksilla

5 MALLINTAMINEN

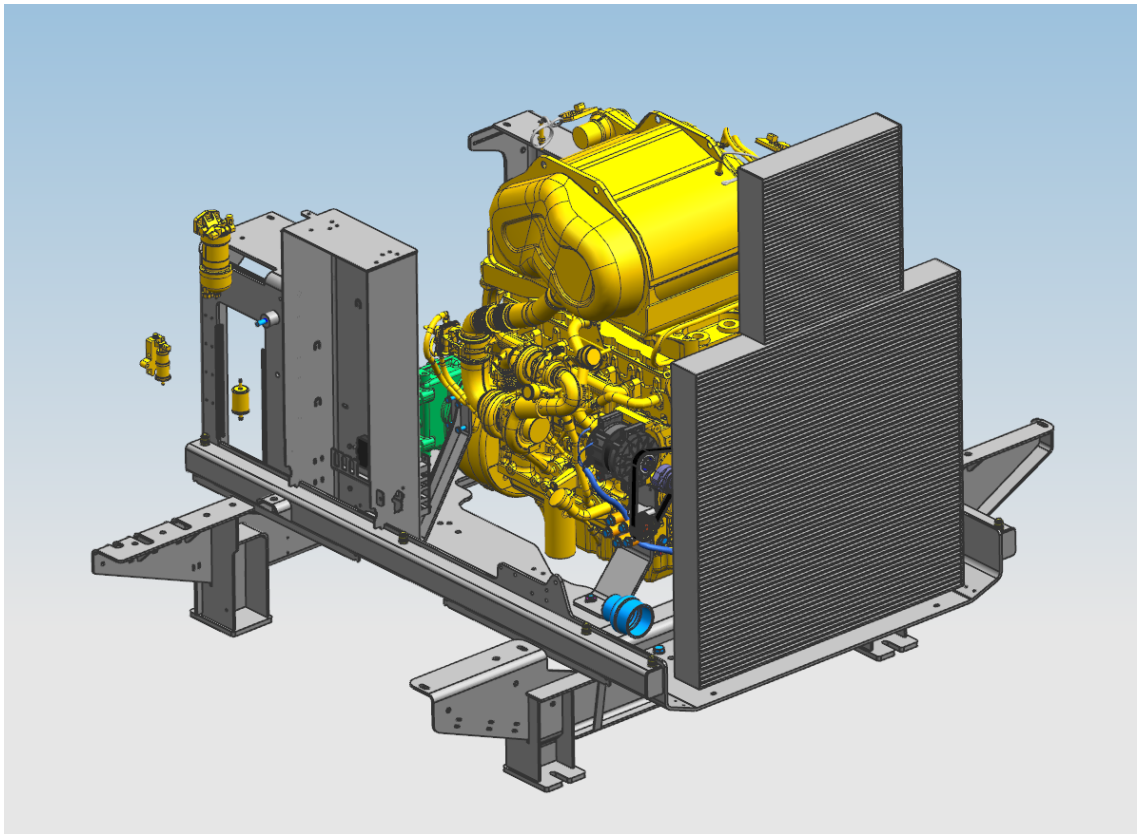
Tässä työssä käytettiin eri jäähdytinmallien suunnitteluun Lokotrack LT106:n moottorimoduulia, josta on ladattu vain moduulin runko, moottori ja jäähdyttimien eri malleja. Kaikki mallinnus toteutettiin Siemens NX -suunnitteluohjelmistolla.

5.1 Ahtoilman erottaminen jäähdyttimestä

Kennojen erottaminen aloitettiin perehtymällä ahtoilman erottamiseen laskemalla alkuperäisen kennon mittojen mukainen pinta-ala. Uusi jäähdytin ahtoilmalle toteutettaisiin pinta-alaltaan sekä paksuudeltaan samankokoisella jäähdytinkennolla kuin mikä se on aikaisemmassa jäähdyttimessä ollut. Toinen, isompi kenno on myös pinta-alaltaan vanhaa vastaava, siinä on vain laskettu muiden komponenttien pinta-alat yhteen ja luotu niistä myös neliön mallinen kenno. Isompi kenno tulisi koostumaan monesta kennosta sitä toteutettaessa, mutta mallinnuksessa ne on sulautettu yhdeksi mallinnuksen yksinkertaistamiseksi.

Ensimmäiset mallit tehtiin neliönmuotoisiksi jäähdytystehon maksimoimiseksi. Neliönmuotoisen kennon takana olevalla pyöreällä tuulettimella on jokaiseen sivuun yhtä pitkä matka ja näin ilmavirtaus on mahdollisimman tasainen ja kulmiin jäävät kuolleet alueet saadaan minimoitua. Mallintamalla vain yksinkertaiset kennot saadaan suurpiirteinen kuva siitä, kuinka paljon tilaa tuleva jäähdytin tulisi viemään. Tämä säästää mallinnuksessa huomattavasti aikaa, kun tarkemmille malleille ei tarvetta ole. Malleihin mallinnettu kennon säleikkö on vain esteettinen seikka auttamaan havainnollistamaan jäähdyttimen kennoja.

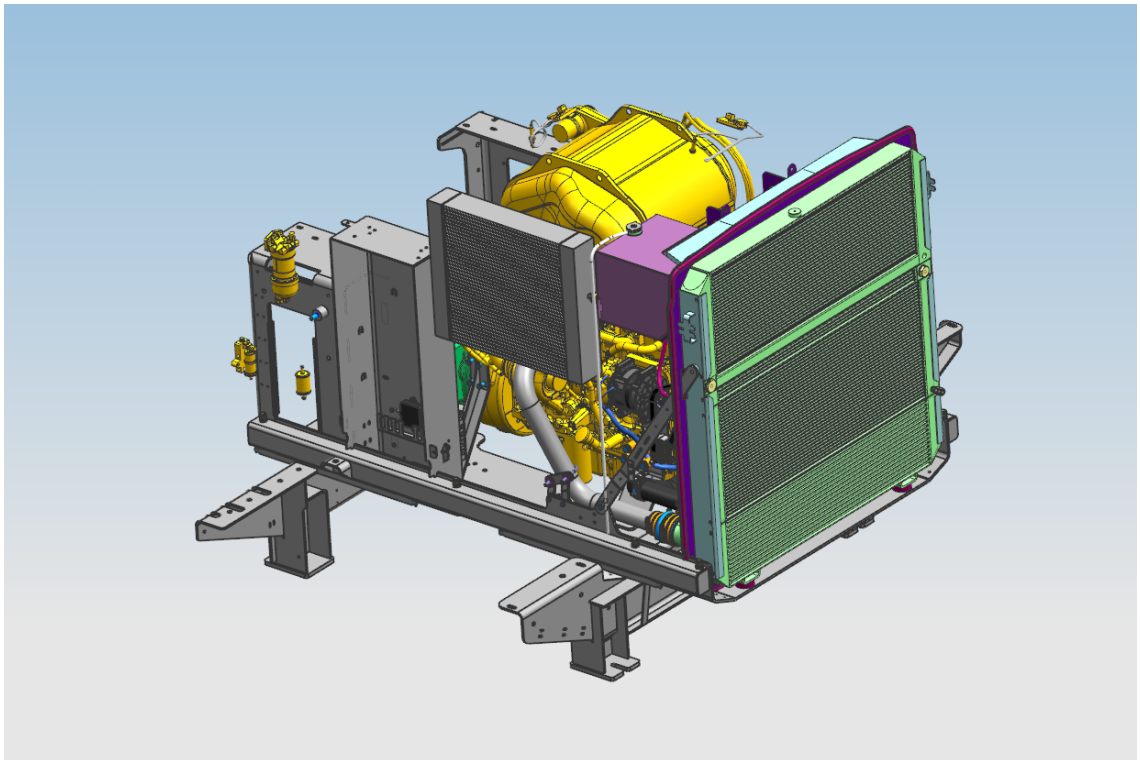
Kuvasta 7 näkee, kuinka ensin kennoja kokeiltiin sijoittaa päällekkäin, mutta nopeasti selvisi, etteivät jäähdyttimet ainakaan neliönmallisina tulisi tähän moottorimoduuliin mahtumaan korkeutensa puolesta. Jäähdyttimet veisivät myös huomattavasti liikaa tilaa, jos ne asetettaisiin vierekkäin.



KUVA 7. Ahtoilmakekko muita osia jäähdyttävän kennon yläpuolella

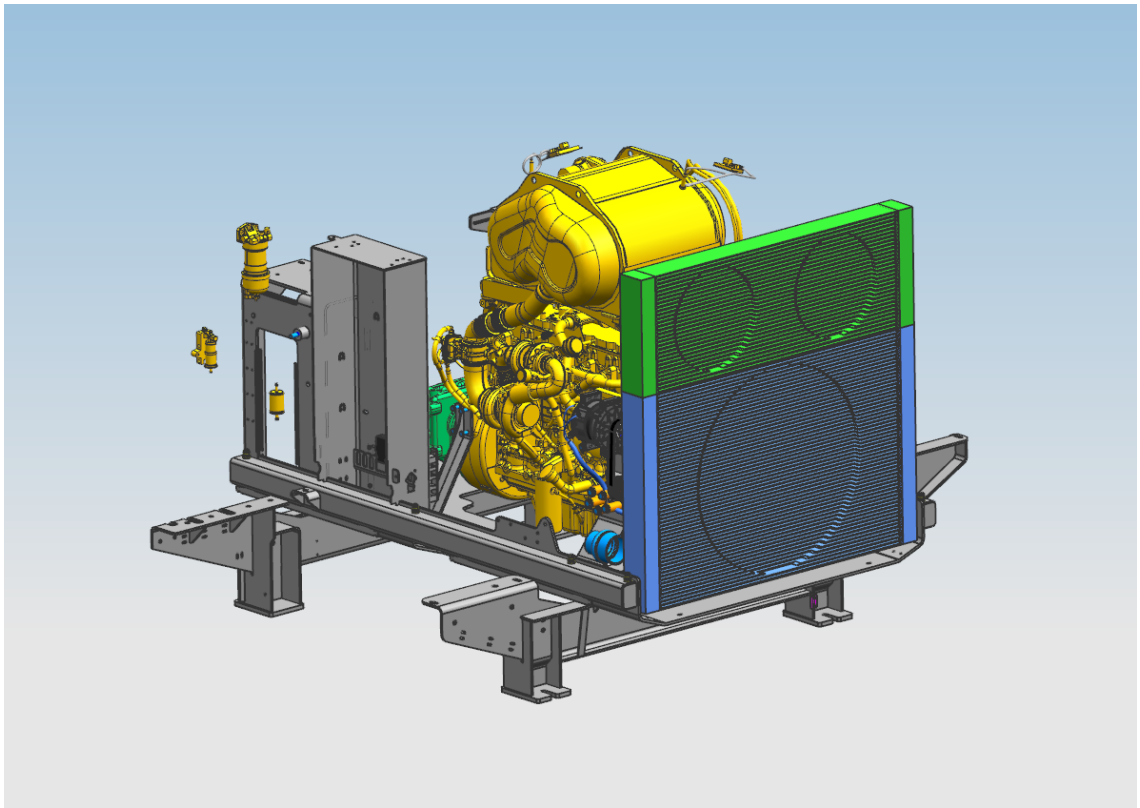
Vaihtoehtoisena sijoituspaikkana ahtoilman jäähdyttimelle pidettiin moottorimoduulin kylkeä, kattoa tai täysin muuta sijaintia koneessa. Moottorimoduulin kyljessä tai katossa sijainti ei ole optimaalinen, koska silloin moottorimoduulin ulkokuorta ja sisuksia pitäisi muokata huomattavasti. Jäähdytin voitaisiin asentaa myös moottorimoduulin ulkopuolelle, mutta koneessa ei ole tilaa uudelle jäähdyttimelle ilman suurempaa koneen muokkaamista. Tästä johtuen työssä tutkittiin lähinnä mahdollisuutta, että erotettu jäähdytin olisi moottorimoduulin sisällä. Mallinnuksessa päädyttiin jäähdytin sijoittamaan moottorimoduulin kylkeen katon sijaan, mutta molemmat ovat mahdollisia vaihtoehtoja.

Tässä toteutuksessa olisi se hyöty, että erotetun jäähdyttimen pinta-ala voidaan luovuttaa toisille kennoille vanhassa jäähdyttimessä, joten isompi jäähdytin jäisi entisen kokoiseksi, mutta se vaatisi vähemmän jäähdytystehoa. Tästä johtuen suuremman jäähdyttimen malliksi onkin kuvassa 8 jätetty alkuperäinen jäähdytin.



KUVA 8. Ahtoilmän jähdytän moottorimoduulin kyljessä.

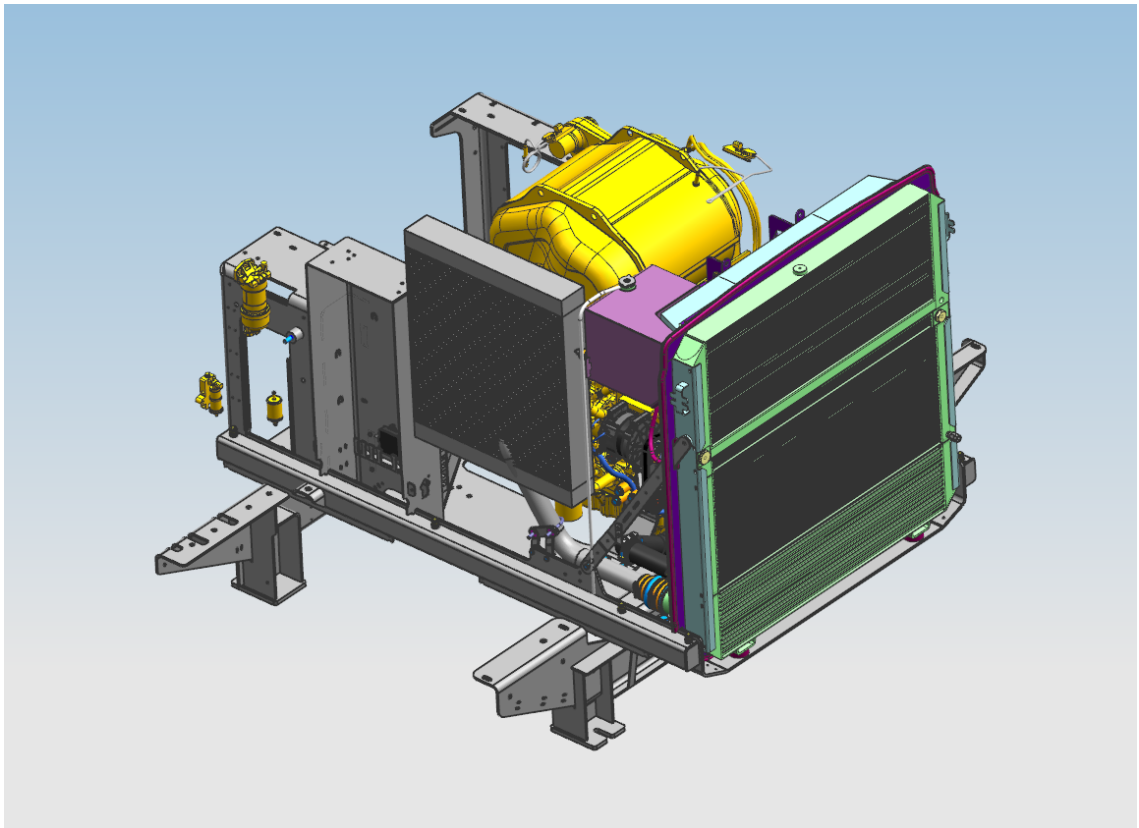
Kolmas mahdollinen vaihtoehto oli ahtoilmänkennon jähdyttäminen kahdella omalla tuulettimellaan ilman että sitä erotettaisiin omaksi jähdyttimekseen. Näin alkuperäiseen jähdyttimeen tulisi tehdä vain pieniä muutoksia. Kennot pysyisivät samoina, kun ne ovat tähänkin asti olleet, mutta ahtoilmänkenno vain nostettaisiin päällimmäiseksi ja sitä jähdyttämään asennettaisiin kaksi imevää tuuletinta. Tällä toteutuksella muita komponentteja jähdyttävää suurempaa tuuletinta saataisiin pienemmäksi ja sen tilavuusvirran tarve vähenisi ahtoilmänkennon erottamisen takia. Kuten kuvasta 9 nähdään, tämä malli mahtuisi myös entisenä pysyvien kennojen ansiosta vanhan jähdyttimen tilalle, eikä moottorimoduulin ulkokuoren uudelleen suunnittelua vaadittaisi. Jähdytyskennojen malliin on lisätty upotukset kuvastamaan mahdollisten tuulettimien kokoa. Tuulettimet olisivat kuitenkin moottorin puolella, mutta havainnollistamiseksi sille on mallinnettu ääriajat kennojen etupuolelle.



KUVA 9. Ahtoilmalle omistettu kaksi tuuletinta, erottamatta jäähdytintä kahdeksi

5.2 Hydrauliikan erottaminen jäähdyttimestä

Hydrauliikan erottaminen jäähdyttimestä oli toinen vahva vaihtoehto työn toteutustavaksi sen vaatiman suuren tilavuusvirran takia. Jos hydrauliikkakenno saataisiin jäähdytettyä omalla pienemmällä jäähdyttimellään, niin vapautuisi ahtoilmakennolle enemmän pinta-alaa. Kennon suurentuneen pinta-alan ansiosta isomman jäähdyttimen läpi ei tarvitsisi virrata niin paljoa ilmaa jolloin isompi tuuletin olisi hiljaisempi. Kun viime mallinnuksesta selvisi, etteivät kennot tulisi mahtumaan neliönmuotoisina toistensa viereen, mallinnus aloitettiin mallintamalla hydrauliikan vaatima kenno moottorin sivulle. Kun uusi hydrauliikan kenno oli mallinnettu, jätettiin vanha jäähdytin paikalleen kuvaamaan jäähdytintä muille komponenteille, kun se tulisi jälleen olemaan samankokoinen myös tulevaisuudessa. Kyseinen malli on esitelty kuvassa 10.



KUVA 10. Hydrauliiikan kenno erotettuna

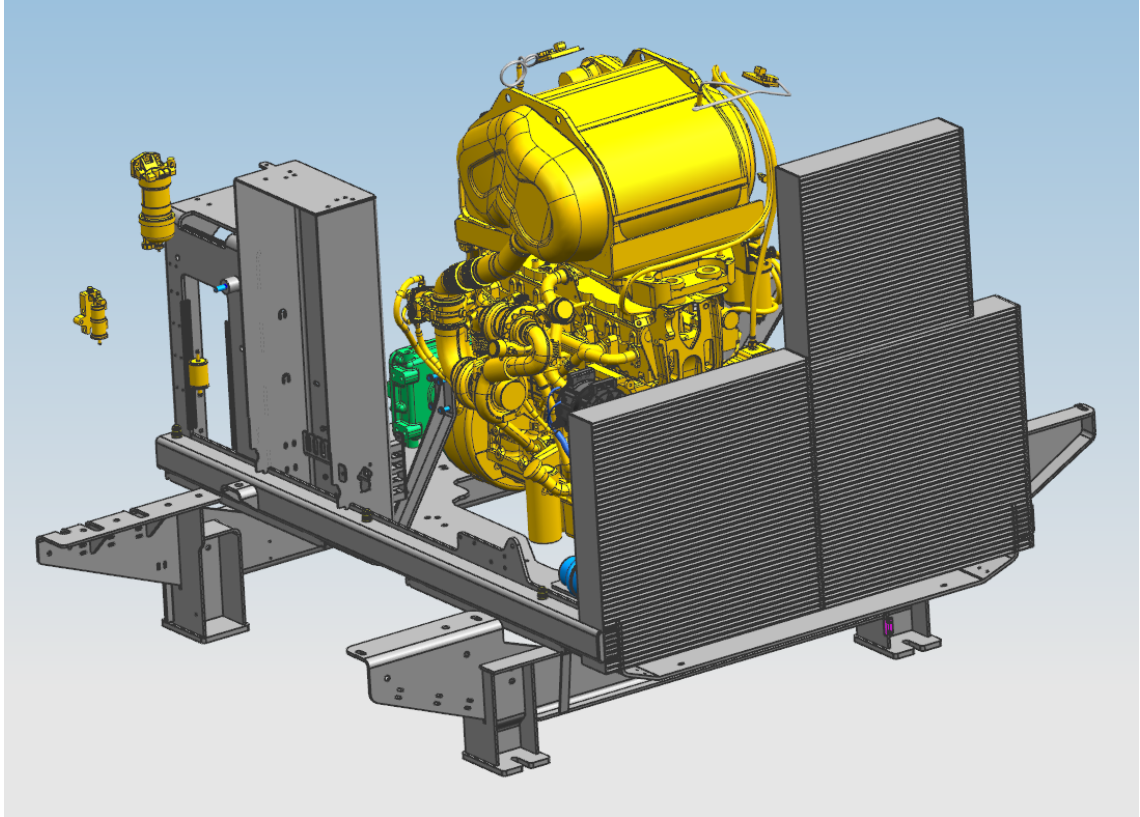
Tällä tavoin molemmat jäähdyttimet mahtuisivat moottorimoduulin sisäpuolelle, mutta kuten viimeksi, kyljessä olevan jäähdyttimen takia tilanne ei olisi optimaalinen.

Tässäkin tapauksessa kuitenkin on mahdollista toteuttaa jäähdytys kuvan 9 tapaisella ratkaisulla, mutta nyt kahdella pienemällä tuulettimella jäähdytettäisiin hydraulikkakennoa. Kyseinen toteutus ei tässäkään tapauksessa vaatisi moottorimoduulin tai kennojen muokkausta. Vaihtoehtona tämä voisi olla toimiva, koska hydrauliiikan kenno vaatii lähes puolet jäähdyttimen tuottamasta ilmavirrasta. Tämä erotettuna omille tuulettimille saattaisi tuottaa huomattavan hyödyn jäähdyttimen melutasoihin, kun isomman tuulettimen tuottaman tilavuusvirran tarve pieneneisi.

5.3 Ahtoilman ja hydrauliiikan erottaminen jäähdyttimestä

Seuraavaksi tutkittiin mahdolliset hyödyt, jos ahtoilma sekä hydraulikka erotettaisiin jäähdyttimestä omiksi jäähdyttimiksi. Näin jokainen kolmesta jäähdyttimestä saataisiin kohtuullisen pieneksi ja äänitasot saataisiin mahdollisesti laskettua melko alas. Ongelmana on kuitenkin jäähdyttimien sijoittelu moottorimoduuliin. Kuvasta 11 voi nähdä

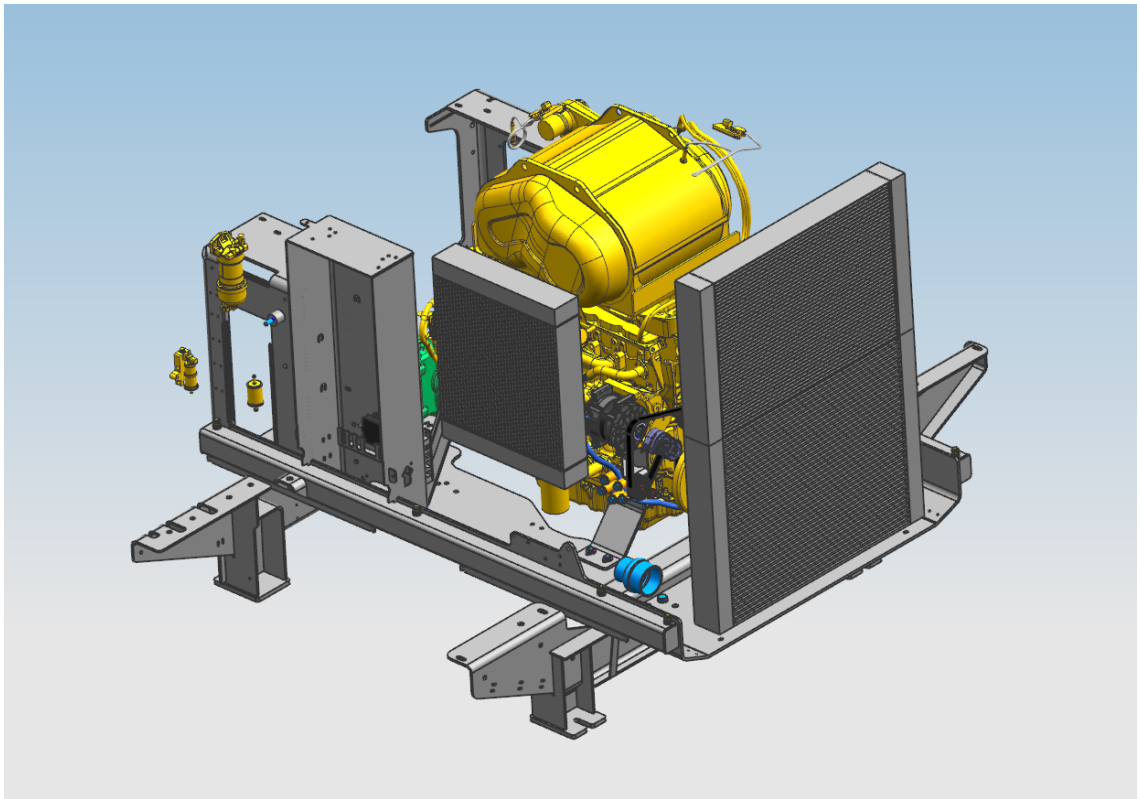
kuinka neliömällisenä jäähdyttimien kennot eivät mahdu nykyisen jäähdyttimen tilalle, eikä päällekkäin kasaaminenkaan ole korkeutensa puolesta vaihtoehto. Kuvassa 11 hydrauliiikan kenno on alaoikealla ja ahtoilmakenno on ylin oikealta. Toinen vaihtoehto olisi ollut sijoittaa kennoja myös moottorimoduulin kattoon ja kylkeen, mutta se vaatisi jo liian suuria muutoksia verrattuna mahdollisiin hyötyihin.



KUVA 11. Ahtoilma ja hydrauliiikka erotettuina muusta jäähdyttimestä

Tätä toteutustapaa ei ollut myöskään mahdollista toteuttaa kahden aikaisemman tavan mukaisesti erillisiä pienempiä jäähdyttimiä käyttämällä nykyisille kennoille kuten kuvassa 9, koska tällöin tuulettimien määrä nousisi jo viiteen, eikä se olisi taloudellisesti, eikä toteutettavuudeltaan kannattavaa.

Kuvassa 12 on esitetty vaihtoehdoksi jäävä toteutus, jossa ahtoilman jäähdytinkeno siirretään moottorimoduulin sivuun. Myös hydrauliiikan ja polttoaineen/moottorin kennojen ulkomuotoa muokattiin, jotta ne mahtuisivat ulkokuoren sisään. Kahden kennon tornista tuli muutaman sentin korkeampi kuin alkuperäinen jäähdytin, mutta se mahtuisi vielä moottorimoduulin sisään. Ahtoilman jäähdyttimen sivulle sijoittaminen vaatisi kuitenkin taas moottorimoduulin muokkaamista.



KUVA 12. Jäähdyttimien paikat vaihdettuina ja kennojen reunat lisättyinä

Lopulta näistä kaikista vaihtoehtoista suunnittelua päätettiin jatkaa neljän eri toteutustavan välillä. Vaihtoehtoihin kuuluivat kuvan 9 mukainen kolmen tuulettimen toteutus niin ahtoilman kuin hydraulikankin erottamiselle, sekä kuvan 8 ja 10 mukaiset toteutukset erilliselle jäähdyttimelle moottorimoduulin kyljessä tai katossa.

6 LASKELMAT

Laskelmissa tutustuttiin neljään edellä mainittuun toteutustapaan, sekä tutkittiin myös mahdollisuutta jättää jäähdytin ennalleen ja saada se hiljaisemmaksi vain tuuletinta vaihtamalla. Laskeminen aloitettiin käyttämällä laskettuja pinta-aloja ja neliön sivun pituuksia. Laskujen tulokset on esitelty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Lasketut pinta-alat ja sivun pituudet

	Leveys	Korkeus	Syvyys	Pinta-ala (mm ²)	Pinta-ala (m ²)	Sivun pituus jos neliö
Hydr.	1210	461	120	557810	0,56	746,87
Diesel	1210	60	120	72600	0,07	269,44
Vesi	1210	504	120	609840	0,61	780,92
Ahtoilma	1210	281	120	340010	0,34	583,10
Yhteensä		1306		1580260		
Muut				1240250		1113,67

Näiden laskujen avulla saatiin Optimiseriin arvo tuulettimen halkaisijaksi. Se saatiin laskemalla vanhan tuulettimen koko suhteessa kennojen pinta-alaan. Laskuista selvisi edellisen tuulettimen peittävän noin 56% kennoista. Tämän saman suhdeluvun avulla laskettiin myös tulevien tuulettimien mahdolliset halkaisijat. Eri tuuletinvaihtoehtojen hakemiseen tarvittaisiin kuitenkin myös lapojen kärkien jättämä väli tuulitunneliin, ympäristön lämpötila ja toimintakorkeus merenpinnasta. Metsolla jäähdyttimen lapojen väliksi tuulitunneliin mitoitetaan 0,5% lavan pituudesta (Karjalainen 2018), lämpötilaksi annetaan 80 celsiusastetta ja toimintakorkeudeksi annetaan 0m. Lapojen 0,5% väli on yleisesti käytetty mitta tuulettimien mitoituksessa, lämpötila vastaa suurin piirtein moottorimoduulin sisällä vallitsevaa lämpötilaa ja lähtökohtaisesti koneiden lasketaan toimivan merenpinnan tasolla.

Seuraavaksi Optimiseriin piti syöttää tuulettimelle annetut vaatimukset kuten tilavuusvirta, staattinen paine ja sallittu maksimiteho. Tuleva jäähdytin mitoitettaisiin nykyisen jäähdyttimen arvojen mukaan. Nämä arvot esiteltiin taulukossa 1. Entisen jäähdyttimen arvoista katsottiin kunkin kennon vaatima tilavuusvirta, sekä nykyisen jäähdyttimen luoma staattinen paine. Tämä oli tasattu kaikkien kennojen osalta noin 400 pascaliin jotta ilma kulkisi tasaisesti kaikkien kennojen läpi. Staattista painetta laskiessa oli kuitenkin huomioitava myös tukkeutumisvara, joka on 200Pa.

Tukkeutumisvara lasketaan mukaan kennojen tukkeutumisen varalta pölyisissä olosuhteissa, jossa kennoihin saattaa jäädä pölyä huomattaviakin määriä. Kun jäähdytinkenko alkaa tukkeutumaan, jäähdyttimen paine nousee ja ilmavirtaus pienenee. Alkuperäisen jäähdyttimen 200 pascalin tukkeutumisvara tarkoittaa, että jäähdytin pystyy tuottamaan suurimman tarvittavan ilmavirran, vaikka jäähdytin olisi tukkeutunut niin, että paine olisi noussut 200 pascalia. Tukkeutumisvaran suuruuden tarve saattaa kuitenkin vaihdella riippuen murskattavasta aineesta. Esimerkiksi jos kone on käytössä louhoksen sijaan vaikka rakennusaineiden kierrätyksessä, työstä aiheutuu huomattavasti vähemmän pölyä, jolloin vara ei tarvitse välttämättä olla 200Pa. Toisena esimerkkinä voidaan käyttää metsäteollisuutta, jossa metsäkoneissa käytettävä tukkeutumisvara on 100Pa luokkaa (Karjalainen 2018) Tulevat laskut tulotaisiin kuitenkin varmuuden vuoksi tekemään 200 pascalin tukkeutumisvaralla, koska ilman käytännön mittauksia ei voida tarkkaan tietää sopivaa arvoa tukkeutumisvaralle.

Taulukkoon 3 on merkattu aikaisempien tietojen lisäksi kaikkien kennojen vaatima maksimaalinen tilavuusvirta, sekä mahdollisen tuulettimen halkaisija, jos kenno tehdään neliön muotoiseksi. Kuvan 9 mukaisia kolmen tuulettimen toteutuksia laskiessa tuulettimen mahdollinen halkaisija saatiin mitattua suoraan nykyisistä kennoista, koska ne jätettäisiin ennalleen. Taulukossa ilmoitettu kenno ”Muut” käsittää hydraulikan, dieselin ja moottorin jäähdytinkennon yhteenlasketun pinta-alan ja kenno ”Vesi, die” on moottorin jäähdytyksen ja polttoaineen yhteenlasketut arvot.

TAULUKKO 3. Lasketut tuulettimen halkaisijat ja saadut tilavuusvirrat

	Pinta-ala (mm ²)	Air flow		Propellin halk.	Sivun pituus (mm)
Ahto	340010	2,2		492,37	583,10
Hydr.	557810	5,02		630,66	746,87
Diesel	72600	0,57		227,52	269,44
Vesi	609840	4,72		659,41	780,92
Muut	1240250	10,31		940,38	1113,67
Vesi, die.	682440	5,29		697,56	826,10

Kun oli saatu selville kaikki tarvittavat vaatimukset ja rajoitukset tuulettimelle, voitiin arvot syöttää Optimiseriin ja selvittää mitä tuulettimia ohjelma kohteeseen suosittelisi. Jokaiseen kolmeen jäähdytinvaihtoehtoon laskettiin tuulettimet, jotka valikoituivat äänenpaineen ja hyötysuhteen mukaan, kunhan ne täyttivät kaikki niille asetetut vaatimukset.

Parasta mahdollista tuuletinta etsiessä voi muokata monia parametrejä, eikä näin parasta mahdollista tulosta ole helppo saada nopeasti selville. Tässä tapauksessa prioriteetti oli tilavuusvirta eli taulukkoon 3 merkattu airflow. Tarvittavan ilmavirtauksen saavuttamiseksi kokeiltiin monia eri tuulettimen halkaisijoita kennon sallimissa rajoissa, sekä eri pyörimisnopeuksia. Pyörimisnopeus vaikuttaa suoraan tilavuusvirtaan, mutta toinen huomattava tekijä on myös lapojen määrä ja niiden kulma. Lapojen määrää ja kulmaa kasvattamalla voidaan saavuttaa suurempi tilavuusvirta samalla pyörimisnopeudella. Äänenpainetta nostaa kuitenkin niin pyörimisnopeus kuin lapojen määrä ja kulmakin, joten juuri oikeaa tasapaino on haastavaa löytää.

Taulukossa 4 on esitelty Optimiserin antamat parhaat tuulettinvaihtoehdot eri toteutustavoille ja suluissa niiden yhteenlaskettu desibelimäärä. Yhteenlaskussa on huomioitu vaihtoehtoissa 1 ja 3 molemmat pienet, sekä yksi isompi tuuletin. Desibelien yhteen laskemiseen käytettiin kaavaa

$$L = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{L_i}{10}\right)} \right) \quad (1)$$

jossa L on ääniteho ja L_i on tuulettimien tuottamat desibelimäärät. Taulukon yläosassa on aluksi eritelty nykyinen tuuletin ja kaksi vaihtoehtoa sen korvaajaksi, jos jäähdyttimen rakenne päätettäisiin pitää ennallaan. Sen jälkeen vaihtoehdot on listattu hiljaisimmasta ratkaisusta äänekkäimpään.

TAULUKKO 4. Mahdolliset tuulettimet eri jäähdytinvaihtoehdoille

	Ilmavirta	Paine	Ääni (A)	RPM
Nykyinen jäähdytin/vaihtoehdot				
1060/8-8/25deg/PAG/5WR/Orifice	12,8	507	108	1660
1060/8-8/29deg/PAG/5WR/Orifice	12,8	507	104	1550
1060/5-5/33deg/PAG/5WR/Orifice	12,8	496	101	1700
(Hydrauliikka erotettu) (1)				
(HYD) 400/8-8/40deg/PAG/6HR/Orifice	2,45 (X2)	576	94,1	3500
(OTH) 800/6-6/41deg/PAG/7ZR/Orifice	7,46	593	96,1 (98,2)	1900
(Hydrauliikka erotettu) (2)				
(HYD) 630/9-9/40deg/PAG/5ZR/Orifice	4,92	582	95,2	2200
(OTH) 1060/8-8/31deg/PAG/6ZR/Orifice	7,27	565	96,2 (98,7)	1200
(Ahtoilma erotettu) (3)				
(AFT) 400/9-9/22,5deg/PAG/PMAX3R/Orifice	1,48 (X2)	291	89,1	2700
(OTH) 1060/8-8/32,5deg/PAG/6ZR/Orifice	10,1	574	97,7 (98,8)	1300
(Ahtoilma erotettu) (4)				
(AFT) 700/6-6/30deg/PAG/5ZR/Orifice	2,15	607	93,4	2000
(OTH) 1060/8-8/32,5deg/PAG/6ZR/Orifice	10,1	574	97,7 (99,0)	1300

Tuulettimen nimi, esimerkiksi 1060/8-8/25⁰/PAG/5WR/Orifice koostuu muutamasta tuulettimen parametrystä. Ensimmäinen luku kuvastaa tuulettimen halkaisijaa, kun 8-8 kuvastaa lapojen määrää suhteessa lapojen paikkoihin tuulettimen karassa. Sen jälkeen tuleva asteluku vastaa tuulettimen lapakulmaa ja sitä seuraava PAG tarkoittaa tuulettimen materiaalia joka tässä tapauksessa on lasivahvisteinen polyamidi. Kohta 5WR on kaksiosainen. 5W tarkoittaa esimerkiksi kuvissa 5 ja 6 nähtyä lavan mallia ja perään tuleva kirjain, joko R tai L on tuulettimen pyörimissuunta. Lopuksi tuleva Orifice Plate kuvastaa vain tuulitunnelin olemassaoloa. Tässä taulukossa nimen eteen on merkattu, onko kyse hydrauliikkaa (HYD), turboa (AFT) vai muita komponentteja (OTH) jäähdyttävästä tuulettimesta. Tuulettimen nimen jälkeen taulukossa on esitelty tuulettimen tuottama ilmavirta, staattinen paine, sekä ääni ilmoitetulla kierrosnopeudella.

Tuloksista näkyy, että eri toteutustapojen välillä ei olisi luultavasti suurta eroa äänenpaineessa. Ainoastaan pelkän tuulettimen vaihtaminen toiseen voidaan sulkea pois mahdollisista vaihtoehtoista, koska sillä ei saada tarpeeksi suurta hyötyä. Muilla toteutustavoilla alkuperäiseen tuulettimeen verrattuna kuitenkin mahdollista hyötyä on saatavilla noin 9 desibeliä. Ilmoitettu äänenpaine ei vastaa todellista mitattavaa tilannetta, mutta arvot ovat kuitenkin melko vertailukelpoisia keskenään.

Hiljaisimmassa vaihtoehdossa eli vaihtoehdossa yksi, on hydraulikalle erotettu omat tuulettimet eli siinä on kaksi pienempää tuuletinta jäähdyttämässä yhtä kennoa. Myös vaihtoehdossa kolme on käytetty kahta tuuletinta, mutta tässä vaihtoehdossa niillä jäähdytetäisiin hydraulikan sijaan ahtoilmaa. Vaihtoehtoissa kaksi ja neljä, jäähdyttimen kenno on erotettu kokonaan moottorimoduulin kylkeen omaksi jäähdyttimekseen niin, että molempia jäähdyttimiä jäähdyttää vain yksi tuuletin, mutta hydraulikan tai ahtoilman viemä pinta-ala on ”luovutettu” takaisin muiden kennojen käyttöön. Tämä lisääntynyt pinta-ala yhdistettynä alempaan tilavuusvirran tarpeeseen saa alkuperäisen kokoisen 1060mm tuulettimen käymään huomattavasti hiljaisemmin.

Yhteistä kaikille tuulettimille ovat niiden materiaali, sekä niissä huomioitu tuulitunneli. Materiaaliksi on valittu PAG-muovi (lasivahvisteinen polyamidi), mutta myös PPG-muovia (lasivahvisteinen polypropyleeni) voidaan käyttää. Näistä kahdesta PAG-muovi on huomattavasti vahvempaa, joten se on yleisimmin käytetty materiaali Metsolla. Jos sekin ei kestä työkoneen käytössä, voidaan lavat vaihtaa myös tarvittaessa alumiinisiin.

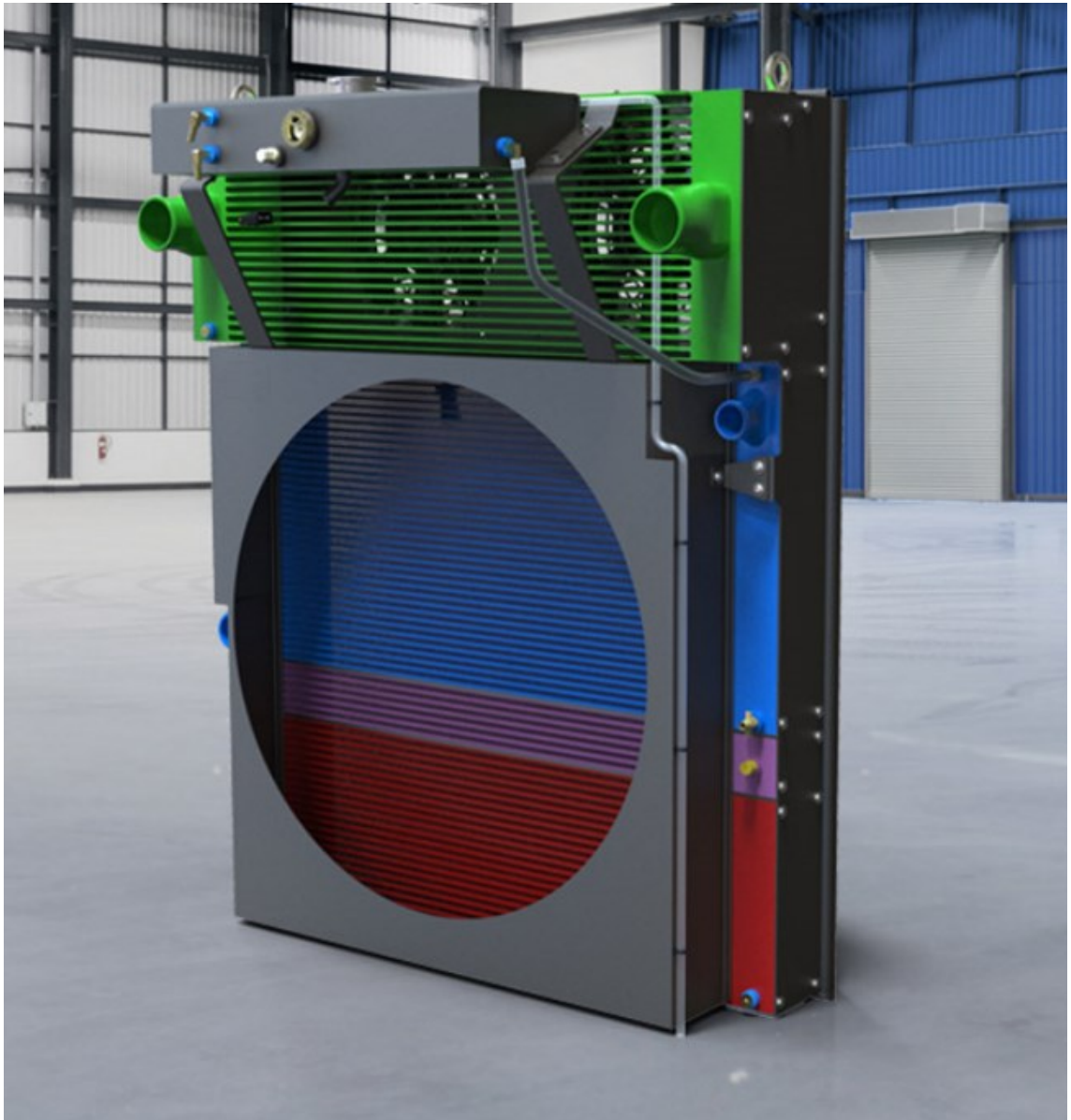
7 TOTEUTUKSEN VALINTA

7.1 Jäähdyttimen rakenteen valinta

Suosittelutoteutus valittiin arvioimalla kustannuseroja kahden valitun eri toteutustavan välillä. Jos toteutus tehtäisiin erottamalla ahtoilma tai hydrauliiikka omaksi jäähdyttimekseen, tulisi nykyisen jäähdyttimen hankintahintaan lisätä muutokseen vaadittavat komponentit. Näihin komponentteihin lukeutuvat vähintään uusi jäähdytin, sekä sen asennukseen tarvittavat letkut ja hydrauliiikkalohko. Uuden jäähdyttimen hinnan arviointiin käytettiin toisessa koneessa olemassa olevan jäähdyttimen hankintahintaa. Samasta jäähdyttimestä myös arvioitiin letkujen, sekä hydrauliikkalohkon hinta. Nämä lisättiin nykyisen jäähdyttimen hinnan päälle, josta oli vähennetty yhden hydrauliikkakennon sekä termoventtiilin hinta. Lopulta uuden toteutuksen hinta nousi alkuperäiseen jäähdyttimeen verrattuna noin 33%. Tässä hinnassa ei kuitenkaan ole huomioitu asennuksesta tulevia kustannuksia, eikä esimerkiksi jäähdyttimille tulevien tukirakenteiden kustannuksia. Nämä nostaisivat hintaa entisestään ainakin muutamilla prosenteilla.

Toinen mahdollisuus on pitää nykyisen jäähdyttimen kennot ennallaan, mutta jäähdyttää ahtoilmaa tai hydrauliiikkaa kahdella sille omistetulla tuulettimella. Tässä toteutuksessa hintaa nykyiseen jäähdyttimeen lisäisi kaksi pientä tuuletinta, niiden hydrauliikkamootorit, sekä moottoreille tarvittavat letkut. Kuten edellisessä toteutuksessa, ei tähänkään ole laskettu mukaan asennuksen kustannuksia. Tällä toteutustavalla lopullinen hinta nousee alkuperäiseen jäähdyttimeen verrattuna noin 15%.

Näiden laskelmien perusteella lopulliseksi toteutustavaksi päättyi yhden isomman ja kahden pienemmän tuulettimen yhdistelmä. Sen lisäkustannukset alkuperäiseen verrattuna jäisivät luultavasti alle puoleen vaihtoehdostaan. Valittu toteutus tulisi olemaan kuvan 13 mukainen. Erona kuvassa esitettyyn jäähdyttimeen, tulisi suunnittelussa jäähdyttimessä pienemmät tuulettimet samalle puolelle, kuin suurempikin tuuletin jolle kuvassa on paikka jo tehtynä. Kuvan pienemmät tuulettimet ovat asetettu puhaltamaan ilmaa ahtoilmakennon läpi, kun näissä ehdotetuissa toteutuksissa tuulettimet olisivat imemässä ilman kennon läpi. Kuvasta voi nähdä päällimmäisenä olevan ahtoilmakennon vihreällä, moottorin jäähdytyskennon sinisellä, polttoainekennon violetilla sekä hydrauliiikan kennon punaisella.



KUVA 13. Valitun toteutusmallin havainnekuva (Ymer 2018)

7.2 Jäähdytettävän komponentin valinta

Alkuperäisistä laskuista poiketen toteutukseen ei tulisi kuitenkaan aiemmin laskelmoitua tuulettimia vaan staattinen paine laskettiin 500 Pascaliin. Tämä johtuu siitä, että lopullinen tuuletin päätettiin optimoida noin 85% teholle. Laskemalla tuulettimen tuottamaa ilmavirtaa noin 15% saadaan hiljaisin tuuletin juuri sille alueelle, jossa tuuletin useimmiten toimii. Myös pienempien tuulettimien tuottama staattinen paine nostettiin samalle tasolle suuremman tuulettimen kanssa, koska paine-ero jäähdyttimien välillä aiheuttaisi ongelmia tuulettimien toiminnalle. Tarvittaessa tuuletinta voidaan ajaa noin 20% nopeammin

kuin annettu maksimiarvo, vaikka viimeiset 10% usein lisäävät vain melua, eivätkä ilmavirtaa (Karjalainen 2018). Laskemalla ilmavirtaa noin 15% voidaan varmistaa, että tuulettimella voidaan kuitenkin tarvittaessa tuottaa jäähdytyskennon vaatima maksimaalinen ilmavirtaus. Tämän takia tuulettimia ei voitu optimoida myöskään alemmas, vaikka tiedettäisiin, ettei tuuletin koskaan edes ylittäisi 85% maksimaalisesta tarvitusta jäähdytystehosta. Optimoinnin johdosta vaadittua ilmavirtaa per tuuletin pudotettiin noin 15%. Vaaditun ilmavirran muutoksen takia myös suositellut tuuletinvaihtoehdot vaihtuivat. Uudet vaihtoehdot ahtoilman tai hydrauliiikan erottamiselle on esitelty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Toteutustapojen mahdolliset tuulettimet

AHTOILMA JÄÄHDYTETTY ERIKSEEN

PIENET TUULETTIMET	Airflow (m ³ /s)	Stat. Pres (Pa)	Sound (A)	rpm
305/5-5/30deg/PAGI/3ZL/Orifice Plate	0,93	509	89,4	4700
ISO TUULETIN				
1001/6-6/31deg/PAG/6ZL/Orifice Plate	9,22	509	96,5	1400
YHTEENSÄ			97,93	

HYDRAULIIKKA JÄÄHDYTETTY ERIKSEEN

PIENET TUULETTIMET	Airflow (m ³ /s)	Stat. Pres (Pa)	Sound (A)	rpm
470/14-14/40deg/PAG/2HL/Orifice Plate	2,21	500	90,8	2900
ISO TUULETIN				
890/5-10/20deg/PAG/5WL/Orifice Plate	6,34	503	94,1	1960
YHTEENSÄ			96,97	

Kuten taulukosta nähdään, optimoimalla jäähdytin toimimaan 85% ilmavirralla kennon vaatimasta maksimista, saadaan aikaisempia meluarvoja pudotettua vielä hieman. Myös tuulettimien halkaisijoita on hieman muutettu vastaamaan paremmin kennojen ulkomitoja.

Taulukosta voi myös nähdä, että toteutustapojen välillä ei ole suuria eroja, jos huomioidaan vain yhteenlaskettu desibelimäärä. Hydrauliikkaa jäähdytettäessä kahdella tuulettimella saadaan 0,96 desibelin hyöty ahtoilman erottamiseen verrattuna. Vain desibelin eroista johtuen päätös näiden kahden toteutustavan välillä on hyvin haastavaa. Ilman kattavampia laskutoimituksia, sekä tietoja jäähdyttimen toiminnasta, ei voida varmuudella sanoa, että kumpi on parempi ratkaisu. Esimerkiksi lopullisen äänenpaineen arvioiminen käyttötilanteessa on lähes mahdotonta. Jos ahtoilmaa jäähdytetään kahdella pienellä tuulettimella, se kävisi usein 85% teholla maksimitarpeestaan, eli tuuletin tuottaisi taulukon 5 mukaisen 89,4 desibelin äänen. Isompi tuuletin joka huolehtii polttoaineen, moottorin, sekä hydrauliikan jäähdyttimestä ei kuitenkaan luultavasti kävisi usein edes 85% teholla. Tämän takia tuulettimen kierrosnopeus olisi usein alhaisempi kuin laskuissa, joka laskisi sen tuottamaa äänenpainetta alle pienten tuulettimien. Tällöin ahtoilmaa jäähdyttävien tuulettimien melu olisi lähempänä lopullista arvoa joka voisi olla tässä tapauksessa luokkaa 91 desibeliä. Tällöin ahtoilman erikseen jäähdyttäminen saattaisi näyttääkin paremmalta valinnalta kuin hydrauliikan, toisin kuin laskelmat ehdottavat.

Tätäkin ei kuitenkaan voida tietää tarkasti, koska hydrauliikan erottamalla jää ahtoilman jäähdyttäminen isomman tuulettimen vastuulle. Tällöin hydrauliikan jäähdytyksestä johtuva äänenpaine laskisi luultavasti alle taulukossa esitetyn 90,8 desibelin, mutta ahtoilmasta johtuen isompi tuuletin saattaa pyöriä usein lähempänä 85% tehoa, jolloin desibelien määrä saattaisi hyvinkin olla samaa 91 desibelin luokkaa kuin ahtoilmaa erotettaesakin. Lopulliseen jäähdyttimen tuottamaan äänenpaineeseen vaikuttaa myös se kuinka lähellä alhaisempi äänenpaine on korkeampaa. Jos ero kasvaa esimerkiksi noin 10 desibeliin, ei pienempää melua aiheuttava tuuletin/tuulettimet vaikuta juurikaan lopulliseen äänenpaineeseen. Jos taas ero on alle 5 desibelin luokkaa, saattaa lopulliseen äänenpaineeseen tulla yli 3 desibeliä lisää.

Tästä johtuen lopullista päätöstä näiden kahden mahdollisen toteutuksen välille ei tämän työn kirjoituksen aikana tehty. Asiaan tullaan paneutumaan tarkemmin vuoden 2019 alkupuolella, jolloin on tarkoitus jättää tarjouspyyntö testijäähdyttimestä. Valintaan tulee vaikuttamaan suuresti melutason lisäksi myös seuraavassa kappaleessa käsitelty tuulettimien ohjaus.

7.3 Tarvittavat muutokset

Aikaisemmasta jäähdytintarkaisusta poikkeavat edessä olevat tuulettimet aiheuttavat moottorimoduulin rakenteisiin joitain muutoksia. Jäähdytinkennot tulee järjestää uudelleen niin, että erikseen jäähdytettävä kenno tulee päällimmäiseksi. Myös vähiten jäähdytystehoja vaativa kenno eli polttoaineen kenno tulee laittaa pohjimmaiseksi, koska isomman tuulettimen nurkissa on suuret ”kuolleet kulmat” joissa ilma ei kulje kennon läpi kovinkaan hyvin. Uusien kennojen sijaintien johdosta myös letkut ja putket tulee suunnitella uudelleen, sekä jäähdyttimen saatetaan joutua siirtämään hieman kauemmas moottorista. Verrattuna muihin mahdollisiin toteutustapoihin, joissa uudelle erilliselle jäähdyttimelle pitäisi tehdä paikka moottorimoduulin kylkeen tai muualle koneeseen, ovat nämä nyt vaadittavat muutokset kuitenkin pieniä.

Riippuen lopullisesta valinnasta ahtoilman ja hydrauliiikan välillä, jäähdyttimen ohjaus tarvitsee joitain muutoksia. Jos päädytään jäähdyttämään ahtoilmaa erillisillä tuulettimilla, ohjataan niitä suoraan verrannollisesti moottorin käyntinopeuteen, kun suurempaa tuuletinta ohjataan entiseen tapaan sen perusteella, mikä komponentti vaatii kyseisellä hetkellä suurimman jäähdytystehon. Jos taas päädytään jäähdyttämään erikseen hydrauliiikkaa, joudutaan hankkimaan järjestelmään yksi venttiili lisää. Tällä venttiilillä ohjattaisiin pienien tuulettimien pyörimistä. Tämä johtuu siitä, että hydrauliiikkaöljy pyritään pitämään noin 40 celsiusasteisena. Silloin kuin öljyn lämpötila laskee alle 40 asteen, ei öljy kierrä jäähdyttimen kennoissa lainkaan termoventtiilin ansiosta, jolloin tuulettimia ei haluta pyörittää turhaan. Tässä ratkaisussa tuulettimet pyörisivät vain silloin, kun hydrauliiöljy kiertää jäähdytinkennossa.

7.4 Mahdollinen optimointi

Kun jäähdyttimen tuulettimet oltiin saatu valittua, keskityttiin sen mahdolliseen optimointiin. Mahdollisen alhaisen melun saavuttamiseksi olisi mahdollista tutkia aiemmin mainittua tuulitunnelin muotoilua, sekä työn aikana jäähdytinvalmistajat esittivät mahdollisuuden käyttää tuulettimissa Multi-Wingin tarjoamia EPS harjaksia tai sitä vastaavia tuotteita. Nämä harjakset voidaan asentaa tuulettimen lapojen kärkeen ja niiden pitäisi parantaa tuulettimen hyötysuhdetta, vähentää melua, sekä lisätä tuulettimen tuottamaa tilavuusvirtaa. Harjasten hyödyt perustuvat siihen, että harjakset vähentävät tai kokonaan

poistavat välin tuulettimen ja tuulitunnelin välillä (Multi-Wing 2018). Normaalisti tämä väli on ollut 0,5% lavanpituudesta, kuten kappaleessa 5 on käsitelty. Harjakset mitoiteetaan niin, että ne ottavat aluksi kiinni tuulitunnelin reunaan, mutta ajan myötä ne kuluvat juuri oikeaan pituuteen, tiivistäen välin. Näiden harjasten toimivuudesta ja kestävyydestä erityisesti kivenmurskaus käytössä on kuitenkin suuria epäilyksiä, joten harjakset jätetään ainakin toistaiseksi pois tuulettimesta.



KUVA 14. Multi-Wing EPS -harjasten havainnekuva (Multi-Wing 2018)

Aiemmin mainittu tuulitunnelin muotoilu on myös mahdollisuus saada jäähdytintä hiljaisemmaksi, mutta toistaiseksi myös se jää auki, koska tuulitunneli on rakennettu metallista. Jotta tuulitunnelin muokkaus olisi kustannustehokasta ja helppoa, tulisi se vaihtaa kokonaan muoviseen. Muotoillulla tuulitunnelilla ilmavirta saataisiin ohjattua paremmin suoraa kennoille.

Verrattuna aikaisempaan jäähdyttimeen, ollaan uuteen malliin toteuttamassa myös suunnankääntö mahdollisuus. Tällä ominaisuudella saataisiin tuulettimia pyöritettyä päinvas-taiseen suuntaan hetken korkeilla kierroksilla. Tämä ominaisuus parhaimmillaan puhdis-taisi kennot helposti ja nopeasti jäähdytintä tukkivasta irtopölystä.

8 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli suunnitella mahdollisimman kannattava ratkaisu jäähdytinmelun vähentämiseksi. Tässä tavoitteessa onnistuttiin hyvin ja uusi ratkaisu vaatii verrattain vain pieniä muutoksia nykyiseen jäähdyttimeen, sekä moottorimoduulin komponentteihin. Ratkaisuksi ongelmaan suunniteltu jäähdytin saa melutasoja madallettua alkuperäisestä mahdollisesti vajaalla kymmenellä desibelillä. Multi-Wing Optimiserin antamat arvot eivät vastaa käytännön mittauksia, mutta niiden eroja voidaan pitää suuntaa antavina.

Lopullista ratkaisua ahtoilman ja hydrauliiikan erottamisen välillä ei ajankäytöllisistä syistä ehditty vielä työn kirjoittamisen aikana valitsemaan. Lopulliseen valintaan vaikuttaa tuotannollinen näkökulma jäähdyttimen valmistuksesta ja kuluarvio.

Työ eteni suunnitelmien mukaisesti, vaikka pelkällä Optimiserilla jäähdyttimen suunnittelu ja kaikkien siinä huomioitavien asioiden huomioon ottaminen onkin välillä haastavaa tai jopa mahdotonta. Tämän työn pohjalta on kuitenkin tarkoitus tehdä testilaitetilauksen vuoden 2019 alkupuolella. Vasta tilauksesta saatavasta hinta-arviosta, sekä testilaitteiston mittauksien jälkeen voidaan varmuudella sanoa, onko ratkaisu lopulta niin kannattava, että se otettaisiin tuotantoon.

Jatkokehityskohteita olisivat toistaiseksi pois jätetyt muotoiltu tuulitunneli tai tuulettimen lapojen kärkien suunnittelu. Yksi suurimpia ongelmia jäähdyttimessä on myös sen imevän ilman pölyisyys. Pöly tukkii jäähdyttimiä, sekä kuluttaa tuulettimia, vaikkakin tämä ongelma on hieman pienempi koteloidun murskaimen Urban-mallissa, johon tässä työssä keskityttiin. Tukkeutuvat kennot nostavat tuulettimien kierrosnopeutta ja kierrosnopeus nostaa jäähdyttimen melutasoa. Ongelman ratkaisemisella myös esimerkiksi tuulettimen lapojen kärkiin esitetyt harjakset kestäisivät huomattavasti paremmin, jos ilma saataisiin jäähdyttimelle puhtaampana. Tämän ongelman ratkaiseminen luultavasti vaatisi kuitenkin jo huomattavaa koko moottorimoduulin tai koneen uudelleen suunnittelua.

LÄHTEET

Baxa, Donald E. 1982. Noise Control in Internal Combustion Engines. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Karjalainen, A. Koneakustikko. 2018. Haastattelu 2.11.2018. Haastattelija Ratilainen, V. Tampere.

Metso. 2018. Lokotrack LT106 mobile jaw crushing plant. Luettu 26.11.
<https://www.metso.com/products/crushing-plants/mobile/jaw/lt106/>

Metso. 2018. Lokotrack Urban crushing plant. Luettu 26.11.
<https://www.metso.com/products/crushing-plants/mobile/jaw/lokotrack-urban/>

Metso. 2018. Metso Vuosikatsaus 2017. Luettu 26.11.
https://www.metso.com/siteassets/documents/2018/finnish/metso_2017_ar_fi_2.pdf

Multi-Wing. 2018. Multi-Wing EPS. Luettu 13.12.
<http://www.multi-wing.com/Products/EPS>

Pesonen K. 2005. Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita. Helsinki: Yliopistopaino


Valtioneuvoston asetus kivenlouhimojen, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta 9.9.2010/800

LIITTEET

Liite 1. Lokotrack Urban LT106 -esite


Lokotrack® Urban™

Lokotrack® Urban LT106™ opens the way for crushing in densely populated environments, such as city centers. It enables significant up to 60% better noise protection, and it cuts dust emissions remarkably. All combined, this crushing plant makes it easier for you to get an environmental permit, opening completely new opportunities for your business.



metso

Expect results



Easier to get an environmental permit

The Lokotrack® Urban™ series was developed to enable you to run your crushing operations in the most heavily regulated urban locations. Getting an environmental permit is often a challenge when crushing in densely populated areas. But the new Lokotrack Urban series makes your operations much easier while minimizing the impact for people living and working around site.

Up to 60% drop in 85 dB(A) distance

Environmental permits are usually based on the noise level caused by the crushing operations. Although noise of 85 dB(A) is the most commonly defined limit that requires ear protection, even lower levels can be disturbing for people living around crushing sites. With Lokotrack Urban LT106 patent pending solution, the distance drops by approximately 60%, from 23–25 meters (75–82') to 9–11 meters (30–36)*. Outside a protected area, this distance can be even more significant, making a big difference for civilians around you.

Dust suppression system

In addition to very low noise emissions, the Lokotrack Urban series includes a very advanced dust suppression system. The dust is funneled to stay inside the mobile crushing plant and a high-pressure water spraying system absorbs any dust particles from the air.

The Lokotrack Urban series includes crushing plants that are very easy to move. Environmental features are integrated into the mobile plant that do not require any special attention or maintenance. Urban recycling helps make your business more profitable when crushing can be done directly close to city centers. In the best case, aggregates can be used in the same location and hauling can be avoided completely.

Lokotrack Urban LT106

Crusher	Nordberg® C106™
Feed opening	1 060 x 700 mm (42" x 28")
Engine	CAT® Tier 4 Final, 224 kW (300 hp)
Weight	46 000 kg (101 000 lbs)

Benefits

- Up to 60% reduction in the 85 dB(A) noise protection distance
- Low dust emissions
- Easier to get an environmental permit

*Disclaimer notice: Process noise is highly dependent on process parameters, such as feed material, feed size, by-pass arrangements, crusher setting and ambient temperature. Actual values may vary depending on operation conditions and other equipment used on site. Metso Minerals, the, accept no additional responsibility related to the noise information provided in this example.

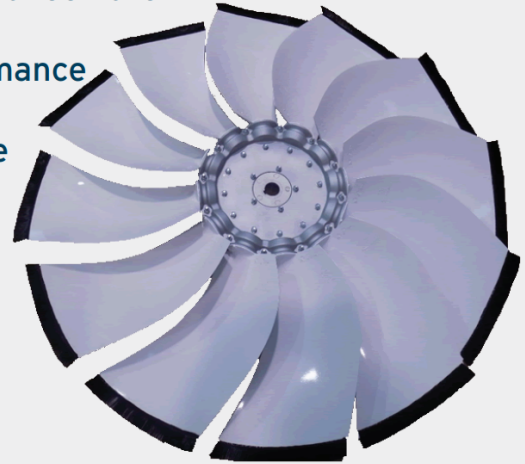


Lokotrack Urban crushing plants are equipped with unique features to minimize noise and dust emissions caused by crushing operations.



Multi-Wing EPS™ - Closing the gap...

- A new add-on to close the gap between the shroud and the fan
- Improving **Efficiency and Performance** while reducing **Sound**
- Applicable to the extensive range of Multi-Wing fans such as sickle fans for engine cooling



Multi-Wing EPS™ for engine cooling

Improvements on performance
- pressure, noise and efficiency

Strength tests show maximum durability in tough environments
such as off-road applications

High chemical resistance towards engine lubricants
verified by third party testing

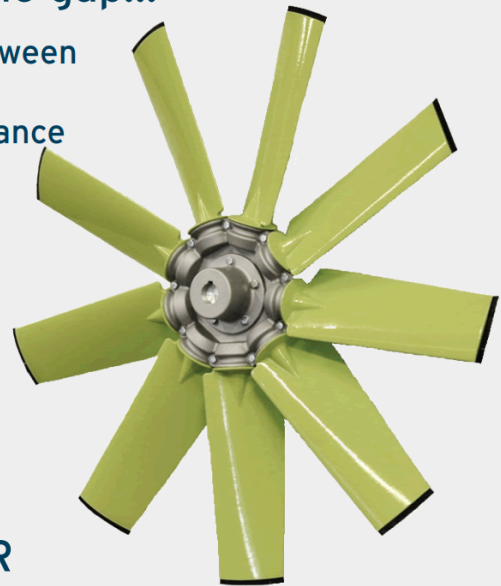
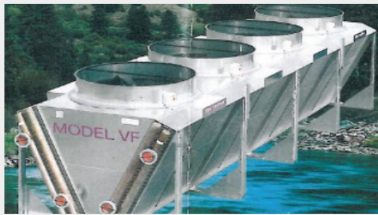
Improved pressure capabilities up to 25%

Reduced noise emission in high pressure range

Improved efficiency until stall zone

Multi-Wing ϵ PS™ - Closing the gap...

- A new add-on to close the gap between the shroud and the fan
- Improving **Efficiency and Performance** while reducing **Sound**
- Applicable to the extensive range of Multi-Wing fans such as airfoil fans for HVAC-R



Multi-Wing ϵ PS™ for HVAC-R

Improvements on efficiency
- ErP and noise

Multi-Wing ϵ PS ensure ErP compliance by large efficiency increases

High chemical resistance verified by third party testing make Multi-Wing ϵ PS suitable for use in HVAC applications

Improved efficiency up to 8% points

Dramatically reduced noise emission

Improved performance - reduced stall effect