TURBOAHTIMEN MITOITUS POLTTOMOOTTORIKÄYTÖSSÄ

Jyri Rantanen

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2014
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja korjaamotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja korjaamotekniikka

RANTANEN, JYRI:
Turboahtimen mitoitus polttomoottorikäytössä

Opinnäytetyö 28 sivua.
Maaliskuu 2014

Tämä opinnäytetyö käsittelee turboahtimen mitoittamiseen liittyvää teoriaa, sekä käytäntöä polttomoottorikäyttöisissä autoissa. Työssä käydään lävitse tarvittavat laskukaavat, joiden avulla saadaan apua oikeanlaisen ahtimen valintaan. Tässä työssä keskitytään enemmän ahtimen valintaan moottorin virityskäytössä, kuin suurimman mahdollisen käytettävyyden sekä polttoainetalouden saavuttamiseen.

Opinnäytetyössä lasketaan teoreettisilla kaavoilla erään ahtimen sopivuus tietylle autolle. Lopuksi tarkastellaan käytännön mittaustuloksia lopputuloksen paikkansapitävyyttä, sekä pohditaan kyseisen ahtimen toimintaa kyseisessä autossa.

Lopputuloksena havaitaan kyseisen ahdinvalinnan osuneen hyvin yhteen teoreettisten laskujen kanssa. Vaikka teoreettisissa laskuissa joudutaan käyttämään arvioituja likiarvoja joissain kohdissa, huomataan teorian vastaavan silti melko hyvin käytäntöä.

Asiasanat: turboahdin, polttomoottori, mitoitus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Automotive and Transport Engineering
Option of Automotive and Garage Engineering

RANTANEN, JYRI:
Selecting a turbocharger in an internal combustion engine

Bachelor's thesis 28 pages.
March 2014

This thesis is about selecting a turbocharger in an internal combustion engine. It includes both theory and practice. This thesis includes all the necessary formulas needed, to help you select the right turbocharger. The focus is mainly on performance applications, rather than practicality and low fuel consumption.

In this thesis, we calculate how a well the chosen turbocharger suits the selected vehicle. At the end, we take a look on the real measurements to see how good our calculations were, and think about how well the turbocharger works on the chosen vehicle.

The final result is, that we notice the reality and theory are very close, even though we had to use some approximations on our calculations.

Key words: turbocharger, internal combustion engine, selection

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 5
2 TURBOAHDIN 6
2.1 Mikä on turboahdin? 6
2.2 Turboahtimen rakenne 8
2.2.1 Pakopesä 9
2.2.2 Kompressoripesä 9
2.2.3 Ahtimen keskiö 10
2.2.4 Hukkaportti 12
3 OIKEAN AHTIMEN VALINTA 16
3.1 Kompressoripesän valinta 16
3.1.1 Painesuhde 16
3.1.2 Ilmamäärä 17
3.1.3 Massavirta 17
3.1.4 Kompressorikartta 18
3.2 Pakopesän valinta 19
3.2.1 A/R 19
4 LASKUESIMERKKI 22
4.1 Teoria 22
4.2 Käytäntö 25
5 POHDINTA 27
LÄHTEET 28

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on käsitellä polttomoottorisen henkilöauton turboahtimen valintaan liittyvää teoriaa, sekä aiheeseen liittyviä käytännön kysymyksiä. Työn tarkoituksena on perehdyttää lukija ahtimen valintaan liittyviin kysymyksiin, sekä niiden ratkaisuihin. Opinnäytetyön tarkoituksena on auttaa lukijaa oikeanlaisen ahtimen valinnassa haluamaansa kokonaisuuteen.

Ensimmäisessä osiossa kerrataan ahtimeen liittyvät perusasiat. Osion tarkoituksena on perehtyä aivan perusasioihin, esimerkiksi siihen, mikä ahdin on ja miten se toimii.

Ahtimen läpikäynnin jälkeen alkaa teoreettinen osuus ja lopuksi käytännöllinen osuus esimerkkimitoituksineen. Näiden jälkeen tarkastellaan kyseisen moottorin ahdinvalinnan onnistuvuutta.

Käytännön syistä tässä opinnäytetyössä ei keskitytä ahtimen mitoitukseen uutta moottoria suunnitellessa, vaan pääalue on jälki-ahtamisessa sekä jo valmiiksi ahdetun auton muuttamisessa.

Tässä työssä ei myöskään keskitytä ollenkaan niin sanottuihin mekaanisiin ahtimiin, vaan käsitellään pelkästään pakokaasulla toimia ahtimia niiden paremman hyötysuhteen vuoksi.

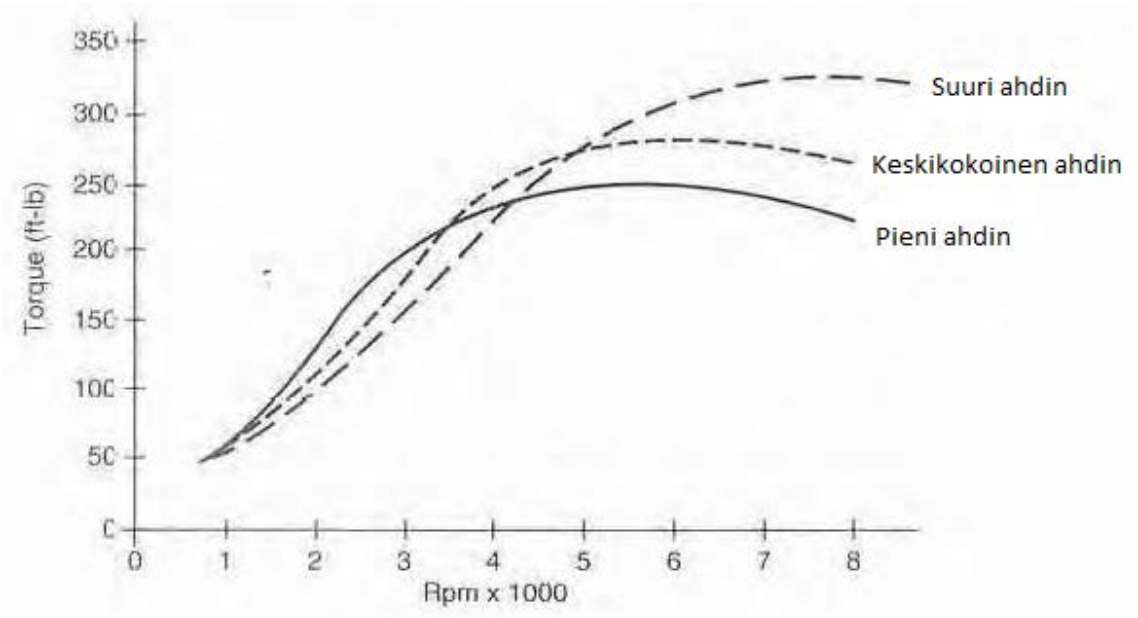
Käytännön syistä tässä työssä keskitytään pelkästään hukkaportilla ohjattuihin ahtimiin, ja muuttuvasiipiset ahtimet käsitellään vaan pääpiirteittäin. Esimerkkitehtävissä käytettävässä autossa on sisäisellä hukkaportilla varustettu ahdin, joten muuttuvasiipisen ahtimen mittaukset eivät tällä kertaa onnistu.

2 TURBOAHDIN

2.1 Mikä on turboahdin?

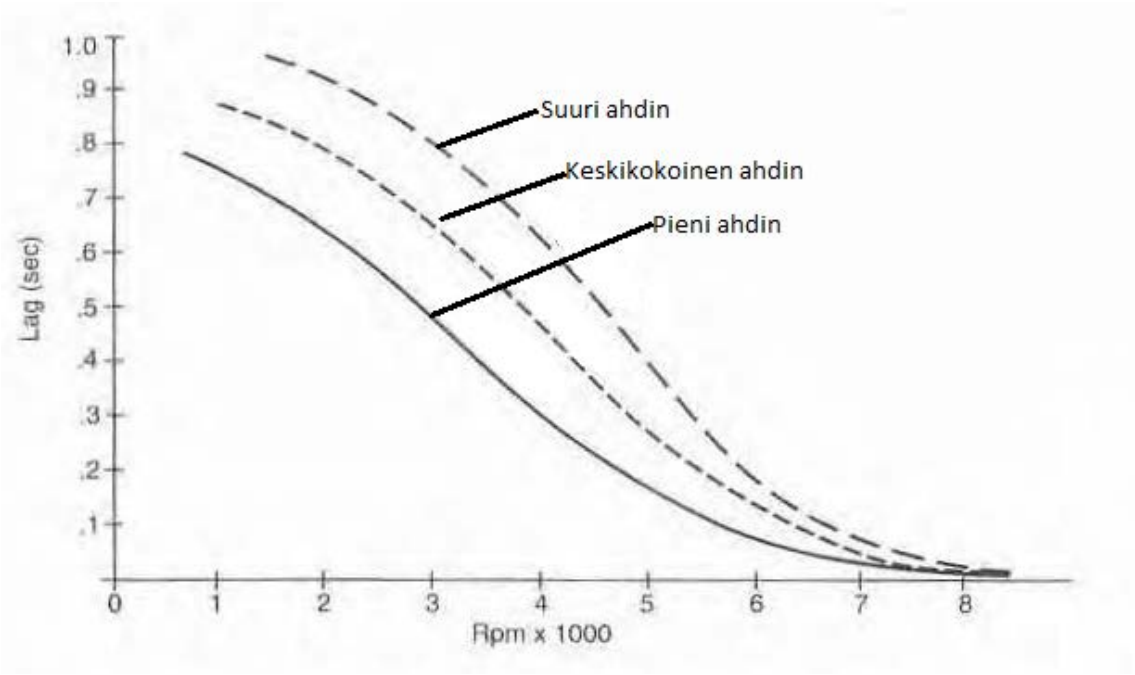
Turboahdin on yksinkertaistettuna pelkästään pakokaasun voimalla toimiva ilmapumppu. Koska turboahdin käyttää hyväksi muuten pakoputken kautta hukkaan menevää energiaa, on sen hyötyjä vaikea sivuuttaa. Turboahdin aiheuttaa vain hieman energiahäviötä estämällä pakokaasujen poistumista palamistapahtuman jälkeen. Ahtimella saavutettu hyöty on kuitenkin huomattavasti suurempi kuin sen aiheuttamat haitat. Tästä syystä nykyautoissa alkaakin vapaastihengittävyys olemaan jo hyvin harvinaista turboahtimen mahdollistaman ns. downsizingin vuoksi, sillä oikealla ahtimen mitoituksella saadaan pieni turboahdettu moottori vastaamaan isompaa vapaastihengittävää, samalla säästäen paremman hyötysuhteen vuoksi huomattavia määriä polttoainetta.

Hieman yleistäen voidaan väittää että suurikokoinen ahdin toimii hyvin suurilla kierroksilla ja tuottaa suurimman tehon. Toisaalta pienikokoinen ahdin toimii hyvin alakierroksilla ja tuottaa parhaimman alaväännön. Alla olevassa kuvaajassa on kuvattu ahtimen koon vaikutusta moottorin tuottamaan vääntökäyrään.



KUVA 1. Ahtimien vertailu (Maximum Boost – Corky Bell)

Valittaessa suurempikokoinen ahdin, menetetään muutakin kuin pelkästään alavääntöä. Suurempi ja siten paremmin virtaava ahdin, jossa on suurempi pyöritettävä massa, herää huomattavasti hitaammin kuin pienikokoinen ahdin. Tämä viive tunnetaan turboviiveenä. Alla olevassa kuvaajassa on kuvattu kolmen erikokoisen ahtimen viivettä eri kierroslukualueilla. On huomioitavaa että kierrosluvun kasvaessa ero pienen ja suuren ahtimen välillä pienenee. Tämä helpottaa esimerkiksi kilpakäytössä suuremman ahtimen käyttöä, sillä kyseisissä olosuhteissa moottori pyritään pitämään kokoajan korkeilla kierrosluvuilla.



KUVA 2, Ahtimien viive (Maximum Boost – Corky Bell)

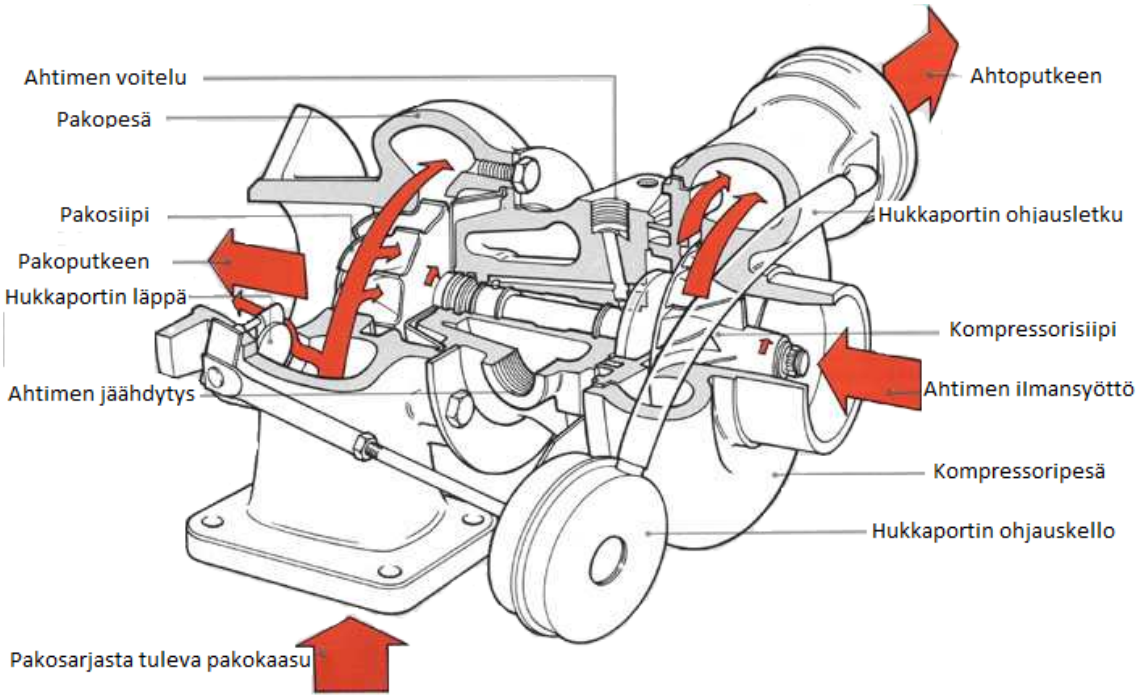
Ahdin vaatii toimiakseen öljyvoitelun. Yksinkertaistettuna, ahtimen keskiöön, jossa laakerit sijaitsevat, syötetään yläkautta öljyä ja keskiön alapuolelta öljy johdetaan takaisin öljypohjaan. Tämän lisäksi lähes kaikki ahtimet vaativat myös nestejäähdytyksen. Ahdettu ilma myöskin lämpenee puristettaessa kasaan, joten periaatteessa kaikissa ahdetuissa autoissa on käytettävä välijäähdytintä, joka jäähdyttää jo ahdettua ilmaa viileämmäksi. Tämä vaikuttaa moottorin hyötysuhteeseen, kestävyyteen sekä tehoon.

Ahtimet voidaan jakaa ahtopaineen säädön mukaan hukkaporttiohjattuihin, sekä muuttuvasiipisiin ahtimiin. Periaatteeltaan nämä eivät eroa toisistaan muuten kuin pako-

pesänsä osalta. Muuttuvasiipiset ahtimet alkavat nykyisin yleistymään niiden paremman ohjattavuuden takia. Huonona puolina niissä on kuitenkin kalliimpi hinta sekä heikompi luotettavavuus.

2.2 Turboahtimen rakenne

Kuvassa 3 on kuvattu ahtimen tärkeimmät komponentit. Kaikessa yksinkertaisuudessaan pakosarjasta tuleva pakokaasu pyörittää pakosiipeä, joka on kiinnitetty akselin välityksellä kompressorisiipeen. Pyörivä kompressorisiipi imee ilmaa imuputken kautta ulkoilmasta, ja ahtaa sitä ahtoputken kautta moottorin sisään.



KUVA 3, Ahtimen rakenne (http://rricketts.com)

Suurin ahtimen tuottama ahtopaine saadaan valittua hukkaportin kellon mitoituksella. Kun tarpeeksi suuri ahtopaine on saavutettu, hukkaportin kello liikuttaa tankoa joka aukaisee pakopesässä sijaitsevan hukkaportin läpän. Auennut läppä päästää osan pako-

kaasuista pakosiiven ohitse suoraan pakoputkeen, ja täten hidastaen pakosiiven pyörintänopeutta. Hukkaportti on yleisimmin sijoitettu juurikin kiinteäksi osaksi pakopesää.

Jälkiasenteisissa ja virityskäyttöön tarkoitetuissa ahtimissa ei yleensä ole mukana hukkaporttia ollenkaan, vaan ne vaativat toimiakseen erillisen hukkaportin. Toiminta on kuitenkin täysin sama, hukkaportti päästää pakokaasua ahtimen ohitse suoraan pakoputkeen täten rajoittaen ahtimen pyörintänopeutta.

2.2.1 Pakopesä

Turboahtimen pakopesässä moottorista pakosarjan kautta tulevat pakokaasut ohjataan pyörittämään pakosiipeä. Karkealla yleistyksellä voidaan todeta, että pienemmällä pakopesällä varustetut ahtimet tuottavat paremman alaväännön sekä ahtimen heräämisen, ja suurella pakopesällä varustetut ahtimet suuremman huipputehon ahtimen heräämisen samalla heiketessä.

KUVA 4, Pakopesä (http://www.atpturbo.com)

Kuvassa 4 on Garrettin valmistama pakopesä irroitettuna muusta ahtimesta. Kuten kuvasta näemme on kyseinen pakopesä varustettu kiinteällä hukkaportilla.

2.2.2 Kompressoripesä

Ahtimen kompressoripesän valinta on huomattavasti helpompaa kuin ahtimen pakopesän. Valintaa helpottavat ahdinvalmistajien antamat kompressorikartat, joiden avulla

oikean kompressoripesän valinta omaan autoonsa on helpompaa. Kompressorikarttoihin liittyvä teoria sekä niiden tulkitsemisohjeet tulevat vastaan myöhemmin tässä opinnäytetyössä, teoreettisessa osuudessa.

KUVA 5, Kompressoripesä ja –siipi (http://www.gillettdiesel.com)

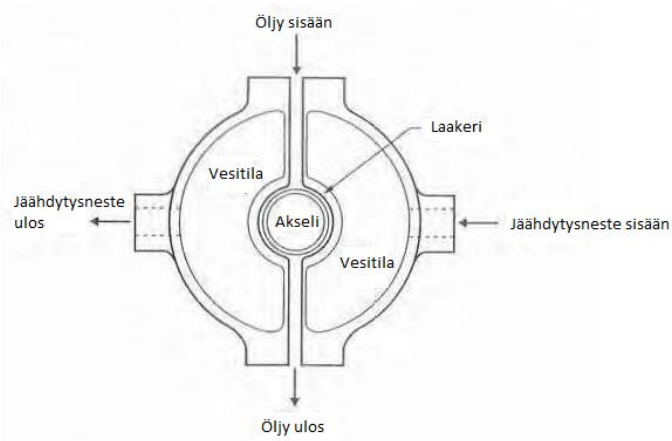
2.2.3 Ahtimen keskiö

Ahtimen keskiö on ahtimen herkin ja kallein osa. Normaalisti valuraudasta valmistettuihin pako- ja kompressoripesään verrattuna se maksaa enemmän kuin muut ahtimen osat

yhteensä. Kompressoripesän sisällä sijaitsevat ahtimen laakerointi, sekä öljy ja yleensä myös jäähdytysnestekanavat.

Ahtimen laakerointia löytyy kahta erilaista tyyppiä: liukulaakeroitu sekä kuulalaakeroitu. Liukulaakeriahtimessa ahtimen siipien välisen akselin laakerointi hoituu öljynpaineen avulla aikaan saadun öljykerroksen avulla. Kuulalaakeriahtimessa taas on nimensä mukaisesti normaalisti 2 öljyvoideltua kuulalaakeria. Kuulalaakeriahtimien öljyntarve on kuitenkin huomattavasti pienemepi kuin liukulaakeriahtimien. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia vaihtaessa autoon, jossa on tehtaalta lähtien liukulaakeriahdin, uusi kuulalaakeriahdin. Ongelma voidaan korjata ahtimen öljyntuloputkeen sijoitettavalla oikeankokoisella kuristimella.

KUVA 6, Garrett GT28RS / GT2860RS keskiö (http://www.atpturbo.com)



KUVA 7, Ahtimen keskiö (Maximum Boost – Corky Bell)

Ahtimen keskiö vaatii aina jäähdytystä, sillä pakopuolen lämmöt saattavat nousta jopa yli 1000 °C lämpötiloihin. Joissakin tapauksissa, esimerkiksi dieseleissä, joissa on pienemmät palamislämmöt, ahtimen öljykierron jäähdyttävä vaikutus on tarpeeksi suuri. Nykyisin on kuitenkin hyvin yleistä että ahtimessa on lisäksi myös erillinen kierto jääh-

dytysnesteelle. Jäähdytysnestekierrolla saadaan ehkäistyä ongelmaa, jossa kovemman ajon jälkeen sammutetussa moottorissa öljy lopettaa kiertonsa ja kuuma ahdin polttaa ahtimen sisäisissä öljykanavissa öljyn kiinni kanavien seinämiin.

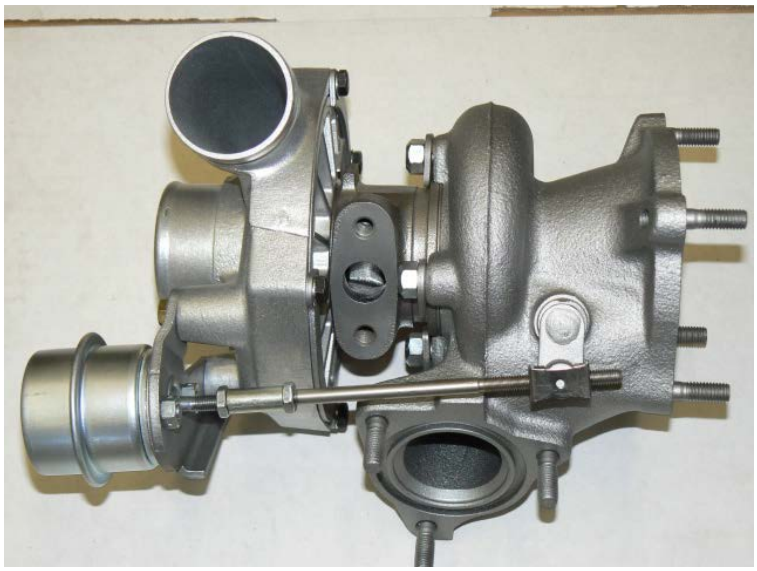
Kun autoon asennetaan uutta ahdinta on otettava huomioon että periaatteessa jokainen ahdin vaatii ahtimen keskiön kääntämistä oikeaan asentoon. Tämä onnistuu onneksi helposti sillä sekä pakopesää että kompressoripesää voidaan pyöritellä vapaasti suhteessa ahtimen keskiöön. Ahtimen asentoa säädettäessä tärkein asia on että ahdin sijaitsee vaakasuorassa. Tämä on ahtimen voitelun ja keston kannalta tärkää. Kun ahdin on suorassa, pitää seuraavaksi kääntää keskiö oikeaan asentoon. Turbovalmistaja Garrett suosittelee että ahtimen öljytulo on keskiön yläpuolella, ja öljyn paluu sijaitsee keskiön alareunassa. Jäähdytysnesteen optimaalisen kierron kannalta ahdinta kannattaa kiertää noin 25°, siten että viileämpää jäähdytysnesteen tulopuoli sijaitsee alempana. Kyseinen ohje on hyvin yleispätevä myös muita ahtimia varten.

2.2.4 Hukkaportti

Hukkaportin tehtävänä on rajoittaa suurinta ahtimen tuottamaa ahtopainetta ja siitä suoraan seuraten auton tuottamaa suurinta tehoa. Hukkaportit voidaan jakaa kiinteästi ahtimessa sijaitseviin hukkaportteihin, sekä ulkoisiin hukkaportteihin. Hukkaporttien ohjaus tapahtuu erillisen ohjauspaineletkun avulla. Ohjauspaine voidaan ottaa joko suoraan kompressoripesästä, tai jostain kohtaa myöhemmin, kuitenkin ennen kaasuläppää. Kun suurin halutta paine on saavutettu, hukkaportin kellon kalvo liikkuu ja tanko avaa kuvassa 3 näkyvää hukkaportin läppän Ahtimen tuottamaa painetta pystytään muuttamaan helpoiten vaikuttamalla hukkaportin kellolle tulevaan ohjauspaineeseen. Jälkiasenteisilla ahtopaineen säätimillä voidaan nostaa ahtopaineita rajoittamalla ohjauskellolle tulevaa painetta. Ahtopaineensäätimellä on täten mahdoton saada laskettua ahtimen tuottamaa ahtopainetta.

KUVA 8, Hukkaportin ohjauskello ja hukkaportin tanko (http://www.atpturbo.com)

Sisäinen hukkaportti on hyvin yleinen ratkaisu, varsinkin hieman pienempikokoisissa ahtimissa. Se on hyvin vähän tilaa vielä ratkaisu, sekä tulee halvemmaksi kuin ulkoinen hukkaportti. Edellisessä kappaleessa mainittu ahtimen pakopesien keskinäinen kääntely saattaa tosin aiheuttaa sen että hukkaportin ja hukkaportin kellon välistä tankoa pitää hieman muokata.



KUVA 9, Hukkaportin kello ja tanko kiinni ahtimessa (http://www.vividracing.com)

Ulkoinen hukkaportti on toiminnaltaan täysin samanlainen kuin sisäinenkin hukkaportti. Pelkästään sen sijainti on erilainen. Ulkoinen hukkaportti on virityskäytössä suositumpi, sillä ahtimessa oleva pienikokoinen kiinteä hukkaportti saattaa aiheuttaa ylimääräistä pakopaineiden kasvua siten heikentäen ahtimen toimivuutta ja kestävyyttä. Pakosarjasta johdetaan putki ulkoiselle hukkaportille, joka taas johtaa auetessaan pakokaasut joko pakoputkeen ahtimen jälkeen, tai joissakin tapauksissa myös suoraan ulkoilmaan.

Ulkoisten hukkaporttien kokoa mitataan sen sisällä olevan venttiilin halkaisijan mukaan. Allaolevassa taulukossa on listattu karkeat kokosuositukset hukkaportille moottorin tuottaman tehon suhteen.

Hukkaportin koko	Suurin teho
36 mm	400 hv
42 mm	500 hv
48 mm	850 hv

KUVA 10, TIALin ulkoinen hukkaportti (http://www.kosunenracing.com)

KUVA 11, HKS:n valmistama pakosarja varustettuna ulkoisella hukkaportilla (http://www.tdi-plc.com)

3 OIKEAN AHTIMEN VALINTA

3.1 Kompressoripesän valinta

Kompressoripesää valitessa päästään suorittamaan muutamia laskutoimituksia, jotka helpottavat huomattavasti oikean kompressoripesän valintaa. Vaikka kompressoripesän valintaa helpottaakin tarkat lasketut tulokset jotka sijoitetaan ahdinvalmistajan valmiiseen kuvaajaan, vaikuttaa kompressoripesän valintaan silti oma mielipide sekä tulkinta. Kuten aikaisemminkin on todettu, ei ole olemassa yhtä oikeaa ahdinta tiettyyn kokonaisuuteen.

3.1.1 Painesuhde

Painesuhde on ahtimen tuottama kokonaisilmanpaine jaettuna ilmakehän paineella. Ilmakehän paine merenpinnan tasolla on noin 1,013 bar, mutta näissä laskuesimerkeissä käytetään yksinkertaisuuden vuoksi 1 bar –arvoa. Ahdinta mitoittaessa ei ole tarpeen mennä sadas- tai tuhannesosien tarkkuuksiin sillä teoreettiset laskelmat eivät missään nimessä vastaa täysin absoluuttisesti käytännön tuloksia. Ne antavat kuitenkin hyvin suuntaa ja apua oikean ahtimen valinnassa.

Ahtimen painesuhde (P_r) saadaan laskettua kaavalla:

$$Painesuhde\ P_r = \frac{p_1 + p_2}{p_1}$$

jossa p_1 on ulkoilman paine ja p_2 on ahtopaine.

Eli 0,7 bar ahtopaineella painesuhde on 1,7.

3.1.2 Ilmamäärä

Painesuhteen jälkeen on selvitettävä moottorin tarvitsema ilmamäärä. Kun sekä painesuhde, että ilmamäärä on tiedossa päästään vihdoinkin tarkastelemaan kompressorikarttoja.

Moottorin vaatima ilmamäärä saadaan laskettua kaavalla:

$$V = k * \tau * V_k * \frac{n}{2} * \frac{p_2}{p_1} * \frac{T_1}{T_2}$$

jossa V = ilmamäärä (m^3/s)

k = muunnoskerroin (10^{-3})

τ = sylinterin täytösaste (tarkka arvo ei tiedossa, käytetään arviota)

V_k = moottorin kokonaisiskutilavuus (l)

n = moottorin pyörintänopeus suurimman tehon kohdalla

p_2 = ahtopaine (absoluuttinen, bar)

p_1 = ulkoilmanpaine (bar)

T_2 = imuilman lämpötila (tarkka arvo ei tiedossa, käytetään arviota)

T_1 = ulkoilman lämpötila (K)

3.1.3 Massavirta

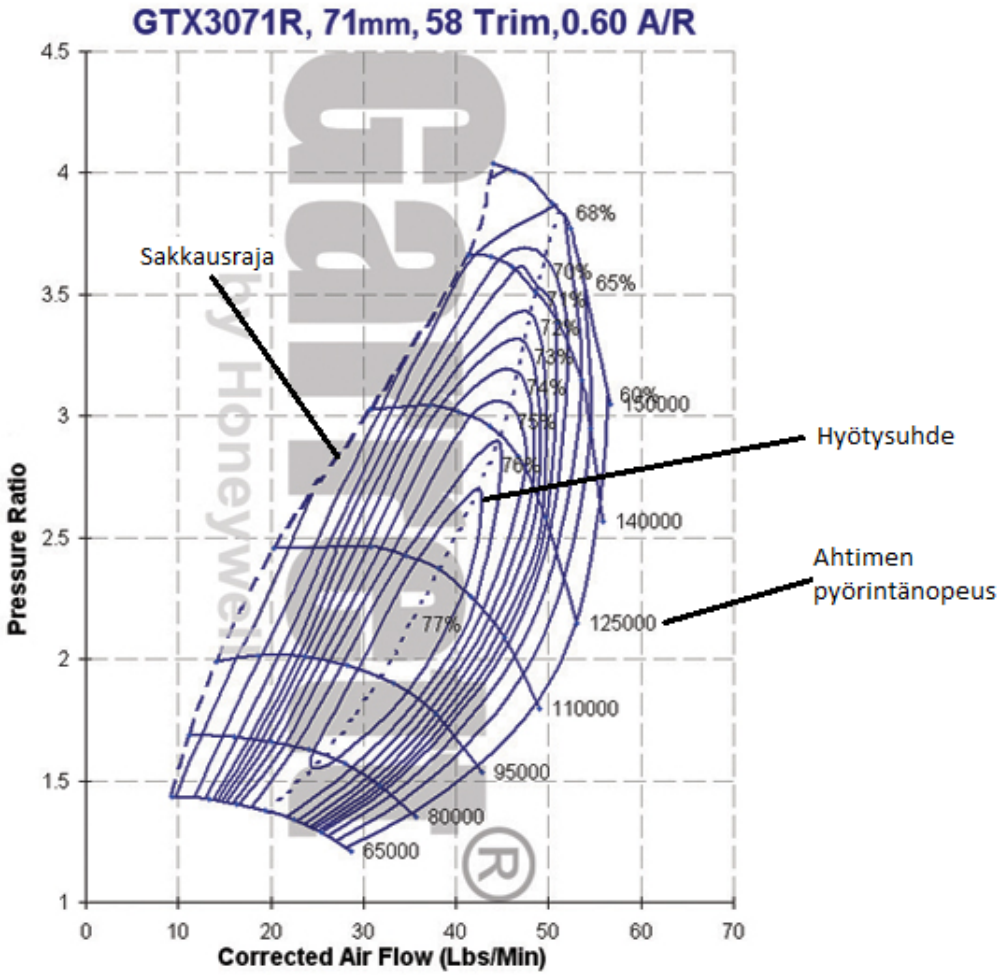
Kun moottorin tarvitsema ilmamäärä sekä ahtimen painesuhde on saatu laskettua, päästään sijoittamaan lasketus arvot kompressorikartalle. On huomioitava että lasketut arvot ovat samaa yksikköä kuin kompressorikartan arvot. Koska ahdinvalmistajat ilmoittavat usein ilmamäärän massavirtana yksikössä lb/min, on edellä annettua esimerkkikaavaa käytettäessä muistettava muuttaa ilmamäärän yksikkö vielä oikeaan arvoon.

Tämä tapahtuu kaavalla:

$$massavirta(lb/\mathrm{min}) = \frac{V * 1{,}226\ kg/m^3}{7{,}56 * 10^{-3}}$$

3.1.4 Kompressorikartta

Kompressorikarttaa lukiessa on huomioitava useita eri muuttujia. Kuvaajan vaaka-akseli kuvaa ilmamäärää ja pystyakseli painesuhdetta. Ahtimen toiminnan ja keston kannalta tärkeitä arvoja ovat kartan vasemmassa reunassa sijaitseva sakkausraja, kompressoripesän hyötysuhde, sekä ahtimen pyörintänopeus.



KUVA 12, Kompressorikartta GT3071r (http://www.turbobygarrett.com)

Sakkausraja tarkoittaa pistettä jossa ahdin pyrkii tuottamaan liikaa painetta liian pienellä ilmamäärällä. Esimerkiksi liian pienikokoinen ahdin saattaa ahtaa jo liian pienillä kierroksilla liian paljon. Suurin ongelma sakkauksessa on se että se saattaa aiheuttaa jopa ahtimen hajoamisen. Sakkaus-ongelmaa saadaan korjattua hukkaportin avulla rajoittamalla ahtimen tuottamaa ahtopainetta. Joihinkin virityskäyttöön tarkoitettuihin ahtimiin saa myös niin sanottua anti-surge –kompressoripesää. Tämä tosin heikentää kompressoripesän hyötysuhdetta.

Kompressorikartan keskellä olevat muodot kertovat kompressoripesän hyötysuhteen. Ahdinmitoituksessa on pyrittävä pääsemään kyseiselle ahtimelle optimaalisiin käyttöalueisiin, mikäli halutaan ahtimen toimivan hyvin.

Kuvaajan oikeassa reunassa on lukuja, jotka kertovat ahtimen pyörintänopeuden. Tärkeintä on huomioida ettei ahtimen siivet pääse mistään syystä pyörimään nopeammin kuin mihin ne on mitoitettu. Liian suuri pyörintänopeus saattaa aiheuttaa ahtimen hajoamisen ja pahimmillaan moottorin vaurioitumisen.

3.2 Pakopesän valinta

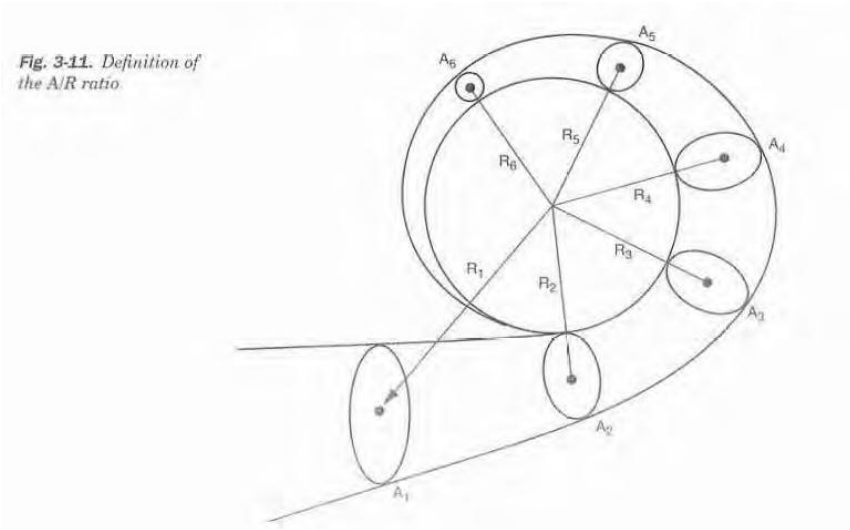
Kun haluttu kompressoripesä on saatu valittua, on seuraavaksi vuorossa pakopesän valinta. Pakopesän valinta on huomattavasti vaikeampaa kuin kompressoripesän, jolle löytyy valmiita kompressorikarttoja joiden mukaan valintaa on helpompi tehdä. Pakopesän valinta on aina jonkin asteinen kompromissi.

Tilannetta ei yhtään helpoita se, että turbiinikarttoja on vielä kompressorikarttojakin heikommin saatavilla ahtimien valmistajilta. Monessa tapauksessa ahtimen pakopesä onkin valittava sen perusteella, minkälaista moottoria ollaan rakentamassa, ja minkälaiseen käyttöön. Parhaiten apuna on aikaisemmin saadut tulokset kyseisellä ahtimella.

3.2.1 A/R

Pakopesän mitoituksessa fyysisen koon lisäksi ehkä tärkein ominaisuus on niin sanottu A/R –luku. A/R –luvussa A (Area) tarkoittaa pakopesän suuaukon pinta-alaa ja R (Radius) kertoo pakosiiven keskipisteen ja suuaukon keskipisteen välisen etäisyyden. A/R –luvut vaihtelevat tavallisesti vakioahdinten noin 0.5 A/R:stä suurien viritysahtimien jopa yli 1.0 A/R:ään. Mitä pienempi A/R, eli mitä pienemmän reiän kautta pakokaasut puhaltavat ja pyörittävät ahtimen akselia, sitä paremmin ja pienemmillä kierroksilla ahdin jaksaa ahtaa.
Toisaalta pienempi A/R tarkoittaa sovelluksesta riippuen pienempää huipputehoa, ja saattaa joissakin kokoonpanoissa rajoittaa käytettävää suurinta ahtopainetta huomatta-

vasti kasvavan pakopaineen takia. Pakopesän A/R:n valinta on aina kompromissi suurimman tehon ja alaväännön sekä heräämisen välillä.

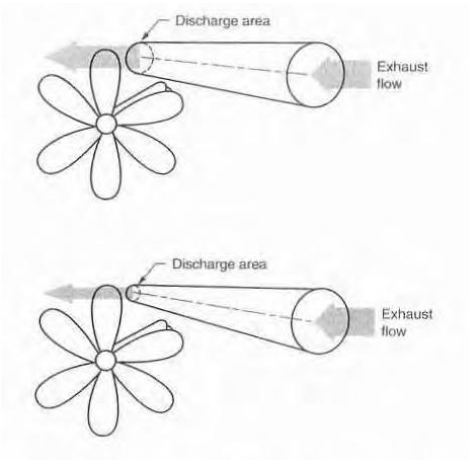


KUVA 13, A/R määritelmä (Maximum Boost – Corky Bell)

A/R saadaan laskettua kaavalla:

$$\frac{A_1}{R_1} = \frac{A_2}{R_2} = \frac{A_3}{R_3} = \frac{A_4}{R_4} = \frac{A_5}{R_5} = \frac{A_6}{R_6}$$

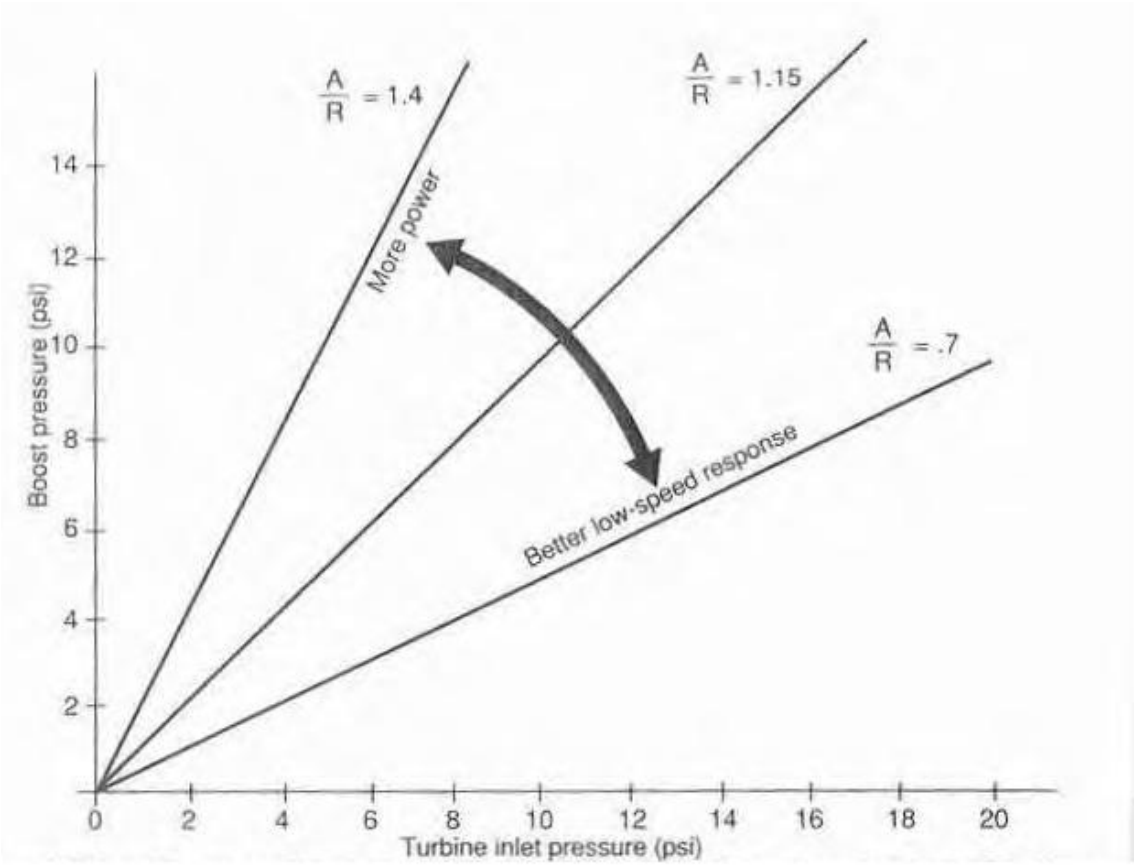
Toisin sanoen A/R pysyy kokoajan vakiona.



KUVA 14, A/R vaikutus (Maximum Boost – Corky Bell)

Käytännön esimerkki ahtimen pakopesän A/R:n vaikutuksesta ahtimen käyttäytymiseen: Garrettin valmistamaa ahdinta GT2871R on saatavilla sekä .64 että .86 A/R:n pa-

kopesällä. Suuremmalla pakopesällä varustettu ahdin tuottaa 2,0 litran moottorissa noin 400 hevosvoimaa, kun taas pienemmällä pakopesällä varustettu muuten vastaava .64 – pakopesäinen ahdin tuottaa noin 380 hevosvoimaa. Ahdinten heräämisessä on kuitenkin huomattava ero: pienempi ahdin tuottaa suurimman ahtopaineensa jo noin 500rpm aikaisemmin kuin suurempi. Oikeaa vastausta siihen, kumpi ahdin on parempi ei ole olemassa, vaan jokainen ahdinta hankkiva joutuu itse päättämään, kumpi ahdin vastaa paremmin omaa mieltymystään. Onko tarvittaessa saavutettava noin 20 hevosvoiman ero tärkeämpi asia kuin auton ajettavuuden heikkeneminen ahtimen myöhäisemmän heräämisen takia?



KUVA 15, A/R vaikutus heräämiseen (Maximum Boost – Corky Bell)

Kuvassa 15 on kuvattu A/R:n vaikutusta ahtimen tuottamaan ahtopaineeseen. X-akselilla on kuvattu pakopesän pakopaine sisääntulon puolella, ja y-akselilla on kuvattu ahtimen tuottama ahtopaine. On huomioitavaa että suuremmalla pakopesällä varustetussa ahtimessa pakopaineet pysyvät pienempinä kuin pienempi pakopesäisessä.

4 LASKUESIMERKKI

4.1 Teoria

Autona Nissan Pulsar GTI-R 2 litraisella bensamoottorilla. Tavoitteena saada hieman alle 400 hevosvoimaa ilman että ahtimen herääminen heikkenee paljoa vakioahtimesta. Ahtopaine on tarkoituksena pitää noin 1,5 barissa.

Painesuhde laskettiin kaavalla

$$P_r = \frac{p_1 + p_2}{p_1}$$

Johon sijoitetaa arvot

p_1 = ulkoilman paine (1 bar)

p_2 = ahtopaine (1,5 bar)

Jotka sijoitetaan kaavaan

$$P_r = \frac{1\ bar + 1{,}5\ bar}{1\ bar}$$

Josta saadaan painesuhteeksi 2,5.

Ilmamäärä laskettiin kaavalla:

$$V = k * \tau * V_k * \frac{n}{2} * \frac{p_2}{p_1} * \frac{T_1}{T_2}$$

Kaavaan sijoitetaan arvot:

k = muunnoskerroin (10^{-3})

τ = sylinterin täytösaste (tarkka arvo ei tiedossa, käytetään arviota 1,05)

V_k = moottorin kokonaisiskutilavuus (2 litraa)

n = moottorin pyörintänopeus suurimman tehon kohdalla (7000 rpm = 117 kierrosta / s)

p_2 = ahtopaine (absoluuttinen, 2,5 bar)

p_1 = ulkoilmanpaine (1 bar)

T_2 = imuilman lämpötila (tarkka arvo ei tiedossa, käytetään arviota 400 K)

T_1 = ulkoilman lämpötila (300 K)

Ja kaikki arvot sijoitetaan kaavaan

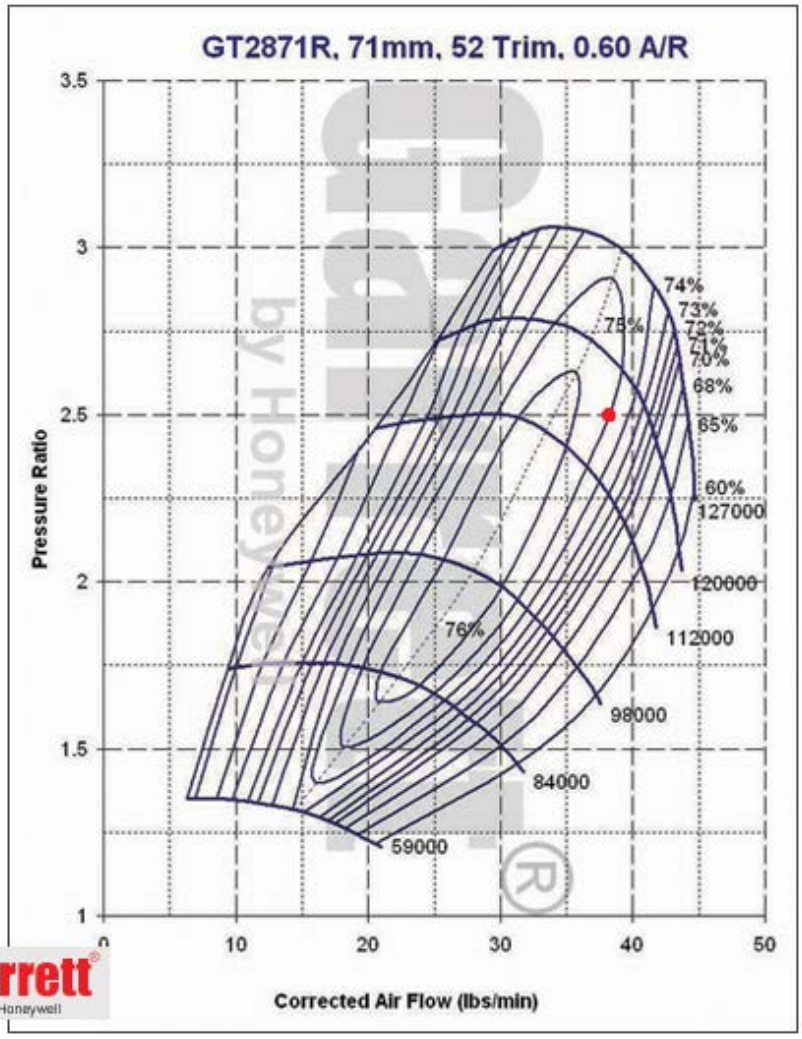
$$V = 10^{-3} * 1{,}05 * 2 * \frac{117\frac{1}{s}}{2} * \frac{2{,}5\ bar}{1\ bar} * \frac{300\ K}{400\ K}$$

Kaavasta saadaan tulokseksi V = 0,23 (m^3/s). Tämä arvo pitää muuttaa vielä muotoon paunaa per minuutti. Muunnos tapahtui kaavalla:

$$massavirta(lb/\min) = \frac{V * 1{,}226\ kg/m^3}{7{,}56 * 10^{-3}}$$

Kun V sijoitetaan kaavaan, saadaan tulokseksi 37,4 lb / min.

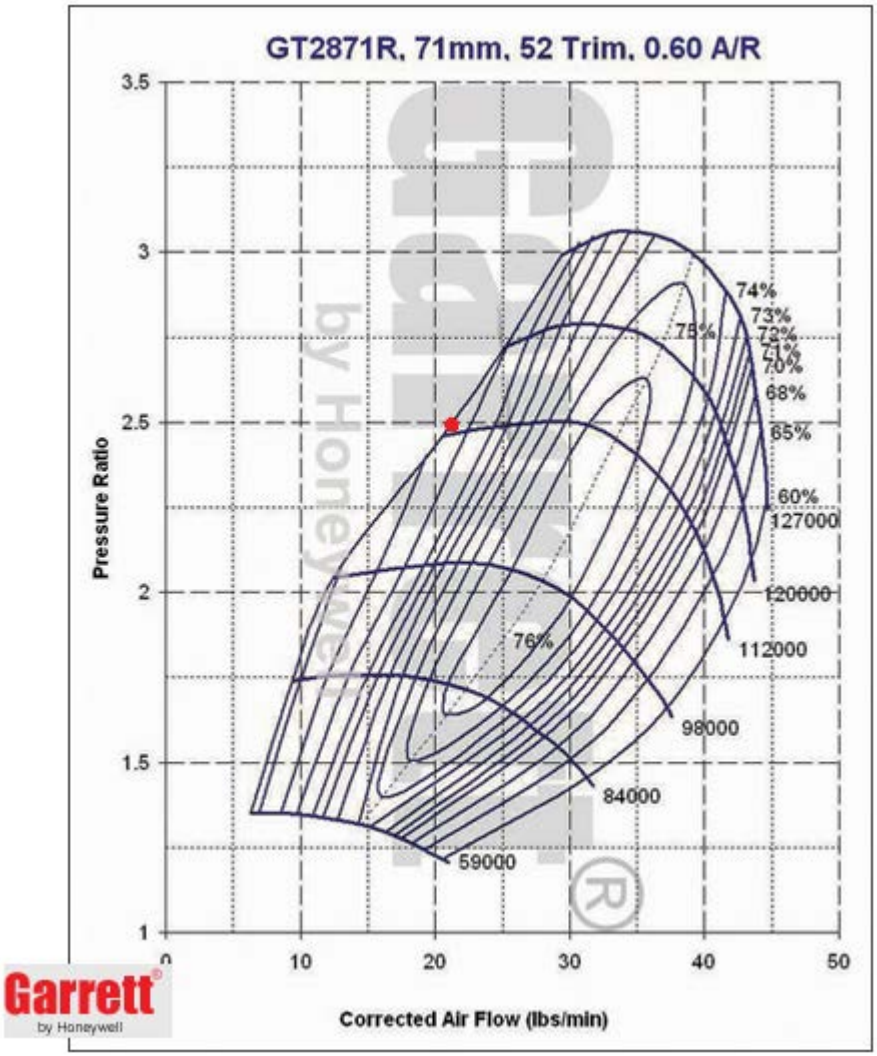
Nyt tiedetään ilmamassavirta, sekä painesuhde, ja voidaan sijoittaa ne valitun ahtimen kompressorikarttaan. Tämän jälkeen päästään tutkimaan ahtimen sopivuutta kyseiseen autoon. Tarkasteltavaksi ahtimeksi valittiin Garrettin valmistama GT2871r ahdin.



KUVA 16, Kompressorikartta GT2871r 7000 rpm (http://www.turbobygarrett.com)

Kuvasta 16 voimme todeta maksimitehon osuvan melko hyvin kompressorikartalle, noin 75% hyötysuhteen kohdalle. Kuten kuvasta huomaa, ei kompressori riittäisi enää kovinpaljoa isommille ilmamäärille, vaan hyötysuhde alkaisi hyvin nopeasti laskemaan.

Varmistetaan vielä, kuinka lähelle sakkausrajaa päästään, mikäli oletetaan että kompressoripesä tuottaisi suurimman ahtopaineen, 1,5 bar, moottorin kieräessä noin 4000 kierrosta minuutissa. Tilannetta voidaan tarvittaessa korjata turbiinipesän valinnalla, tai hukkaporttia ohjaamalla.



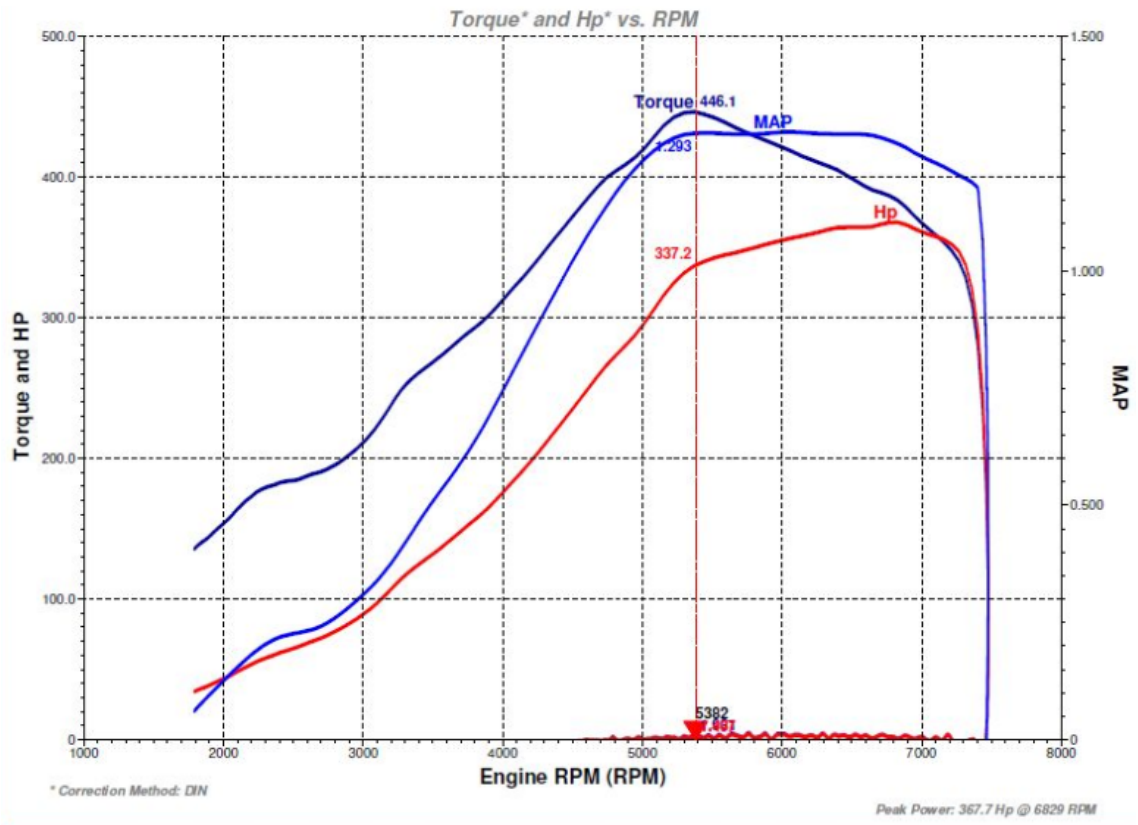
KUVA 17, Garrett GT2871r 4000 rpm (http://www.turbobygarrett.com)

Laskuista saadaan ilmamassaksi 21,3 lb / min 1,5bar ahtopaineilla 4000 rpm kohdalla. Arvo osuu vaarallisen lähelle ahtimen sakkausrajaa, joten tässäkohtaa jonkinlaiset toimenpiteet ovat tarpeen. Vaihtoehtoja ovat isommalla A/R –luvulla varustettu pakopesä, jolla ahtimen heräämistä saadaan ylemmäksi, tai ahtimen tuottaman maksimiahtopaineen tai ainakin ahtopaineen noin 4000 rpm kohdalla laskeminen.

4.2 Käytäntö

Esimerkissä olevaan autoon asennettiin lopulta laskuesimerkissä oleva Garrett GT2871r .64 pakopesällä varustettuna. Ahtimen sakkausongelma korjaantui ilman suurempia toimenpiteitä auton hieman liian ahdistavan pakoputkiston avulla. Rajoittava putkisto hidasti tarpeeksi ahtimen heräämistä, ja auto voitiin säätää toimimaan tavoitellulla 1,5 bar ahtopaineella. Tarvittaessa samaa ahdinta olisi ollut saatavana myös isommalla .86 A/R pakopesällä, jolla ongelmat olisivat myöskin korjaantuneet.

Auto käytettiin tehomittauksessa Pirkkalassa Tatechilla, josta saatiin tulokseksi 1,3 bar ahtopaineilla 367, 7 hevosvoimaa 6829 kierroksen kohdalla ja 446,1 Nm vääntöä 5382 kierroksen kohdalla.



Ahdinvalinta osui yhteen hyvin tavoitteiden kanssa. Tosin ahtimen heräämistä olisi varaa parantaa vielä huomattavasti, vaikka laskuesimerkin mukaan oltiin vielä melko vaarallisella alueella. Valitettavasti ilmeisesti samainen ahdistava pakoputkisto aiheutti sen että auto ei jaksanut ottaa dynamometrissä samoja ahtopaineita kuin kadulla ajettaessa (1,5 bar), ja lopulliset teholukemat jäivät hieman epäselviksi.

Kuten ahtimen kompressorikartasta nähdäänkin, alkaa ahdin loppumaan jo melko pahasti tuotoltaan, ja lopputuloksena ahtopaineiden kasvattamiseen saattaisi olla vain vaarallisen suuri pakopaineiden ja lämpöjen nousu ilman merkittäviä teholisäyksiä.

Tässämielessä suuremmalla A/R –arvolla varustettu pakopesä saattaisi samalla kertaa korjata huipputeho-alueen puutumisongelman, sekä mahdollistaa ahtopaineiden nousun jopa lähes yhtänopeasti kuin pienemmällä pakopesällä, ilman vaaraa ahtimen sakkaamisesta. Tämä olisi mielenkiintoinen testata, mutta siitä aiheutuvien ylimääräisten kustannusten vuoksi se on valitettavasti jätettävä vain spekulointien varaan.

5 POHDINTA

Mielestäni on hyvä, että sain työhön todellista käytännön mittaustulosta, eikä koko työ pohjaudu pelkästään teoreettisiin laskelmiin. Valitettavasti ahdinmuutokset ovat hyvin kallista työtä, ja se aiheuttaa sen että tälle kertaa ei valitettavasti muita esimerkkituloksia saatu. Olisi kyllä ollut hyvin mielenkiintoista nähdä muiden ahdinvalintojen lopputuloksia, mutta harvemmin kellään yksityishenkilöllä joka harrastuksekseen laittaa autoja on mahdollisuutta testata samoissa olosuhteissa ja samassa autossa useampien ahdinkokonaisuuksien toimintaa.

Ahdinvalinta ei voi mielestäni koskaan perustua täysin sataprosenttisesti pelkkiin teorialaskennan tuloksiin. Jo pelkästään se, että osa lähtöarvoista on käytännönolosuhteissa mahdoton mitata, kuten esimerkiksi sylinterin täytösaste, aiheuttaa sen, että laskut ovat parhaimmillaankin vain suuntaa antavia. Oikein tehtynä laskelmat auttavat kuitenkin hyvin paljon oikean ahtimen valinnassa.

Lopullinen tulos selviää kuitenkin vasta kun autoa pääsee testaamaan käytännön olosuhteissa kyseisen ahtimen kanssa. Tämän jälkeen ehkä halvimmalla ahtimen ominaisuuksia pääsee muuttamaan vaihtamalla pelkkää pakopesää, jos esimerkiksi havaitaan valitun pakopesän olevan aivan liian ahdas, joka aiheuttaa liian suuret pakolämmöt ja –paineet. Samalla tosin hävitetään alemman kierrosalueen ominaisuuksia, joten helpolla ei turboharrastaja pääse koskaan.

LÄHTEET

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

Automotive, 2014. The Official Blog of Richard Ricketts. Luettu 26.1.2014.
http://rricketts.com/wp-content/uploads/2011/11/garrett-airesearch-turbocharger.jpg

Turbo Info, 2014. ATP Turbo. Luettu 26.1.2014.
http://www.atpturbo.com/mm5/graphics/00000001/Catalog%20Images/Turbochargers/ATP-HSG-005_450.jpg

Turbo tech – Advanced, 2014. Garrett by Honeywell. Luettu 26.1.214.
http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/sites/default/files/turboTech/TurboTech-Advanced/Garrett-Housing-AoverR.jpg

Photo Gallery, 2014. Gillet Diesel Service. Luettu 26.1.2014.
http://www.gillettdiesel.com/images/products/detail/hxch08.JPG

Turbo Info, 2014. ATP Turbo. Luettu 26.1.2014.
http://www.atpturbo.com/mm5/graphics/00000001/CHRA.jpg

Turbo Info, 2014. ATP Turbo. Luettu 26.1.2014.
http://www.atpturbo.com/mm5/graphics/00000001/Catalog%20Images/Wastegate/GRT-WGT-008_450.jpg

Catalog, 2014. Vividracing. Luettu 26.1.2014.
http://www.vividracing.com/catalog/images/ap-1barwastegate.jpg

Turboahdin ABC, 2014. Kosunen Racing. Luettu 26.1.2014.
http://www.kosunenracing.com/turbo.html

Turboahdin ABC, 2014. Kosunen Racing. Luettu 26.1.2014.
http://www.kosunenracing.com/images/t_tial.jpg

Catalog, 2014. Torque Development International. Luettu 26.1.2014.
http://www.tdi-plc.com/catalog/images/HKS%20EXHAUST%20MANIFOLD%20-%20EXTERNAL%20WASTEGATE.png

Performance Maps, 2014. Garrett by Honeywell. Luettu 26.1.214.
http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/sites/default/files/default_images/turbogroup/performance_maps/472560-15comp.jpg

Performance Maps, 2014. Garrett by Honeywell. Luettu 26.1.214.
http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/sites/default/files/default_images/turbogroup/performance_maps/472560-15turb.jpg

Performance Maps, 2014. Garrett by Honeywell. Luettu 26.1.214.
http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/sites/default/files/default_images/turbogroup/performance_maps/GTX3071R-comp.jpg

Performance Maps, 2014. Garrett by Honeywell. Luettu 26.1.214. http://www.turbobygarrett.com/turbobygarrett/turbochargers