



Turboahtaminen

Sopivan ahtimen valinta ottomoottorille

Petri Kettunen

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2019

Ajoneuvotekniikka
Auto- ja Korjaamotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Auto- ja Korjaamotekniikka

KETTUNEN, PETRI
Turbohtaminen
Sopivan ahtimen valinta ottomoottorille

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Joulukuu 2019

Tämän opinnäytetyön taustalla on turbohtamiseen liittyvä autoprojekti, johon oli tarve selvittää sopivan ahtimen koko. Työssä käsitellään turbohtamisen teoriaa sisältäen turbohtimen rakenteen, laskentaan tarvittavat kaavat sekä laskuesimerkin. Lisäksi työstä käy ilmi vinkkejä turbohtimen asennukseen sekä toimivan kokoonpanon rakentamiseen käytännössä.

Työn laskennallisessa osuudessa laskettiin moottorin tarvitsema ilmamäärä huipputeholla, minkä jälkeen ilmamäärää verrattiin turbohtimen kompressorin tuottoon. Laskennassa on käytetty esimerkkinä toimivan auton lukuarvoja, mutta osa suureista on kuitenkin arvioituja tietojen heikon saatavuuden vuoksi. Vaikka osa laskennan suureista on arvioituja, voi tuloksista päätellä ahdinvalinnan onnistuneen, sillä ahtimen kokoluokka riittää teoreettisesti tehotavoitteen. Lisäksi kokoonpanon toimivuus käytännössä vaikuttaa erittäin hyvältä.

Autoon valittiin loppujen lopuksi eri ahdin kuin opinnäytetyössä oli tarkastelussa. Päätökseen vaikutti halvempi hankintahinta, joka jättää enemmän rahaa käytettäväksi toisille projektin osa-alueille. Valitun ahtimen yksinkertaisempi rakenne mahdollistaa myös huoltamisen itse, ja ahtimessa käytetyt osat ovat yleisiä, jolloin niiden saatavuus on parempi.

Työssä olisi voinut saada parempia tuloksia esimerkiksi dynamometrillä mitatulla teholla, jolloin tehotavoitteen pääsyn olisi voinut todentaa. Lisäksi useampaa eri kokoista ahdinta vertailemalla, olisi ahtimen koon käytännön vaikutuksia pystynyt todistamaan paremmin.

Asiasanat: turboahdin, ottomoottori, kompressori, turbiini, A/R -suhde

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Vehicle Engineering
Option of Automotive and Garage Engineering

KETTUNEN, PETRI

Turbocharging

Choosing the Right Turbocharger for an Internal Combustion Engine

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 2 pages

December 2019

The purpose of this thesis was to gather information about the process of picking a right size turbocharger for a specific internal combustion engine. The thesis consists of the functioning and the structures of a turbocharger, the needed formulas and an example of choosing a suitable turbocharger by calculating.

The needed data was collected from a real project car build so that the theoretical results could be compared with the reality. The first stage of this thesis was to get the car running and driving. That made collecting the data possible. After that it was time to calculate and compare the results.

As for the result, it can be said that the theoretical calculations gave a good idea what kind of a turbocharger to choose. At the end of this thesis, it is considered how well do the calculations match with the wanted features, although approximations were used with some of the variables.

Even though a good turbocharger was found by calculating, different manufacturers charger was chosen for the car. That was because of the cheaper price, better maintenance possibilities and better spare parts availability. It would be interesting to test the car with multiple different sized chargers and for example see the affect of a smaller size charger. In addition, this thesis could have had results of the gained power just to conclude if the set goal was achieved.

Key words: turbocharger, internal combustion engine, compressor, turbine, a/r -ratio

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TURBOAHDIN.....	7
	2.1 Toimintatapa	7
	2.2 Turboahtimen rakenne ja komponentit	8
	2.2.1 Turbiini	8
	2.2.2 Keskiö/Laakeripesä.....	10
	2.2.3 Kompressori	12
	2.2.4 Hukkaportti ja ahtopaineen ohjaus	13
	2.2.5 Sakkaus.....	19
3	AHTIMEN VALINTA	21
	3.1 Teoria	21
	3.2 Kompressorin mitoitus	22
	3.2.1 Kompressorikartta	23
	3.2.2 Painesuhde.....	24
	3.2.3 Ilmamäärä	25
	3.2.4 Massavirta.....	25
	3.3 Turbiinikotelon valinta	26
	3.3.1 Yleistä	26
	3.3.2 A/R -suhde	27
4	LASKENTA JA TULOKSET	30
	4.1 Auto sekä tavoite	30
	4.2 Laskuesimerkki	31
	4.3 Tulokset.....	33
5	POHDINTA	35
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	39
	Liite 1. Loppukesän ajoista tallennettua livedataa.....	39
	Liite 2. Rakennetun moottorin osalista	40

ERITYISSANASTO

Inducer eli ottopää	Imu-/pakosiiven osa, johon kaasu törmää ensimmäisenä ahtimeen tullessaan.
Exducer eli jättöpää	Imu-/pakosiiven osa, joka johdattaa kaasun pois ahtimen koteloista.
Ahtopaine	Ahtimen tuottama ylipaine moottorin imupuolella.
Pakopaine	Moottorin tuottama pakokaasun paine ennen pakosiipeä.
Ahtoputki	Putki, jolla ahtimen puhaltama ilma johdetaan moottorin käytettäväksi.
Solenoidi	Sähkömekaaninen toimilaite, joka luo lineaarista liikettä sähkövirran avulla.
Absoluuttinen ahtopaine	Ahtopaine + normaali ilmanpaine

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toimia apuna sopivan turboahtimen valinnassa. Työssä käsitellään teoriaa turboahtamisen toimintaan, rakenteeseen sekä mitoittamiseen liittyen. Lukijalle on tarjolla myös käytännön vinkkejä asennukseen sekä toimivan kokonaisuuden rakentamiseen.

Työn toisessa kappaleessa käydään läpi turboahtimen toimintaa sekä rakennetta. Kappaleessa kerrotaan hieman yksityiskohtaisemmin ahtimen osien tehtäviä ja käydään läpi lisälaitteita ahtimen suojaukseen ja ahtopaineen ohjaukseen liittyen.

Kolmannessa osiossa keskitytään itse mitoittukseen liittyviin asioihin ja teoriaan valinnan taustalla. Tässä osiossa myös tuodaan esille asioita, joita kannattaa ottaa huomioon ahdinta valittaessa sekä otetaan kantaa valintaan liittyvään järjestykseen.

Lopuksi seuraa laskennallinen osuus, jossa lasketaan esimerkkinä toimivalle autolle sopivan kokoinen kompressori ja mietitään sopivaa pakopesää tukemaan kompressorin oikeaa toimintaa. Pohdinta -osiossa esitellään tarkemmin esimerkkinä toimivaa autoa sekä pohditaan työn onnistumista ja työn tuomaa helpotusta ahtimen valintaan.

Tämä opinnäytetyö käsittelee ainoastaan turboahtimia, ja siksi mekaaniset ahtimet jäävät huomioimatta. Lisäksi niin kutsuttuja VNT eli muuttuva geometrisia ahtimia ei käsitellä sen enempää työssä, koska itse mitoituslaskenta koskee vain tavallista hukkaportilla ohjattua turboahdinta.

Lisäksi tässä työssä on tarkoituksena käsitellä vain jälkikäteen turboahtamista ja nimenomaan virityskäyttöä. Eli uusien moottoreiden kehittäminen turboahtamisen näkökulmasta sekä ekologinen näkökulma jäävät pienemmälle huomiolle.

2 TURBOAHDIN

2.1 Toimintatapa

Turboahdin eli pakokaasuahdin on moottorin lisälaite, jolla moottorin tehoa sekä hyötysuhdetta voidaan kasvattaa. Turboahdin hyödyntää moottorista poistuvan pakokaasun liike- sekä lämpöenergiaa tuottaakseen suuremman ilmamäärän moottorin käytettäväksi. Yksinkertaistettuna turboahdin on pakokaasun voimalla toimiva ilmapumppu. (Bell 1997, 3.)

Kun moottoriin syötetään enemmän ilmaa, on mahdollista polttaa myös enemmän polttoainetta puhtaasti, minkä ansiosta moottorista ulos saatava teho kasvaa. Pakokaasun muuten hukkaan menevän energian hyödyntämisellä on suora vaikutus myös moottorin hyötysuhteeseen.

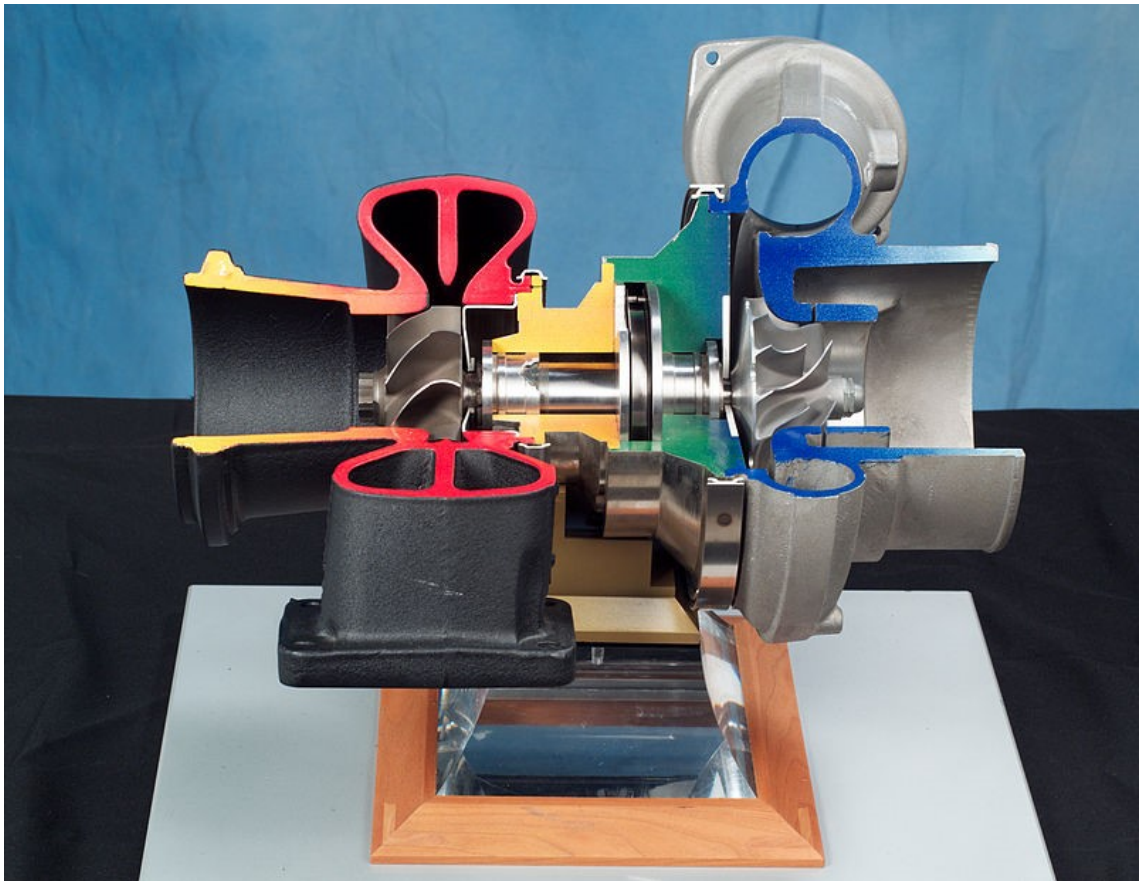
Turboahdin vaikeuttaa pakokaasun poistumista moottorista ja siksi aiheuttaa myös hieman häviöitä. Turboahtimella saavutettu hyöty on kuitenkin paljon suurempi kuin sen aiheuttamat häviöt. (Bell 1997, 5-6.)

Turboahdinta käyttämällä voidaan siis pienemmästä moottorista saada vastaavia teho- ja vääntölukemia kuin suuremmasta vapaasti hengittävästä moottorista. Tätä ilmiötä kutsutaan myös nimellä downsizing, joka onkin yleistynyt autovalmistajien keskuudessa 2000 -luvun alkupuoliskolta lähtien. Ekologisuus ja pieni kulutus ovat nousseet merkittävään asemaan autoteollisuudessa, mistä johtuen turboahtimen hyötyjä on vaikea kieltää. Downsizing onkin auttanut autojen kulutuksen ja näin ollen päästöjen pienentymiseen merkittävästi.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin enemmän tehon lisäykseen ja bensiinimoottorin turboahtamiseen jälkikäteen kuin polttoainetaloudellisuuteen tai ekologiseen näkökulmaan.

2.2 Turboahtimen rakenne ja komponentit

Turboahtimessa on kolme pääkomponenttia, kompressorikotelo, turbiinikotelo sekä keskiö, toiselta nimeltään laakeripesä. Lisäksi ahtimessa on laakeripesän läpi menevä akseli, jonka molemmissa päissä on siipi. Siivet on sijoitettu kompressorikotelon sekä turbiinikotelon sisään. (kuva 1.)



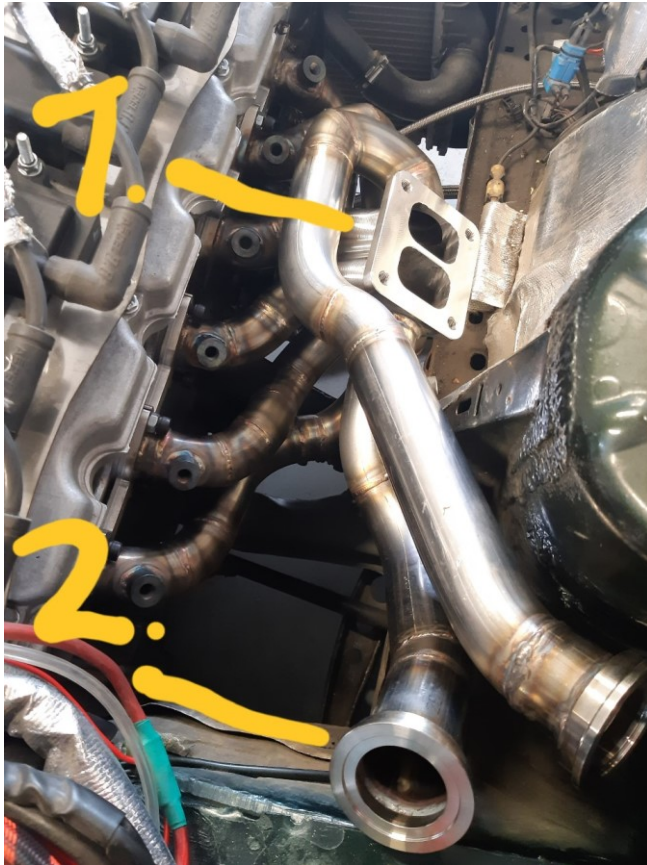
KUVA 1. Turboahtimen läpileikkaus. (www.grc.nasa.gov)

2.2.1 Turbiini

Ahtimen turbiinipuoli muuttaa pakokaasun liike- ja lämpöenergiaa siipien pyörimisenergiaksi. Turbiinipuolen tärkeimmät komponentit ovat turbiinikotelo, turbiinisiipi sekä hukkaportti. Hukkaportteja on olemassa ulkoisia sekä integroituja. Hukkaporteista lisää myöhemmin opinnäytetyössä.

Turboahdin vaatii toimiakseen siis pakokaasua. Pakotahdin aikana moottorista poistuva pakokaasu johdetaan ahtimen turbiinikoteloon pakosarjan välityksellä.

Pakosarjan ahtimen puoleisessa päässä on kollektori (kuva 2.), joka nimensä mukaisesti kerää ja kokoaa yhteen jokaiselta sylinteriltä poistuvan pakokaasun, ennen turbiinikotelo. Pakokaasu kootaan suhteellisen pieneen tilaan kollektorin avulla sen vuoksi, että pakokaasun virtausnopeus ja pakosarjan sisällä oleva paine kasvaisivat. Kuvaan 2 on merkitty kollektori numerolla 1. ja hukkaporttien laipat numerolla 2.



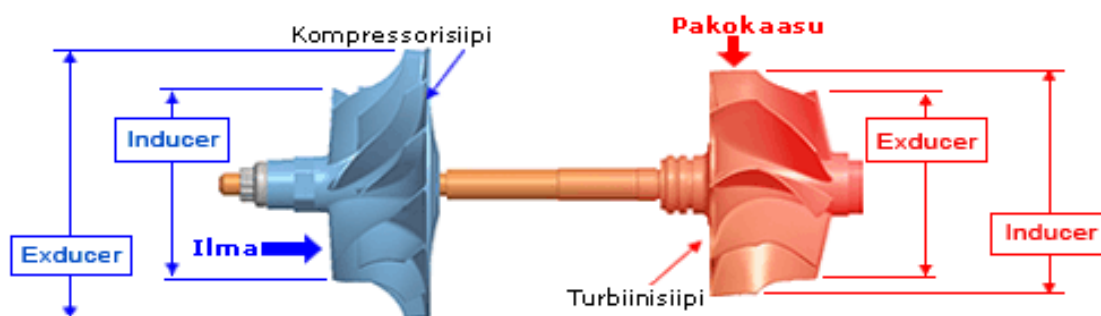
KUVA 2. Turbokäyttöön tarkoitettu pakosarja sylinterikanteen asennettuna.

Pakokaasun liike-energian lisäksi pakosarjaan syntyvän ylipaineen ja normaalin ilmanpaineen ero aiheuttaa pakokotelon läpi virtauksen, sillä sekä paine että lämpötila pyrkivät tasaantumaan systeemien välillä. Systeemeillä tässä tilanteessa tarkoitetaan pakokotelo ja pakokotelon sekä pakoputkiston jälkeistä ulkoilmaa.



KUVA 3. Borgwarner -valmistajan turbiinikotelo. (www.industrialinjection.com)

Turbiinikotelon (kuva 3.) läpi kulkeva virtaus törmää turbiinisiipeen. Turbiinisiiven profiili on sellainen, että virtaava pakokaasu osuu ensin siiven ulkokehälle eli ns. ottopäähän ja liikkuu siipenvälistä kohti jättöpäätä ja lopulta pakoputkeen. Tällöin turbiinisiipi alkaa pyöriä akselinsa ympäri. Turbiinisiipi pyörittää laakeripesän läpi menevän akselin välityksellä kompressorisiipeä (Turboahdin ABC).

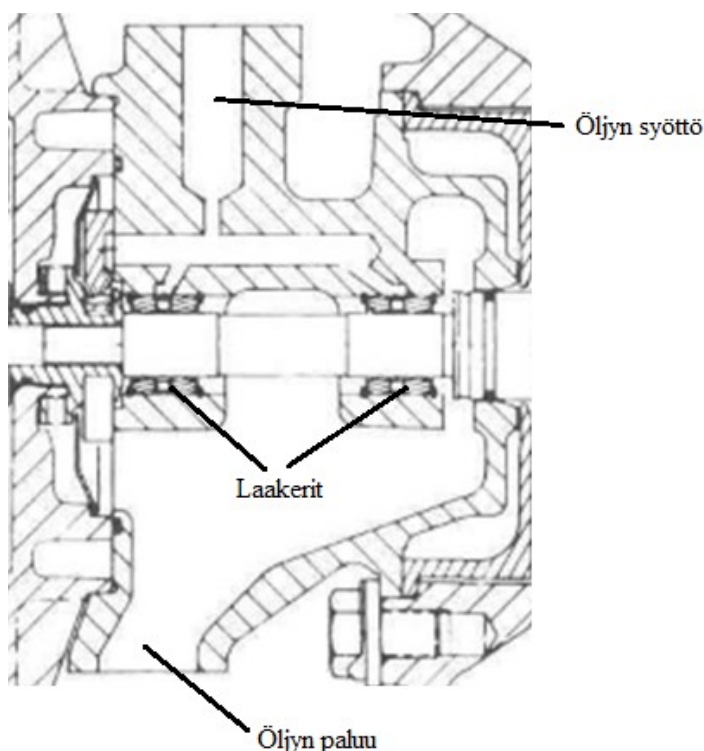


KUVA 4. Siipien rakenne ja nimitykset. (www.kosunenracing.com)

2.2.2 Keskiö/Laakeripesä

Laakeripesä eli keskiö sijaitsee turbiinikotelon ja kompressorikotelon välissä. Sen tarkoituksena on kannatella läpi menevää akselia ja lisäksi tarjota akselin

laakereille voitelu. Siksi turboahtimelle tarvitaan öljynkierto, joka lähes poikkeuksetta on yhdistetty moottorin öljynkiertoon. Ahtimelle tuodaan siis moottorilta linjaa pitkin paineistettua öljyä ja mentyään laakeripesän läpi, palaa öljy moottoriin paluuputkea myöden. (kuva 5.) Akselin laakerointi on usein liukulaakereilla toteutettu, mutta nykypäivänä myös kuulalaakerointi on yleistynyt turboahtimien keskuudessa. (Turboahdin ABC.)



KUVA 5. Keskiön poikkileikkaus. (Corky Bell, muokattu, 1997)

Joissain ahtimissa on öljynkierron lisäksi nestejäähdytys keskiölle, jolloin ahdin yhdistetään myös moottorin jäähdytysjärjestelmään. Tämä auttaa turboahdinta pysymään viileämpänä ja pidentää laakereiden sekä tiivisteiden käyttöikää. Ahtimissa ilman jäähdytysnestekanaavia, toimii voiteluun tarkoitettu öljy myös jäähdyttäjänä. Pelkästään öljyllä jäähtyvässä ahtimessa on rankemman ajon jälkeen riskinä öljyn palaminen laakeripinnoilla. Tämä johtuu ahtimen ja laakeripesän todella korkeista lämpötiloista ja siitä, ettei öljy enää kierrä moottorin sammuttamisen jälkeen. (Bell 1997, 39.)

Asennuksen kannalta laakeripesä tulisi olla sellaisessa asennossa, että öljyn syöttö on yläpuolella ja paluu alhaalla. (Bell 1997, 47.) Nestejäähdytyksellä varustettuja ahtimia varten keskiötä tulisi vielä pyöryttää n. 25 astetta siten, että jäähdytysnesteen syöttö on alempana kuin sen paluu.

2.2.3 Kompressor

Ahtimen kompressoripuoli koostuu kompressorikotelosta ja kompressorisiivestä. (kuva 6.) Kompressorikotelo on kiinni laakeripesässä ja kompressorisiipi samassa akselissa turbiinisiiven kanssa. Pyöriessään, alkaa kompressorisiipi imeä ilmaa kompressorikoteloon. Kompressorisiiven muoto on sellainen, että ilma imeytyy koteloon sisälle siiven ottopäästä. Siiven profiilia pitkin ilma kulkeutuu ensin jättöpäähän, joka muuttaa ilman kulkusuunnan kohti kompressorikotelon ulostuloa. Ulostulosta ilma kulkee ahtoputkeen. Ahtoputkea pitkin ilma johdetaan moottorin imupuolelle ja moottorin käytettäväksi.



KUVA 6. Holset Pro55 -kompressorikotelo ja -kompressorisiipi.

Ahtoilma lämpenee merkittävästi menessään turboahtimen läpi. Lämmin ilma sisältää vähemmän moottorin tarvitsemaa happea kuin kylmä ilma. Turboahtamisella haetaan nimenomaan hapen määrän lisäystä, joten ilman lämpeneminen ei ole edullista lopputulosta tavoitellessa. Tämän vuoksi ahtoputkiston väliin asennetaan useassa tapauksessa ahtoilman jäähdytin tai yleisemmin välijäähdytin. Välijäähdytin (kuva 7.) sijaitsee useimmiten auton keulassa, jäähdyttimen etupuolella. Ajoviima kulkee jäähdyttimen säleikön läpi ja sitoo itseensä ahtoilman lämpöenergiaa, jolloin ahtoilma jäähtyy. (Bell 1997, 50.)



KUVA 7. Välijäähdytin asennettuna etupuskurin sisään

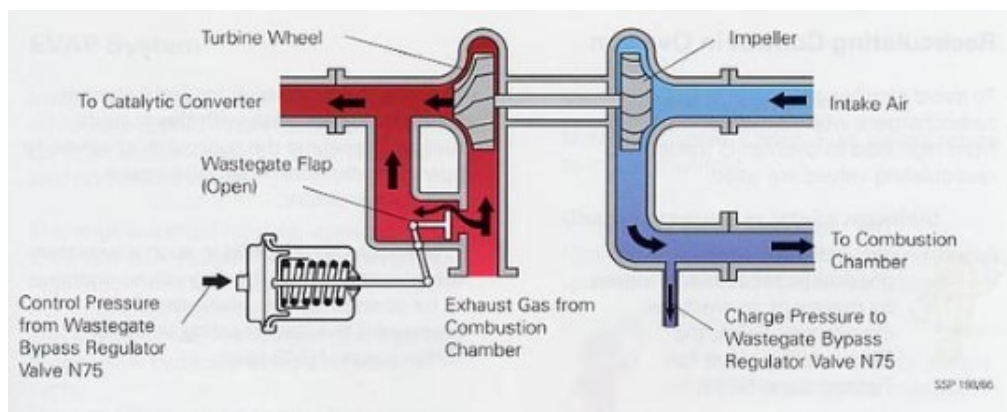
2.2.4 Hukkaportti ja ahtopaineen ohjaus

Kuten jo aiemmin mainittiin, on olemassa käytännössä kahden mallisia hukkaportteja. Ulkoisia ja integroituja, mutta käyttötarkoitus ja toimintatapa on molemmissa sama. Hukkaportin tehtävä on rajoittaa turboahtimen tuottamaa ahtopainetta ohjaamalla turbiiniin johdetun pakokaasun määrää. Turbiinikotelon läpi virtaavan pakokaasun määrä vaikuttaa suoraan ahtimen akselin pyörintänopeuteen, ja siksi myös ahtopaineeseen. (Bell 1997, 143-144.)

Integroitu eli kiinteä hukkaportti on osa ahdinta. Sen komponentteja ovat hukkaportin kello (usein kiinni kompressorikotelossa), välitanko sekä hukkaportin läppä. Hukkaportin kellon sisällä on kalvo, jonka alle johdetaan ahtimen tuottama paine. Kalvon yläpuolella on jousi, jonka jousivoima taistelee ahtopaineen tuottamaa voimaa vastaan. Kun ahtopaineesta johtuva voima on suurempi kuin jousivoima, alkaa hukkaportin kalvo liikkua.

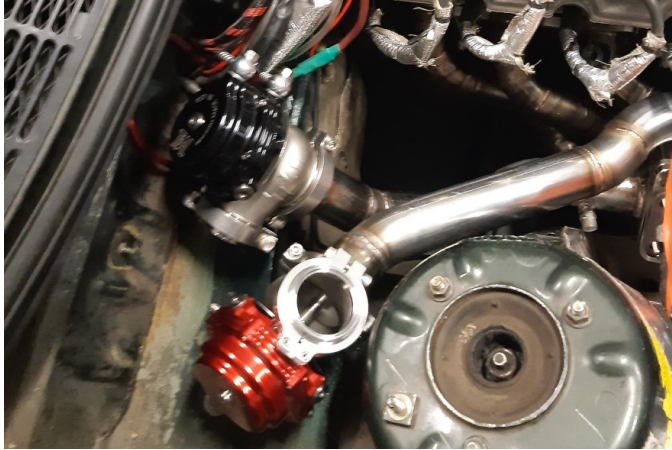
Kalvon keskellä on kiinni välitanko, joka liikkuu kalvon mukana. Välitangon toisessa päässä on kiinni vipu, joka ohjaa hukkaportin läpän toimintaa. Hukkaportin läppä sijaitsee turbiinikotelon sisällä ja peittää poisto aukon, jonka kautta pakokaasua voidaan johtaa pakosiiven ohi.

Ahtopaineen aiheuttaman voiman voittaessa jousivoiman, liikkuu välitanko ja sen välityksellä aukeaa hukkaportin läppä. Tästä johtuen alkaa pakokaasua virrata pakosiiven ohi, jolloin ahtimen akselin pyörintänopeus ei kasva enempää. Mikäli pakokaasua pääsee liikaa pakosiiven ohi, alkaa ahtopaine laskea. Siinä tilanteessa jousivoima painaa kalvon takaisin alas ja läppä sulkeutuu. (kuva 8.)

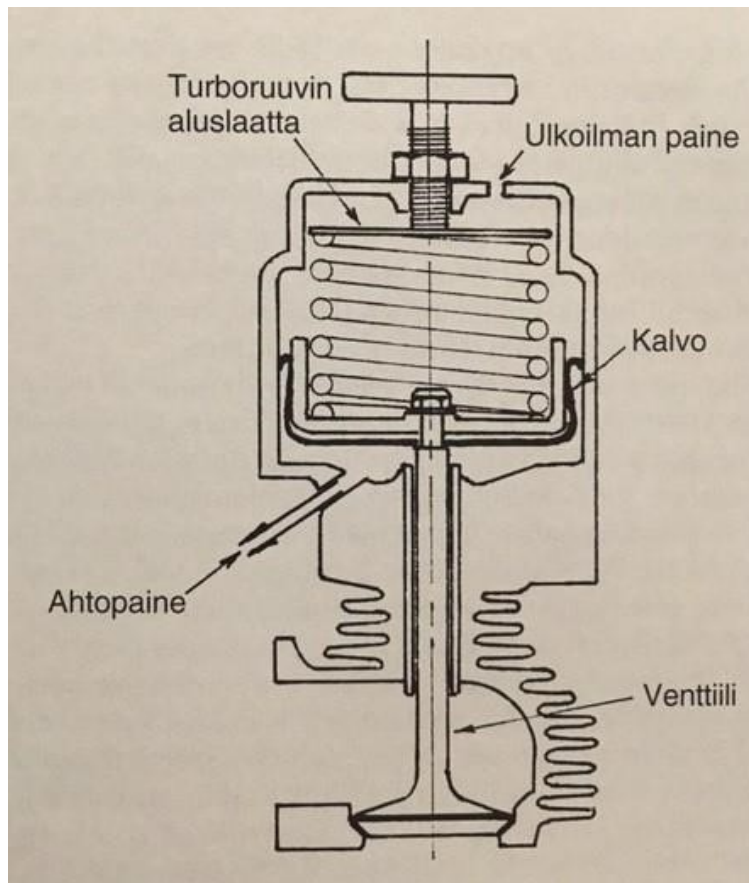


KUVA 8. Integroidun hukkaportin rakenne. (<https://s4wiki.com>)

Ulkoisen hukkaportti (kuva 9.) toimii tismalleen samalla tavalla kuin integroitu. Eroja löytyy lähinnä komponenteista ja hukkaportin sijainnista. Ulkoinen hukkaportti ohjaa pakokaasun jo pakosarjalta ohi ahtimen turbiinikotelon. Ulkoista hukkaporttia varten pakosarjan kollektorilta johdetaan putki, jonka päähän hitsataan hukkaporttiin sopiva laippa. Ulkoisessa hukkaportissa läpän tilalla on venttiili, joka muistuttaa paljolti moottorin venttiilikoneiston venttiiliä. Hukkaportin ja laipan väliin asennetaan vielä seetirengas, joka tiivistää venttiilin laippaan.



KUVA 9. Kaksi ulkoista Tial MVR 44mm -hukkaporttia asennettuna pakosarjaan.



KUVA 10. Ulkoisen hukkaportin rakenne. (Graham Bell, A, 1998)

Integroidusta hukkaportista eroten, ulkoisessa ei ole ollenkaan välitankoa, vaan hukkaportin kalvo on kiinni suoraan venttiilin yläpäässä. Kalvon liikkuessa venttiili siis irtoaa seetirenkaan pinnasta ja päästää pakokaasua turbiinikotelon ohi.

Ahtopaineen määrää on mahdollista säätää hukkaportin josta vaihtamalla. Mitä jäykempi jousi sitä enemmän ahtopainetta vaaditaan voittamaan jousivoima. (Bell 1997, 151.)

Ahtopainetta voidaan säätää myös vaikuttamalla hukkaportille johdettavan paineen määrään. Tämä onnistuu yksinkertaisesti niin kutsutulla bleed -venttiilillä. Kyseisellä venttiilillä päästetään osa turboahtimen tuottamasta paineesta ulkoilmaan, jolloin ahtimen täytyy tuottaa enemmän painetta jousivoiman voittamiseksi. Bleed -venttiili on täysin mekaaninen ja säätö tapahtuu kierteistettyä neulaventtiiliä pyörittämällä. (kuva 11.) (Bell 1997, 152)



KUVA 11. Bleed -venttiili. (www.scstyling.fi)

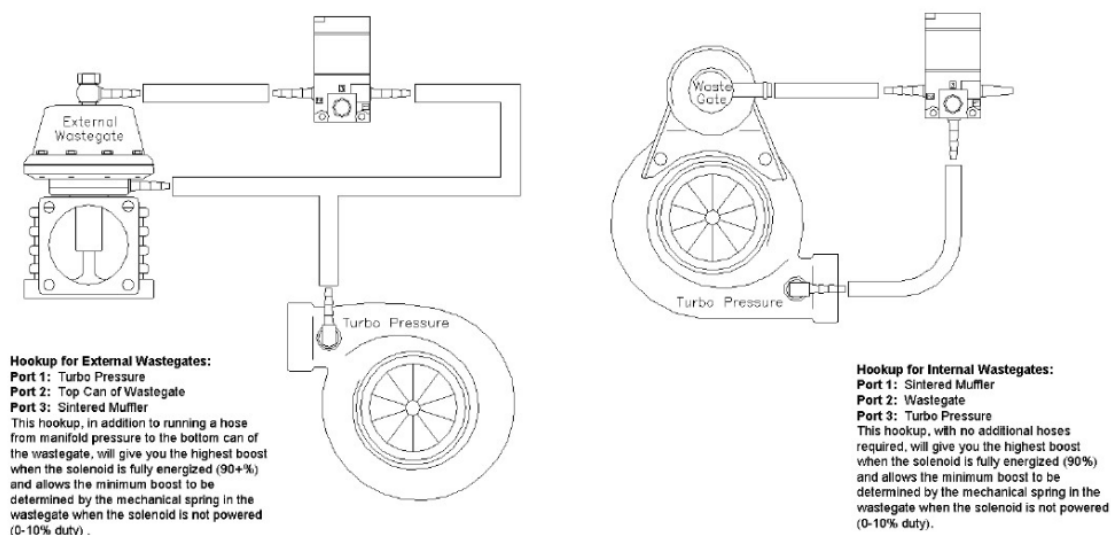
Nykyaikaisempi tapa vaikuttaa hukkaportin ohjauspaineeseen on sähköinen ahtopaineen ohjaus. Toimintatapa on sama kuin bleed -venttiilissä eli osa paineesta johdetaan ulkoilmaan. Sähköisessä ahtopaineen ohjauksessa käytetään kuitenkin sähköistä solenoidia eli 3 tieventtiiliä. (kuva 12.)



KUVA 12. AEM valmistajan 3-tieventtiili. (www.aemelectronics.com)

Solenoidissa on kolme liitäntää: 1. ahtimen tuottama paine, 2. hukkaportin kello, kalvon yläpuolelle sekä 3. ulkoilma. Ahtopainesolenoidi kytketään siten, että ahtimelta tuodaan letkulla paine hukkaportille (kalvon alapuolelle). Samalta letkulta haaroitetaan toinen lähtö solenoidin 1. liitännälle. Liitännästä 2. kytketään letku hukkaportin kelloon, kalvon yläpuolelle. (kuva 13.)

Kun solenoidille ei tule virtaa ovat portit 2. ja 3. kytkettyinä, joka mahdollistaa hukkaportin kalvon vapaan liikkeen. Tässä tilanteessa ahtimen tuottama paine määrättyy ainoastaan hukkaportin jousen avulla. Kun solenoidille kytketään virta, ovat portit 1. ja 2. kytkettyinä, jolloin ahtopaine pääsee myös kalvon yläpuolelle. Tällöin kalvon yläpuolella oleva paine sekä jousivoima taistelevat kalvon alapuolista painetta vastaan ja hukkaportti pysyy korkeammalle ahtopaineelle asti kiinni eli ahtopaine kasvaa.



KUVA 13. Ahtopainesolenoidin kytkentä ulkoiselle ja integroidulle hukkaportille. (www.aemelectronics.com)

Solenoidia ei kuitenkaan pidetä vain päällä tai pois, vaan sille johdetaan virtaa pulsseina. Ahtopainetta siis syötetään sekä kalvon ala- että yläpuolelle vuorotellen. Pulssien taajuutta muuttamalla voidaan määrittää haluttu ahtopaine. Ahtopainesolenoidi on kytketty moottorinohjaukseen ja usein säätö on prosentuaalista. 100% tarkoittaa yhtä suurta ahtopainetta sekä kalvon ala- että yläpuolelle ja 0% ahtopainetta pelkästään kalvon alapuolelle.

Sähköinen ahtopaineen säätö mahdollistaa tarkan ahtopaineen määrittämisen ja ahtopaineen kasvattamisen ilman mekaanisia töitä. Sillä saadaan aikaan myös hyödyllisiä ominaisuuksia muun muassa kilpailukäyttöä ajatellen. Nimittäin solenoidin avulla voidaan hukkaporttia pitää väkisin kiinni, kunnes ahtopaine on halutulla tasolla. Tällä saadaan aikaiseksi nopeampi ahtopaineen nousu. (Bell 1997, 153.)

Lisäksi turboahdetun moottorin säätämisen kannalta sähköisellä ohjauksella saavutetaan paljon etua. Säätäjä pystyy määrittämään tietyille kierrosalueille erilaisen ahtopaineen. Esimerkiksi jos voimansiirto ei kestä moottorin tuottamaa alavääntöä, pystyy sähköisen ahtopaineen ohjauksen avulla vaikuttamaan moottorin tuottamaan vääntökäyrään. Tällaisessa tilanteessa usein valitaan löysä hukkaportin jousi ja sähköisellä ohjauksella ahtopaineen määrää nostetaan vähitellen, kunnes saavutetaan haluttu vääntö sekä teho oikealla kierrosalueella.

2.2.5 Sakkaus

Sakkaus on ilmiö, joka esiintyy kiihdytyksen jälkeen äkillisen kaasuläpän sulke-
misen seurauksena. Tällöin ahtoputkessa on halutun verran ahtopainetta ja ah-
timen pyörimisnopeus on suuri, mutta virtaavan ilman määrä moottorille roma-
htaa murto-osaan. Tämä aiheuttaa shokkiaallon takaisin ahtimelle päin ja ahto-
paine pyrkii vapautumaan kompressorisiiven läpi takaisin ulkoilmaan. Ahtimen
pyörimisnopeus alkaa heittelehtiä vastustavan paineen vuoksi ja siivet saattavat
jopa hetkellisesti pysähtyä. Tämä aiheuttaa suurta räsitusta siiville ja ahtimen
akselille. Pahimmassa tapauksessa ahdin rikkoutuu sakkauksen vuoksi ja ai-
heuttaa myös moottoririkon.

Sakkausta varten on kehitetty ahdinta suojaavia komponentteja kuten Dump- ja
Bypass -venttiilit. (kuva 14.) Molemmat venttiilityypit asennetaan ahtoputkeen,
ennen kaasuläppää.

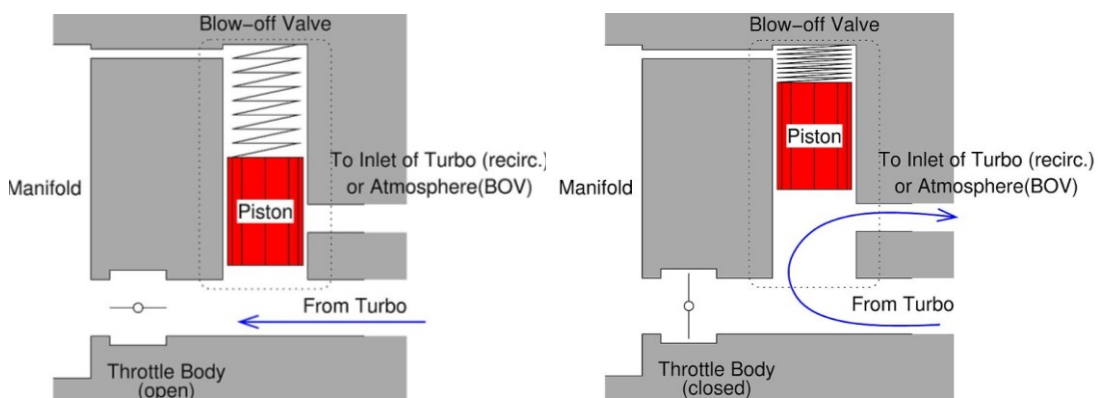


KUVA 14. Dump -venttiili. (www.kosunenracing.com)

Dump -venttiili nimensä mukaisesti päästää ylimääräisen paineen pois ahtoput-
kesta, silloin kun kaasuläppä sulkeutuu. Venttiilissä on mäntä, jonka yläpuolella
on jousi sekä ilmaliitäntä moottorin imusarjaan.

Autolla kiihdytettäessä ahtopaine on imusarjassa ja ahtoputkistossa yhtä suuri.
Kun kaasuläppä suljetaan, muodostuu imusarjaan alipaine moottorin aiheutta-
man imun vuoksi, mutta ahtoputkeen jää ylipainetta. Imusarjan alipaine vetää ja

ahtoputken ylipaine työntää Dump -venttiilin mäntää poispäin ahtoputkesta. Tällöin ylipaine purkautuu ulkoilmaan männän siirtyessä poisto aukon tieltä. (kuva 15.) Bypass -venttiili toimii muuten samalla tavalla, mutta se päästää paineen poisto aukon kautta ahtimen imupuolelle. (Go Fast Bits)

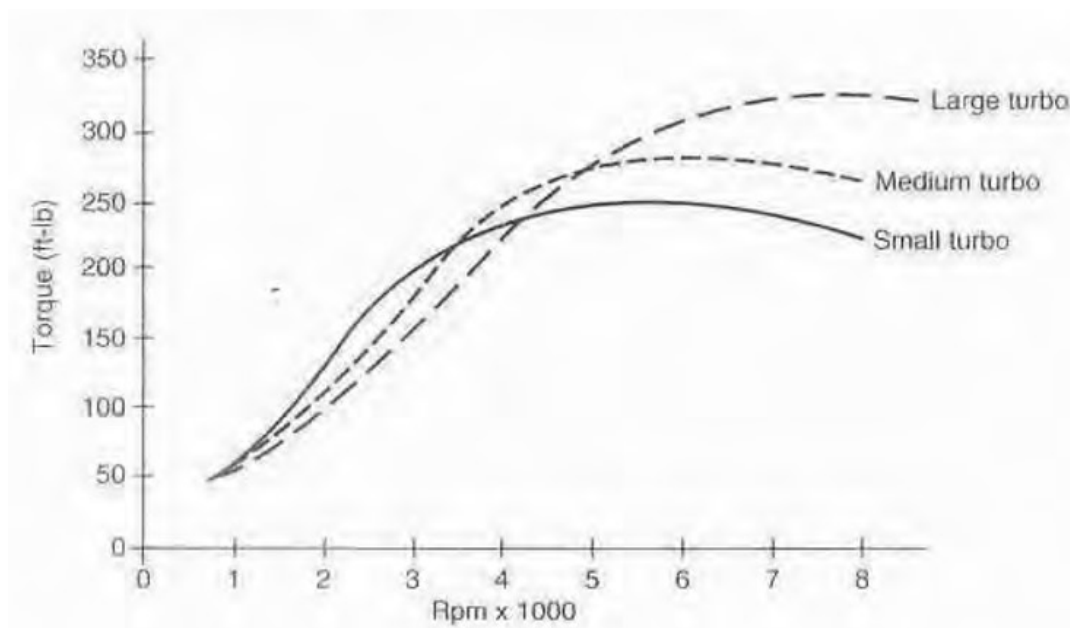


KUVA 15. Dump- ja Bypass -venttiilin toiminta. (en.wikipedia.org, muokattu)

3 AHTIMEN VALINTA

3.1 Teoria

Sopivan turboahtimen valintaan vaikuttaa se mitä kokoonpanolta vaaditaan. Oli se sitten laajaa vääntökäyrää tai silkkää huipputehoa, joutuu kompromisseja tekemään. Pienellä turboahtimella saavutetaan usein laajempi vääntökäyrä, eli myös parempi alavääntö sekä parempi ahtimen heräävyys, mutta yleisesti ottaen huipputeho on alhaisempi kuin suurella ahtimella. Turboahtimen heräävyydellä tarkoitetaan sitä hetkeä, jolloin ahdin alkaa tuottaa ahtopainetta. Alla olevasta kuvasta näkee hyvän esimerkin eri kokoisilla ahtimilla saaduista vääntökäyristä, samasta moottorista. (Bell 1997, 12-14, 27.)



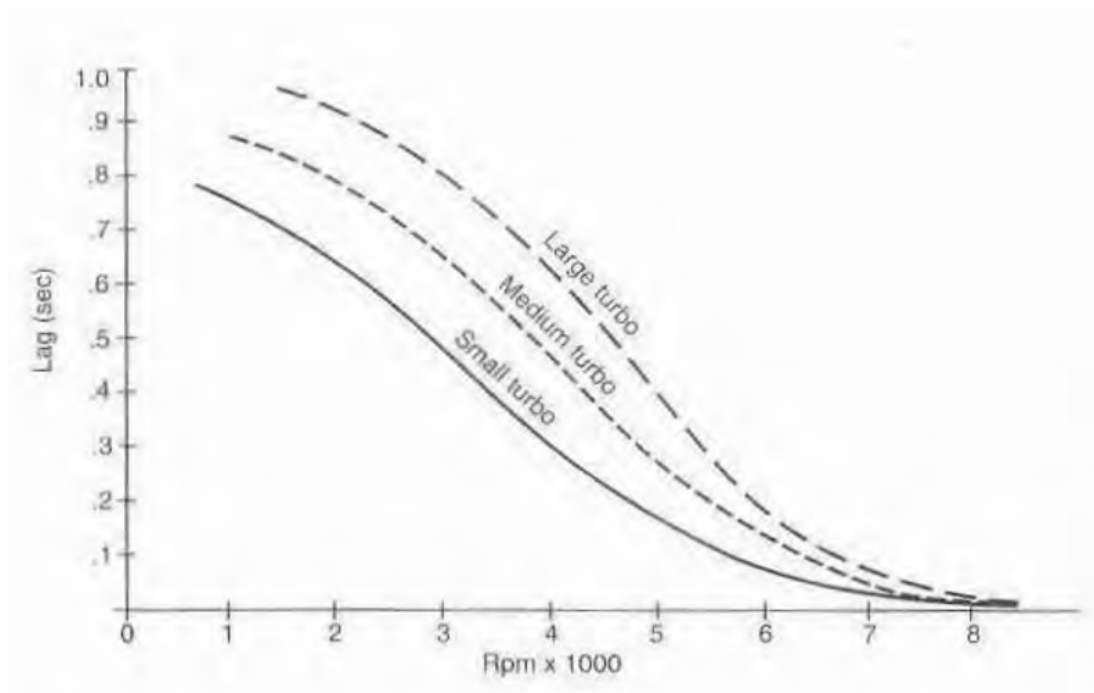
KUVA 16. Eri kokoisten turboahtimien vaikutus moottorin vääntökäyrään. (Corky Bell, 1997)

Turboahtimen heräävyys ja niin kutsuttu turboviive on usein ratkaiseva tekijä valittaessa sopivaa ahdinta. Yleisesti ottaen tavoitellaan mahdollisimman pientä turboviivettä halutulla tehomäärällä.

Kuten jo aiemmin mainittiin, pienellä ahtimella saavutetaan usein lyhyempi turboviive eli parempi heräävyys. Kilpailukäytössä kuitenkin tavoitellaan usein

suurta tehoa ja moottoria käytetään suurilla kierroksilla. Kierrosluvun kasvaessa ero turboviiveessä eri kokoisten ahtimien välillä pienenee (Bell 1997, 15.) ja tämä helpottaa ahtimen valintaa merkittävästi. Kilpa-auton tehoa saatetaankin säätää erilaiseksi kilpailusta riippuen ja siksi onkin hyvä valita sellainen ahdin, jonka ahtopaineen tuotto riittää tarpeeksi pitkälle. Kuvassa 17.

havainnollistetaan eri kokoisten ahtimien vaikutusta turboviiveeseen.



KUVA 17. Ahtimen koon vaikutus turboviiveeseen ajallisesti. (Corky Bell, 1997)

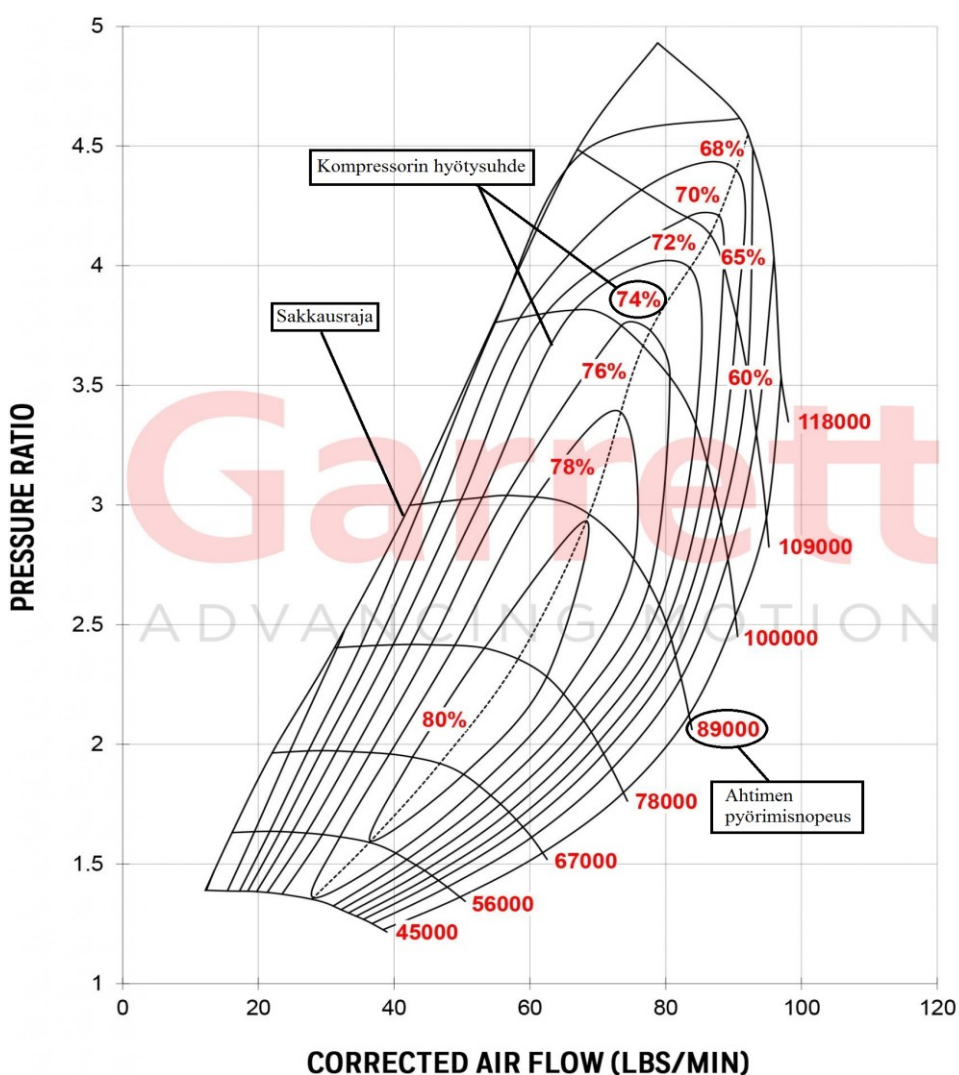
3.2 Kompressorin mitoitus

Kompressorikotelon valintaa varten turboahdinvalmistajilta löytyy niin kutsuttuja kompressorikarttoja, joista käy ilmi ahtimen tuottama ilman massavirta tietyllä painesuhteella. Jotta kompressorikarttaa voi hyödyntää, on kuitenkin laskettava ensin omasta kokoonpanosta tietyjä suureita. Seuraavaksi käydään läpi tarpeellisia tietoja ja suureita ahtimen kompressorikotelon mitoitukseen liittyen.

3.2.1 Kompressorikartta

Kompressorikartta on ikään kuin työkalu, jolla voidaan arvioida turboahtimen tuottamaa ilman massavirtaa tietyllä painesuhteella ja ahtimen pyörimisnopeudella. Kartta ilmoittaa myös kompressorin hyötysuhteen.

Kompressorikarttaa tulkitessa huomaa ensimmäisenä sen useat muuttujat. Vaaka-akselilla on ahtimen tuottama ilmamäärä ja pystyakselilla painesuhte. Kun laskennallisia tietoja sijoitetaan kartalle, ahtimen oikeanlaisen toiminnan kannalta on tärkeä seurata sakkausrajaa, kompressorin hyötysuhdetta sekä ahtimen pyörimisnopeutta.



KUVA 18. Garrett GTX 4294R -ahtimen kompressorikartta. (www.garrettmotion.com, muokattu)

Sakkausraja kulkee kompressorikartan vasemmassa reunassa. Se kuvaa tilannetta, jossa ahdin pyrkii tuottamaan liikaa ahtopainetta virtaavaan ilmamäärään nähden. Tässä tilanteessa ahtoputkeen kerääntyy painetta ja ahdin yrittää väkisin puskea lisää ilmaa moottoriin. Liian pieni ahdin alkaa tuottamaan ahtopainetta ennen kuin moottorille virtaavan ilman määrä on tarpeeksi suuri. Sakkausrajaa on siis ehdottomasti seurattava kompressoripuolta mitoitettaessa. Aikaisemmin opinnäytetyössä mainittu sakkaus ei liity kompressorikartan sakkausrajaan, vaikka kyseessä on samankaltainen ilmiö.

Kompressorikartan keskellä sijaitsevat, hieman maastokartan korkeuskäyriä muistuttavat viivat kuvaavat ahtimen hyötysuhdetta eri tilanteissa. Jokaiselle viivalle on ilmoitettu hyötysuhde prosenttilukuna. Ahtimen oikeanlaisen toiminnan ja hyödyn maksimoinnin kannalta on hyvä seurata, että valittu kompressoripyyhy hyvän hyötysuhteen alueella.

Ahtimella on aina optimaalinen käyttöalue, johon liittyy myös ahtimen pyörintänopeus. Liian hitaasti pyörivä ahdin ei tuota välttämättä tarpeeksi nopeasti ahtopainetta, kun taas liian lujaa pyörivä ahdin aiheuttaa räsitystä ja ylimääräistä kulumista ahtimen komponenteille. Mikäli maksimi pyörintänopeus ylitetään, on mahdollista myös ahtimen ja sitä kautta moottorin rikkoutuminen.

3.2.2 Painesuhde

Painesuhde on suure, joka kuvaa ahtimen tuottaman paineen suhdetta normaaliin ilmanpaineeseen (n. 1,013bar) eli toisin sanottuna se tarkoittaa ahtimen tuottamaa kokonaispainetta jaettuna normaalilla ilmanpaineella. (Bell 1997, 30.)

Turboahtimen painesuhde P_r lasketaan kaavalla:

$$P_r = \frac{P_n + P_a}{P_n} \quad (1.)$$

, jossa P_n tarkoittaa normaalia ilmanpainetta ja P_a ahtopainetta.

3.2.3 Ilmamäärä

Kun haluttu ahtopaine ja laskettu painesuhde on selvillä, täytyy laskea moottorin tarvitsema ilmamäärä. Ilmamäärän laskemiseksi täytyy joidenkin suureiden kohdalla käyttää vain arvioitua lukuarvoa, sillä kyseisen moottorin osalta ei ole tarpeeksi dataa, jonka avulla selvittää kaikkia suureita. Näin ollen laskut ovat lähinnä teoreettisia.

Ilmamäärän V ($\frac{m^3}{s}$) voi laskea kaavalla:

$$V = k * \tau * V_{is6} * \frac{n}{2} * \frac{p_{ab}}{p_n} * \frac{T_1}{T_2} \quad (2.)$$

, jossa

k = muunnoskerroin (10^{-3})

τ = sylinterin täytösaste (arvioitu suure)

V_{is6} = moottorin iskutilavuus (L)

n = moottorin pyörintänopeus huipputehon kohdalla (1/s)

p_{ab} = absoluuttinen ahtopaine (bar)

p_n = normaali ilmanpaine (bar)

T_1 = ulkoilman lämpötila (K)

T_2 = imuilman lämpötila (K)

3.2.4 Massavirta

Suuri osa turboahdinvalmistajista on Yhdysvalloista, kuten myös tässä opinnäytetyössä esimerkkinä käytetty valmistaja. Tämän vuoksi kompressorikartalla on Yhdysvalloissa käytetty lbs/min eli paunaa minuutissa. Kyseinen suure kuvaa ilman massavirtaa. Laskettu ilman tilavuusvirta täytyy siis vielä muuttaa sopivaan muotoon, jotta lukuarvoja voidaan verrata kompressorikarttaan.

Ilman tilavuusvirrasta saadaan laskettua massavirta Q_m (lb/min) kaavalla:

$$Q_m = \frac{V * 1,226 \text{ kg/m}^3}{7,56 * 10^{-3}} \quad (3.)$$

3.3 Turbiinikotelon valinta

3.3.1 Yleistä

Turbiinipuolen mitoitus on erittäin haastavaa, sillä muuttujia on paljon. Tämä johtuu lähinnä lämpötilojen ja paineiden jatkuvista muutoksista, joita on vaikea mallintaa ja laskea. Turboahdinvalmistajat ovat tutkineet ahtimen käyttäytymistä eri tilanteissa testien avulla ja tuloksista saadaan aikaiseksi niin sanottu turbiinikartta. Tätä karttaa hyödyntämällä olisi mahdollista hahmottaa paremmin sopivan turbiinikotelon ja siiven valintaa. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, ettei turboahdinvalmistajat halua jakaa näitä tietoja julkisesti.

Ahdinvalmistajat kuitenkin pyrkivät yhdistämään tietynlaisille ja kokoisille kompressoreille sopivia turbiinikoteloita ja -siipiä ”ahdinperheillä”. Yhdessä ahdinperheessä on usein muutamia eri kokoisia turbiinikoteloita, jotta moottorilta haluttujen ominaisuuksien löytäminen olisi helpompaa.

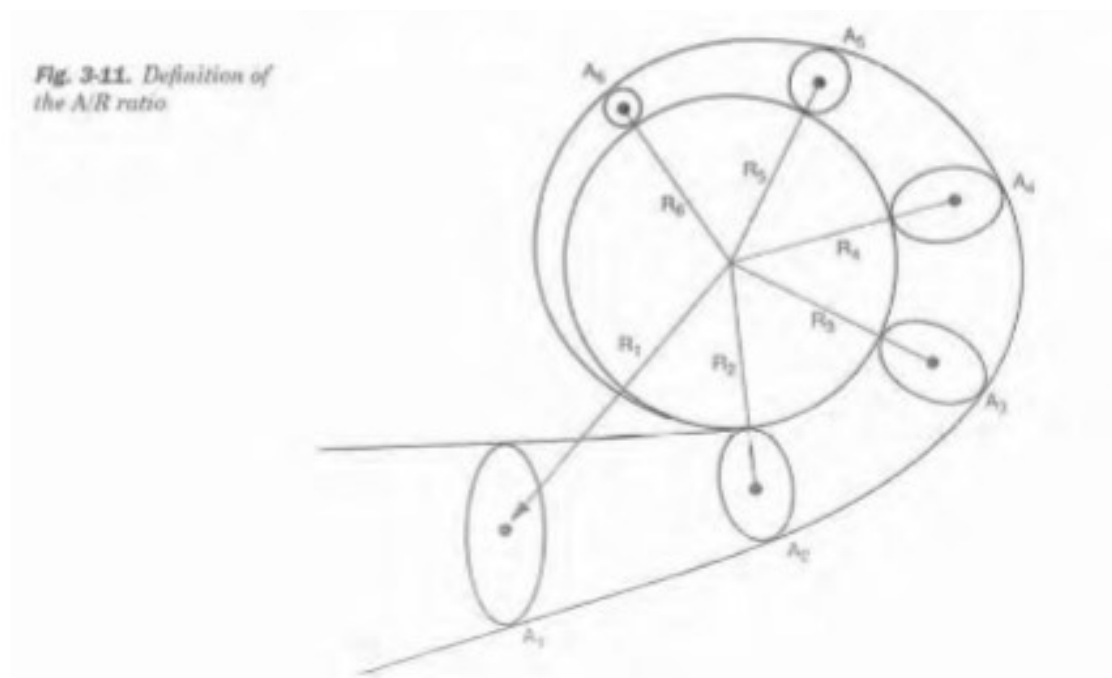
Turbiinikotelon koolla ja rakenteella on merkitystä ahtimen toiminnan ja siltä haluttujen ominaisuuksien kannalta. Pienemmän turbiinikotelon läpi mennessä pakokaasun virtausnopeus kasvaa, mikä tarkoittaa turbiinisiiven suurempaa pyörimisnopeutta. Tämä kaikki johtaa siihen, että ahdin alkaa tuottaa aikaisemmin ahtopainetta eli ns. ”herää” aikaisemmin ja moottorin alavääntö paranee. (Bell 1997, 35.)

Pienempi turbiinikotelo kuitenkin päästää tietyn määrän pakokaasua lävitseen ja jossain kohtaa vastaan tulee raja, jolloin pako-/vastapaine nousee liian korkeaksi. Tässä pisteessä vastapaine alkaa rajoittamaan moottorin tuottamaa tehoa, koska pakokaasu ei pääse poistumaan sylintereistä tarpeeksi tehokkaasti. (Bell 1997, 35.)

Suurempi turbiinikotelo päästää läpi enemmän pakokaasua, mikä tarkoittaa suurempaa ahtimen pyörintänopeutta ja edelleen suurempaa ahtopaineen tuottoa. Alhaisilla moottorin pyörintänopeuksilla pakokaasun virtausnopeus on kuitenkin heikompi verrattuna pieneen pakokoteloon, ja näin ollen ahtopaineen tuotto alkaa myöhemmin. Hieman yleistettynä siis pienellä turbiinikotelolla saavutetaan parempi alavääntö ja suuremmalla kotelolla suurempi huipputeho. (Bell 1997, 35.)

3.3.2 A/R -suhde

Pelkkä pakopesän koko ei määrää turbiinipuolen toimintaa vaan on tärkeämpiäkin suure nimeltä A/R -suhde. A eli Area tarkoittaa pakopesän kanavan pinta-alaa tietyissä mittapisteissä. R eli Radius tarkoittaa sädettä pakopesän keskipisteestä samojen mittapisteiden keskelle. Normaalikokoisissa ja katukäyttöön tarkoitetuissa ahtimissa A/R -suhde on yleensä n. 0.5 – 0.7, kun taas suurten viritysahtimien A/R -suhde saattaa olla yli 1. (Bell 1997, 36-37.)



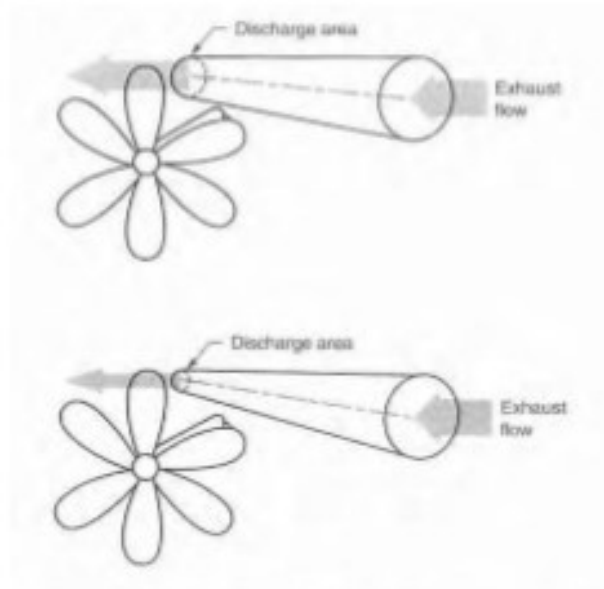
KUVA 19. A/R -suhteen mittaustapa. (Corky Bell, 1997)

Kuvan 19. osoittamalla tavalla A/R -suhde saadaan laskettua kaavalla:

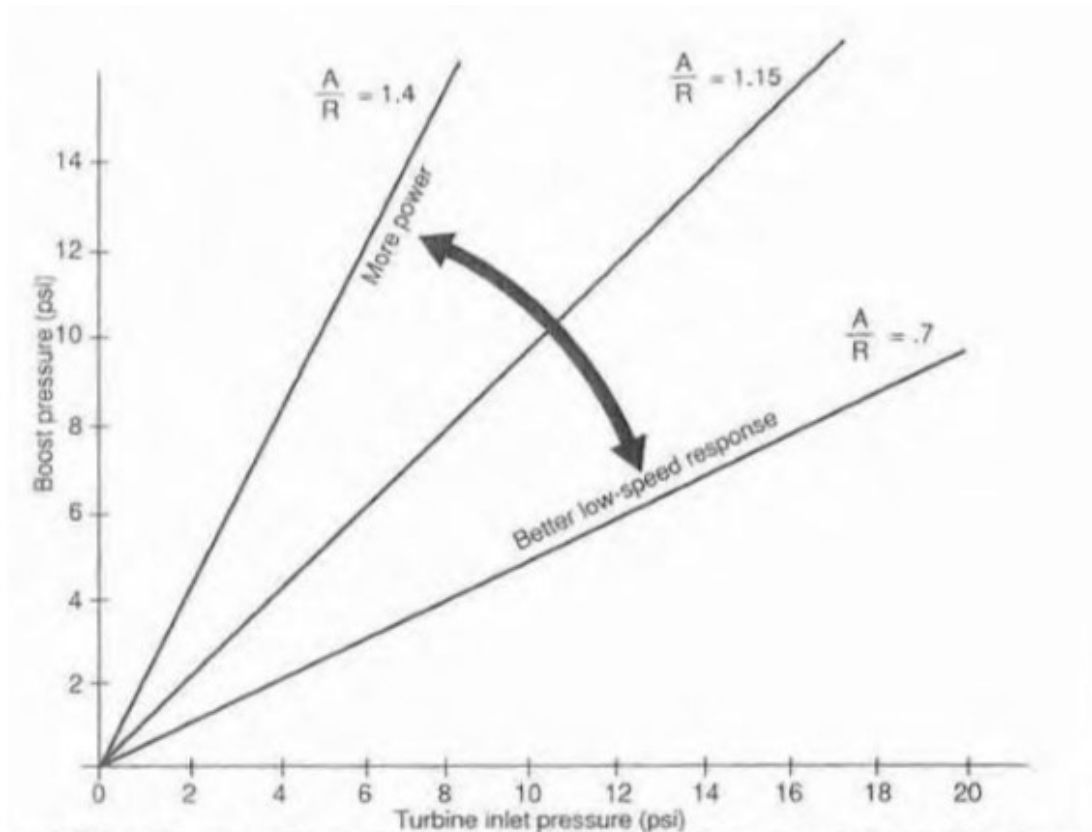
$$\frac{A_1}{R_1} = \frac{A_2}{R_2} = \frac{A_3}{R_3} = \frac{A_4}{R_4} = \frac{A_5}{R_5} = \frac{A_6}{R_6} \quad (4.)$$

Kuten kaavasta 4. nähdään, pysyy A/R -suhde siis vakiona mittapisteiden välillä.

A/R -suhde määrittää pakokaasun maksimi virtausmäärän pakopesän läpi ja käytännössä vaikuttaa merkittävästi ahtimen heräämiseen. Isolla A/R -suhteella saavutetaan suurempi teho, mutta huonompi heräävyys ja alavääntö. Siksi pakopesää valittaessa A/R -suhde on aina kompromissi aiemmin mainittujen ominaisuuksien välillä. Kuvassa 20. havainnoidaan A/R -suhteen vaikutusta pakokaasun virtaukseen.



KUVA 20. Esimerkki A/R -suhteen vaikutuksesta. (Corky Bell, 1997)



KUVA 21. A/R -suhteen vaikutus pako- ja ahtopaineen suhteeseen. (Corky Bell, 1997)

Kuvassa 21 on nähtävissä karkeasti A/R -suhteen vaikutus sekä pako- että ahtopaineeseen. Kuvajalla y-akselilla on ahtopaine ja x-akselilla pakopaine. Pienemmällä A/R -suhteella siis pakopaine nousee korkeammaksi. Suuremmalla A/R -suhteella pakopaine pysyy paremmin kurissa eli pakopesä pystyy päästämään enemmän pakokaasua lävitseen. (Bell 1997, 38.)

4 LASKENTA JA TULOKSET

4.1 Auto sekä tavoite

Laskennassa käytetään esimerkkinä BMW E30 325i Touring -autoa, 2,85 litraisella moottorilla varustettuna. (kuva 22.) Auton polttoaineena toimii etanolipohjainen RE85.



KUVA 22. Opinnäytetyössä esimerkkinä käytetty auto.

Tavoitteena on saada 850 hevosvoimaa, noin 2,5 bar ahtopaineella ja mahdollisimman alhaisella heräävyydellä. Vakiona moottori tuotti huipputehonsa 5800 rpm kohdalla, mutta arvioidaan huipputehon tulevan nykyisillä muutoksilla 7500 rpm.

Sopivaa ahdinta mitoittaessa, kannattaa etsiä turboahdinvalmistaja, jolta löytyy hyvin kompressorikarttoja ja paljon muitakin käytännön tietoa ahtimista. Tässä opinnäytetyössä on valittu melko yleinen valmistaja Garrett. Heidän valikoimastaan pystyy hyvin hakemaan hieman suuntaa antavaa mallia tehotavoitteen tai iskutilavuuden perusteella. Tarkasteltavaksi on valittu Garrett GTX4294R -ahdin. (kuva 23.)



KUVA 23. Garrett GTX4294R (www.garrettmotion.com)

4.2 Laskuesimerkki

Ensin lasketaan painesuhde 2,5bar ahtopaineella, käyttäen kaavaa 1.

, jossa:

$$P_a = 2,5bar$$

$$P_n = 1,013bar$$

$$P_r = \frac{1,013bar + 2,5bar}{1,013bar} = 3,47$$

Sitten lasketaan moottorin tarvitsema ilmamäärä seuraavilla lähtötiedoilla:

Liitteessä 1. käytetty ahtopaine ajotilanteessa oli 0,97bar, ahtopaine kuitenkin on paljon korkeampi huipputehoa haettaessa. Siksi myös imuilman lämpötila nousee paineen kasvaessa. Lämpötilan muutokseen vaikuttaa todella moni te-

kijä paineen lisäksi ja tarkan tiedon todellisesta lämpötilasta saisi vain mittaamalla. Arvioinnin helpottamiseksi imuilman lämpötila on laskettu yksinkertaistettuna isokoorisena prosessina eli P/T on vakio.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (5.)$$

Kaavaan 5. sijoittamalla imuilman lämpötilaksi on laskettu 79 celsiusastetta eli 352,15K

Tällöin lähtöarvot ovat:

$$k = 10^{-3}$$

$$\tau = 1,04$$

$$V_{is6} = 2,85L$$

$$n = \frac{7500rpm}{60} = 125 \frac{1}{s}$$

$$p_a = 3,51bar$$

$$p_n = 1,01bar$$

$$T_1 = 288,15K$$

$$T_2 = 352,15K$$

Sijoitetaan lukuarvot kaavaan 2., jolloin:

$$V = 10^{-3} * 1,04 * 2,85L * \frac{125 \frac{1}{s}}{2} * \frac{3,51bar}{1,01bar} * \frac{288,15K}{352,15K}$$

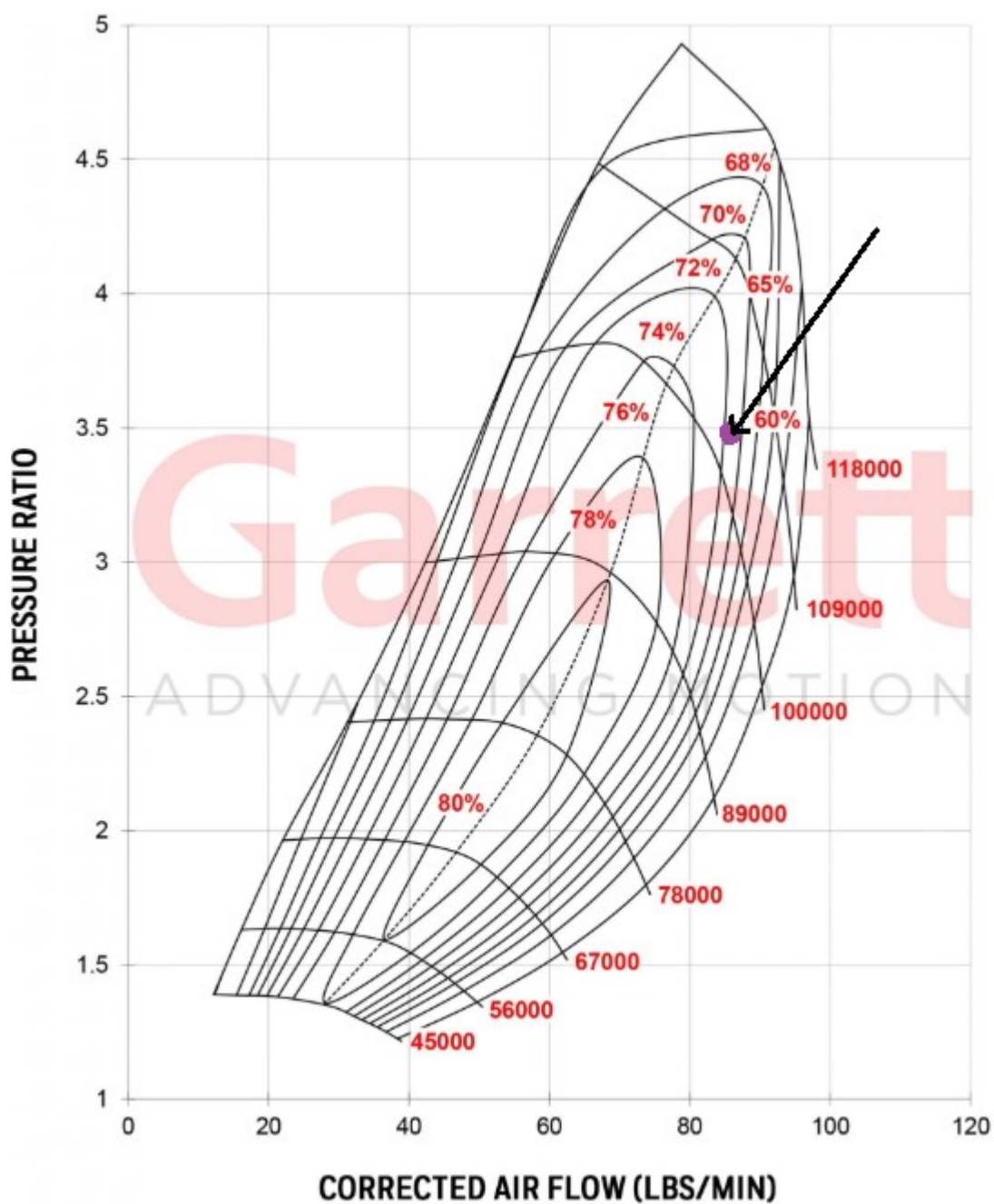
$$V = 0,526 \frac{m^3}{s}$$

Jotta ahtimen ominaisuuksia voidaan verrata moottorin vaatimaan ilmamäärään, täytyy yllä laskettu tilavuusvirta muuttua vielä massavirraksi kaavalla 3.

Massavirta lb/min:

$$Q_m = \frac{0,526 \frac{m^3}{s} * 1,226kg/m^3}{7,56 * 10^{-3}}$$

$$Q_m = 85,4 \text{ lb/min}$$



KUVA 24. Laskettu massavirta sijoitettu kompressorikartalle. (www.garrett-motion.com, muokattu)

4.3 Tulokset

Kuvassa 24. on sijoitettu aikaisemmin laskettu moottorin tarvitsema ilman massavirta. Kuten jo aiemmin mainittiin, kompressorikartalla on syytä seurata

sakkausrajaa, hyötysuhdetta sekä ahtimen pyörintänopeutta. Kuvasta voidaan huomata, että kyseinen ahdin toimisi hyvin tavoitellulla alueella. Huipputeholla sakkausraja pysyy kaukana, hyötysuhde on suhteellisen hyvä ja ahtimen pyörintänopeus ei ole liian suuri. Toki vielä suurempia tehoja tavoitellessa tämä ahdin jäisi melko nopeasti pieneksi, sillä suuremmalla painesuhteella ja ilmamäärällä hyötysuhde tippuu radikaalisti. Eli käytännössä syntyy häviöitä. Toisekseen ahtimen pyörintänopeuden turvalliset rajat tulevat melko nopeasti vastaan.

Turbiinipuolen osalta tutkittavaan ahtimeen löytyy kahta erilaista pakopesää. 1.01 - tai 1.15 A/R -suhteella. Tästäkin voidaan jo todeta, että kyseinen ahdin on suunniteltu viritys- ja kilpailukäyttöön.

Esimerkkinä käytettyä autoa miettiessä täytyy muistaa, että moottori on lähes 3 litrainen ja polttoaineena toimii RE85 eli etanolipohjainen polttoaine. Tällöin syntyvän pakokaasun määrä on huomattavasti suurempi kuin tavallista bensiiniä käyttävillä moottoreilla ja se täytyy huomioida pakopesää valittaessa.

Vaikka kyseinen ahdin ei pysty tuottamaan paljoa enempää tehoa nykyisestä tavoitteesta ylöspäin, kannattaa tässä tapauksessa luultavasti valita suuremmalla A/R-suhteella oleva pakopesä. Mutta kuten sanottua, valinta on aina kompromissi huipputehon tai paremman heräävyyden väliltä ja kyseisellä autolla haetaan enemmänkin riittävää tehoa.

Alla olevasta kuvasta löytyy tarkemmat tiedot ahtimen otto- ja jättöpäiden koosta, A/R -suhteista, kiinnityslaipoista ja hukkaportista, joka tässä tapauksessa on oltava ulkoinen.

Compressor				Turbine		
Inducer	Exducer	Trim	A/R	Inducer	Exducer	Trim
70mm	94mm	56	0.60	82mm	75mm	84
Turbine Kit PN	A/R	Inlet	Outlet	Wastegate	Divided	Trim
757707-0001	1.01	T4	V-Band	Free Float	Y	84
757707-0002	1.15	T4	V-Band	Free Float	Y	84

KUVA 25. Tarkasteluun valitun ahtimen tekniset tiedot. (www.garrettmotion.com)

5 POHDINTA

Opinnäytetyössä esimerkkinä käytetyn auton muokkaaminen on alkanut jo keväällä 2014. Alun perin tarkoituksena oli vain turboahtaa moottori ja muutokastaa auto. Ajan kuluessa kuitenkin suunnitelmat paisuivat ja tehotavoitteet kasvoivat. Ensimmäinen versio autosta oli valmis 2017 keväällä, mutta moottorin laakeroinnin kanssa tuli yllättäviä ongelmia. Siitä hetkestä tähän päivään asti autoa on rakennettu uudelleen suuremmalla tavoitteella, 850 hevosvoimaa. Liitteessä 2 nykyisen kokoonpanon osat.

Työn laskennallisessa osuudessa on käytetty Garrett GTX4294R -ahdinta, sillä Garrett:lta löytyy hyvin tietoa heidän ahdinvalikoimastaan. Päädyin valitsemaan kuitenkin hieman suuremman Holset Pro55 ahtimen (kuva 6.), jossa on 71mm kompressorisiipi ja 80mm turbiinisiipi. Pakopesän A/R -suhde on 1 ja 1/16. Syy miksi päädyin kyseiseen ahtimeen Garrettin sijasta on lähinnä hinta, luotettavuus ja huollettavuus. Kyseistä ahdinta on käytetty paljon kuorma-autoissa ja työkooneissa, joten se on tehty kestävästi kovaa käyttöä. Lisäksi varaosien saatavuus ja ahtimen ovat huollettavuus hyviä.

Työhön oli tarkoitus laskea myös lopuksi valitulla ahtimella sopivuus kokoonpanoon, mutta valittu ahdin on muokattu alkuperäisestä HX55 -mallista. Ahtimeen on vaihdettu suurempi billet -kompressorisiipi sekä suurempi turbiinisiipi. Lisäksi pakopesä on muokattu Schwitzer S400 -ahtimesta tähän ahtimeen sopivaksi. Kyseiselle ahtimelle ei löydy muokkausten vuoksi kompressorikarttaa. Siksi ahtimen tuottoa ei voida järkevästi verrata moottorin vaatimaan ilmamäärään.

Opinnäytetyön kannalta tavoitteena oli saada laskennalliseen osuuteen konkreettista dataa, josta laskemalla saataisiin hyödyllistä tietoa myös autoa ajatellen. Lasketuista tuloksista pystyy arvioimaan nykyisen ahtimen tuoton riittävyttä tavoitetta ajatellen. Vaikka autoon ei ole asennettu tismalleen samaa ahdinta ja osa lukuarvoista oli vain arvioita, voidaan todeta kyseisen kokoluokan ahtimien riittävän hyvin tavoitteeseen asti.

Tässä opinnäytetyössä käy mielestäni hyvin ilmi se mitä ahtimen valinnalta vaaditaan. Eli liikkeelle lähdetään aina karkeasta arviosta, jota työstetään oikean ahtimen valintaan asti. Vaikka laskeminen auttaa hyvin valintaa, on turboahdimien kanssa niin paljon muuttujia, että välillä on pakko tehdä päätöksiä arvioiden tai luotettavien kokemusten varassa.

Autoa ei ehditty säätämään tehodynamometrissä, eli tavoitteeseen pääsyä ei pysty vielä konkreettisesti osoittamaan. Laskennan kannalta oli kuitenkin hyvä, että autoa päästiin ajamaan loppukesästä ja keräämään oikeaa tietoa moottorin käyttäytymisestä. Ahdinvalinta vaikuttaa hyvin toimivalta kyseisellä kokoonpanolla, sillä ahtopaineen tuotto alkaa jo 4000rpm kohdalla. Tämä voi kuulostaa suurelta, mutta pitää ottaa huomioon turboahdimen koko ja auton käytössä oleva kierrosalue. Kierrosten rajoitin asetetaan 8500rpm, jolloin käyttöaluetta jää vielä 4500rpm.

Tätä opinnäytetyötä varten olisi ollut hienoa saada vertailukohtia myös eri kokoisilla ahtimilla, mutta se tulisi liian kalliiksi kokeiluksi. Turboahdit ja niitä varten tarvittavat lisälaitteet ovat usein kalliita ja ahtimen vaihto eri kokoiseen vaatii moottorinohjauksen uudelleen säätämistä lähes poikkeuksetta. Siksi ei tällä erää ole mahdollista kokeilla erilaisella ahtimella auton toimintaa. Tulevaisuudessa on kuitenkin tavoitteena vaihtaa vielä hieman suuremmalla A/R -suhteella oleva pakopesä tai vaihtoehtoisesti hieman suurempi ahdin kokonaisuudessaan. Silloin pystyy tarkemmin toteamaan eri suureiden vaikutusta itse auton toimintaan.

LÄHTEET

AEM Electronics. 2008. Katalogi. Luettu 25.10.2019 <https://www.aemelectronics.com/files/instructions/30-2400%20Boost%20Control%20Solenoid%20Kit.pdf>

Bell, C. 1997. Maximum boost: designing, testing and installing turbocharger systems. USA: Robert Bentley Inc

English Wikipedia. 2013. Luettu 5.11.2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Blowoff_valve#/media/File:Throttle_body_openBOV12.jpg

English Wikipedia. 2013. Luettu 5.11.2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Blowoff_valve#/media/File:Throttle_body_closedBOV7.jpg

Garrett by Honeywell. 2018. Katalogi. Luettu 25.10.2019. <https://www.garrettmotion.com/racing-and-performance/performance-catalog/turbo/gtx4294r/>

Garrett By Honeywell. 2018. Compressor Map. Luettu 25.10.2019 <https://www.garrettmotion.com/wp-content/uploads/2018/05/Comp-Map-GTX4294R.jpg>

Go Fast Bits. 2019. Artikkele. Luettu 18.11.2019. <https://gfb.com.au/tech/tech-articles/62-all-you-ever-needed-to-know-about-blow-off-valves/>

Graham Bell, A. 1998. Uusi moottoritekniikka virittäminen ja säätäminen. Helsinki: Alfamerkustannus Oy.

Industrialinjection. 2019. Katalogi. Luettu 20.11.2019. <https://www.industrialinjection.com/11581009007>

Kosunen Racing. 2012. Turboahdin ABC. Luettu 25.10.2019. <http://www.kosunenracing.com/turbo.html>

Mywikimotors. 2019. Specifications. Luettu 25.10.2019. <http://mywikimotors.com/m20b25/>

NASA. 2019. Turbocharger. Luettu 11.10.2019. <http://www.grc.nasa.gov/WWW/Oilfree/turbocharger.htm>

S4wiki Community Portal. 2007. Dokumentti. <https://s4wiki.com/images/6/61/WasteGate.jpg>. Luettu 24.10.2019.

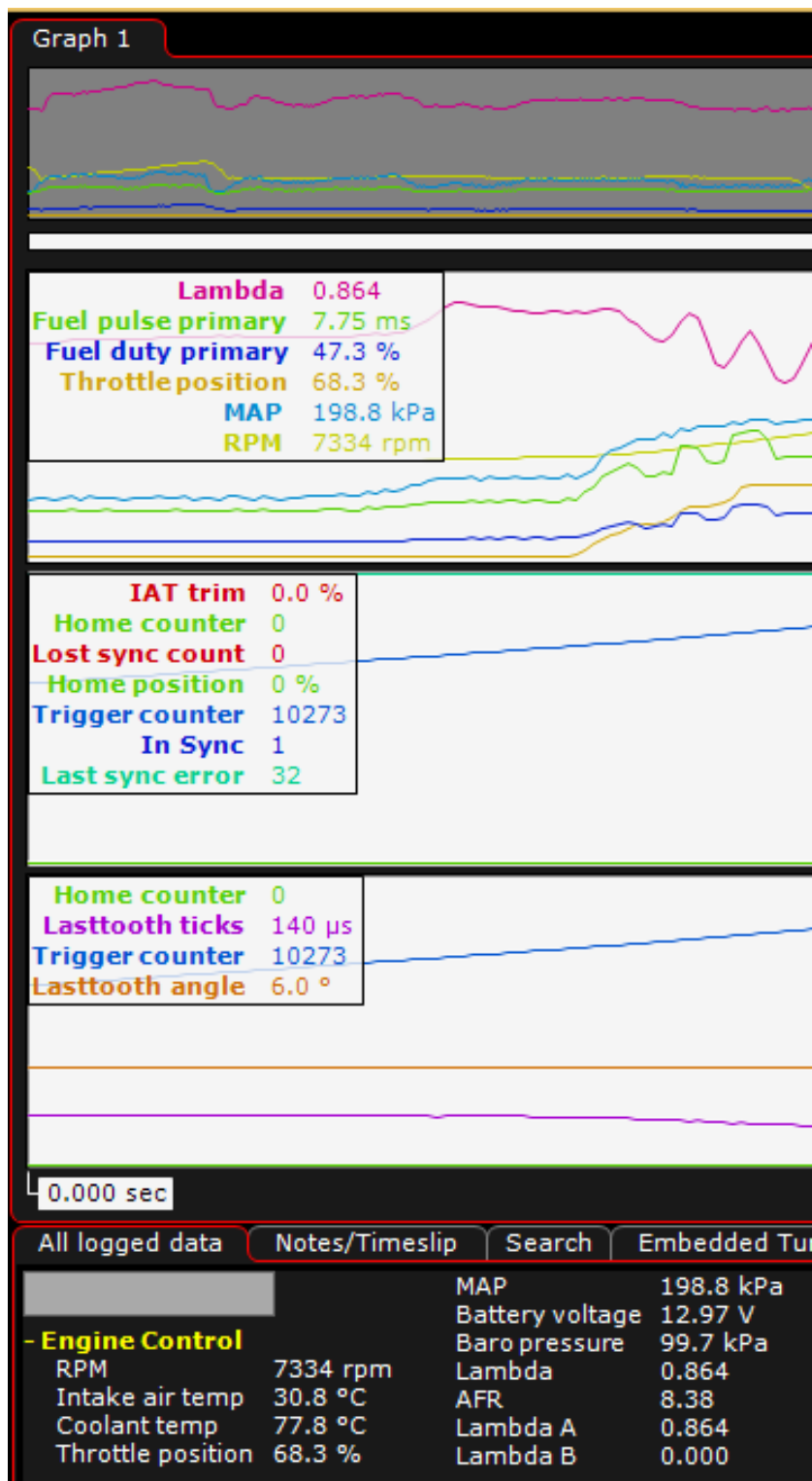
Sctyling. 2019. Katalogi. Luettu 25.10.2019. <https://www.scstyling.fi/universaldeklar/moottori-tuning/overladdning-lisalaitteet/pysventil-laddtrycksstyrning/forgemotorsport-bleed-venttiili-sisalle>

Selroos, T. 2016. Dieselmootorin hyötysuhteen parantaminen. Luettu 25.10.2019. <https://docplayer.fi/47728035-Dieselmootorin-hyotysuhteenparantaminen.html>

TJPGarage. 2019. Katalogi. Luettu 18.11.2019. <https://www.tjpgarage.fi/turbo-ahtimet/15-turboahdin-t3.html>

LIITTEET

Liite 1. Loppukesän ajoista tallennettua livedataa.



Liite 2. Rakennetun moottorin osalista

- Kampiakseli BMW e36 328i autosta (iskunpituus 84mm)
- Kiertokanget H-profiili (pituus 130mm)
- Sylintereiden poraus 85mm ja männät kuppilakiset Wössner -takomännät
- Kannentiiviste liekkirenkailla varustettu Athena Cooperring
- Sylinterikansi on uusi (ei alkuperäinen BMW), vahvistehitsattu (alumiinihitsaus Mäkikangas) ja muokattu suuremmille venttiileille (43mm imuventtiili ja 37mm pakkoventtiili). Lisäksi kanavia siistitty ja avarrettu, virtaus tarkistettu virtauspenkin avulla. (Kansiviritys J. Kosunen) Venttiilikoneistoon vaihdettu rullakeinuvivut sekä 292 asteinen nokka-akseli, jossa on nostoa 13mm. Venttiilijouset, joissa seeti-paine n. 70 kg ja jousivakio n. 4kg/mm. Säädetty nokkapyörä ja Gates kevlar-jakohihna.
- Kasauksessa käytetty ARP-valmistajan kovia pultteja ja laakereina ACL -moni-metallilaakerit.
- Imusarja on painekotelo-tyyppinen (plenumi) ja varustettu kiihdytyspiloilla
- Pakosarja teetetty 42mm rosteriputkesta.
- Maxxecu V1 -säädetty moottorin ohjaus
- Polttoaineena Re85