



DIESELKÄYTTÖISTEN HENKILÖAUTOJEN  
KEHITYKSEN VAIKUTUKSET KYLMISSÄ  
OLOSUHTEISSA

Sami Tyykiluoto  
2011  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

DIESELKÄYTTÖISTEN HENKILÖAUTOJEN  
KEHITYKSEN VAIKUTUKSET KYLMISSÄ  
OLOSUHTEISSA

Sami Tyykiluoto  
Opinnäytetyö  
29.4.2011  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
<u>Kone- ja tuotantotekniikka</u>	<u>Insinöörityö</u>	<u>59</u>	<u>+</u>	<u>3</u>
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
<u>Auto- ja kuljetustekniikka</u>	<u>2011</u>			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
<u>OAMK, Autolaboratorio</u>	<u>Sami Tyykiluoto</u>			
Työn nimi				
<u>Dieselmoottoisten henkilöautojen kehityksen vaikutukset kylmissä olosuhteissa</u>				
Avainsanat				
<u>Dieselmoottorit, henkilöautot, hukkalämpö ja hyötysuhde</u>				

Työssä selvitetään, mitkä tekijät ovat vaikuttaneet siihen, ettei nykyaikainen dieselmoottori tuota jäähdytysjärjestelmään tarpeeksi hukkalämpöä moottorin ja ohjaamon lämmittämiseksi kylmissä olosuhteissa. Työ on luonteeltaan kirjallisuustutkimus.

Työssä perehdytään merkittävimpiin moottorin hyötysuhdetta parantaneisiin tekijöihin. Ruiskutusjärjestelmien ja ahtamisen menetelmien kehityksen myötä saavutetaan suoraruiskutuspalotilalla korkea hyötysuhde. Suoraruiskutuspalotilan ansiosta moottoreissa voidaan myös käyttää alhaisempaa puristussuhdetta. Moottorin iskuilavuutta ja välityssuhdetta pienentämällä on saavutettu alhaisempi moottorin ominaiskulutus. Myös jäähdytysjärjestelmään liitettävät laitteet vaikuttavat moottorin lämpenemiseen.

Moottorin tuottama mekaaninen energia käytetään ajovastuksien voittamiseen. Ilmanvastuserrointa, vierintävastuserrointa ja ajoneuvon massaa pienentämällä voidaan polttonesteen kulutusta laskea.

Erityyppisillä lisälämmitysratkaisuilla on pyritty vaikuttamaan moottorin ja ohjaamon lämpenemiseen. Viimasuojilla voidaan nopeuttaa moottorin lämpenemistä moottorin ilmapirtausta rajoittamalla. Polttonestekäyttöisillä lisälämmittimillä on suuri teho ja lämmitysvastuksilla ohjaamon ilmaa voidaan lämmittää nopeasti, mutta nämä menetelmät kasvattavat polttonesteen kulutusta. Lämmönvaraajilla moottorin tuottamaa lämpöä voidaan varastoida. Pakokaasujen energian käyttäminen hyväksi ratkaisisi ongelmat, mutta lainsäädäntö ei kannusta uusien menetelmien käyttöönottoa.

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	5
2 MOOTTORITEKNIikka.....	6
2.1 Palotila .....	7
2.1.1 Esikammion menetelmä.....	8
2.1.2 Pyörrekammion menetelmä .....	9
2.1.3 Suoraruiskutusmenetelmä .....	10
2.2 Polttonesteen annostelu.....	12
2.2.1 Rivipumppu .....	14
2.2.2 Jakajapumppu.....	16
2.2.3 Yksikköpumput.....	19
2.2.4 Yhteispaineruiskutus .....	20
2.3 Ahtaminen .....	23
2.4 Hyötysuhteet .....	27
2.5 Jäähdytysjärjestelmä.....	31
3 AJOVASTUKSET .....	34
3.1 Ilmanvastus .....	35
3.2 Vierintävastus.....	37
3.3 Ajoneuvon massa.....	38
4 OHJAAMON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ .....	40
4.1 Viimasuoja.....	43
4.2 Polttonestekäyttöiset lisälämmittimet .....	45
4.3 Lämmitysvastukset.....	49
4.4 Lämmönvaraaja.....	51
4.5 Pakokaasulämmönvaihdin .....	53
5 YHTEENVETO .....	55
LÄHTEET.....	57
LIITTEET	
Liite 1. Dieselruiskutusjärjestelmät	
Liite 2. Jakajapumpun korkeapaineosa	
Liite 3. Ruiskutusventtiilin rakenne (CR)	

# 1 JOHDANTO

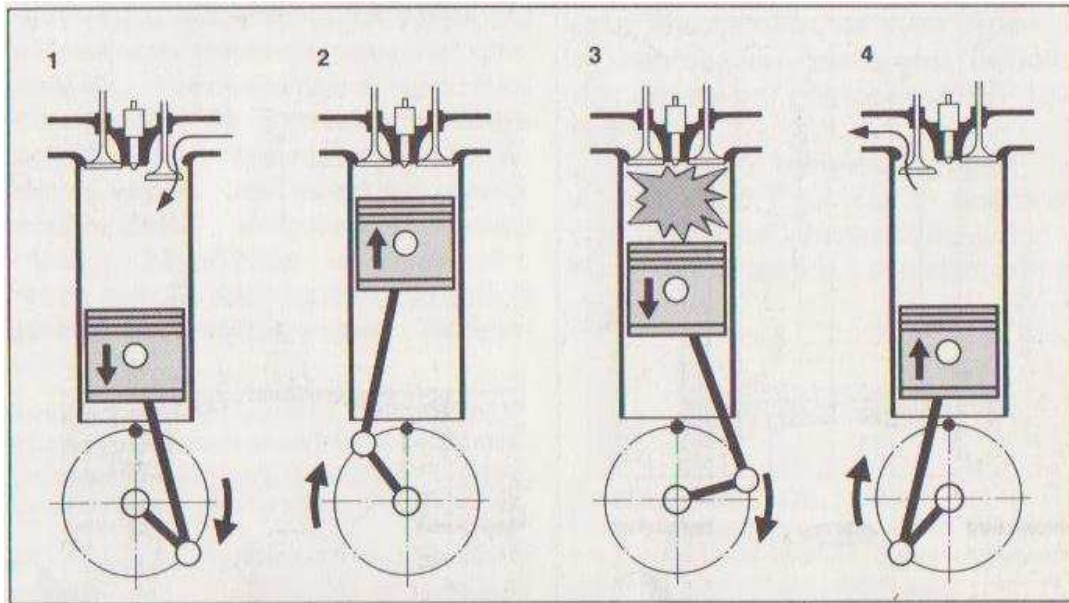
Dieselmoottorien pienen polttonesteen kulutuksen vuoksi niiden käyttö myös henkilöautoissa on lisääntynyt voimakkaasti. Moottori- ja ajoneuvotekniikan kehitys ovat mahdollistaneet entistä pienempien kulutuksien saavuttamisen. Kulutuksen laskiessa moottorin jäähdytysjärjestelmään tuottama hukkalämpö kuitenkin pienenee. Tämän seurauksena moottori ja ohjaamo eivät lämpene riittävästi kylmissä olosuhteissa.

Työssä selvitetään, mitkä tekijät ovat vaikuttaneet siihen, ettei nykyaikainen dieselmoottori tuota jäähdytysjärjestelmään tarpeeksi hukkalämpöä moottorin ja ohjaamon lämmittämiseksi kylmissä olosuhteissa. Lisäksi työssä tutustutaan lisälämmitystä tuottaviin järjestelmiin ja niiden tulevaisuuden näkyelmiin. Työ on rajattu koskemaan vain dieselkäyttöisiä henkilöautoja.

## 2 MOOTTORITEKNIikka

Polttomoottori kehittää tehonsa muuntamalla polttonesteisiin sitoutunutta kemiallista energiaa lämmöksi ja edelleen mekaaniseksi työksi. Kemiallinen energia muutetaan lämmöksi palamisprosessissa. Syntynyt lämpöenergia siirretään työaineeseen, joka paineen nousun seurauksena tekee työtä välittömästi seuraavassa paisuntavaiheessa. Polttomoottoreissa työaineena toimii palamisprosessissa syntyneiden kaasujen seos. (Bosch 2003, 406; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 10.)

Henkilöautoissa käytettävät dieselmoottorit ovat lähes yksinomaan nelitahtisia iskumäntämoottoreita. Nelitahtisessa moottorissa tapahtuu yksi työkierto, eli neljä tahtia, kahden kampiakselikierron aikana (kuva 1). Ensimmäisen tahdin aikana sylinteri täytetään ilmalla. Toisen tahdin aikana ilma puristetaan kasaan, jolloin se samalla kuumenee. Polttoneste syötetään sylinteriin hieman ennen toisen tahdin päättymistä, jolloin seoksen sytyttää puristetun ilman korkean lämpötilan aiheuttama itsesytytys. Kolmannen tahdin aikana polttonesteen palaessa vapautuva energia johdetaan männän ja kiertokangon välityksellä kampiakselille. Neljännen tahdin aikana palamiskaasut poistetaan sylinteristä. (Bosch 2003, 418; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 11–15.)



KUVA 1. Nelitahtisen moottorin toimintaperiaate (Bosch 1990, 4)

## 2.1 Palotila

Polttoneesten tulisi palotilaan ruiskutettaessa höyrystyä ja sekoittua ilmaan mahdollisimman nopeasti ja täydellisesti, jolloin saavutetaan pieni ominaiskulutus ja vähäiset pakokaasupäästöt. Polttoneesten sekoittumista parantavat palotilassa vaikuttava ilman pyörteily, seoksenmuodostukseen käytetty energialataus ja itse palaminen. (Bosch 1990, 4; Bosch 2003, 418.)

Palotilaratkaisut ovat jaettavissa suoraruiskutusperiaatteella ja jaetulla palotilalla toimiviin. Suoraruiskutuksessa polttoneeste ruiskutetaan suoraan männässä sijaitsevaan palotilaan. Suoraruiskutusmenetelmällä saavutetaan korkea hyötysuhde ja hyvä käynnistyvyys kylmissä olosuhteissa, koska jäähdytyshäviöt palotilan seinämiin ovat pienet seinämien pienestä pinta-alasta johtuen. Toisaalta tämä palotilaratkaisu vaatii hyvän seoksenmuodostuksen takaamiseksi korkean polttoneesten ruiskutuspaineen ja suuremman ilmaylimäärän käytön, sillä tällä rakenteella ei saavuteta yhtä hyvää ilman pyörteilyä kuin jaetuilla palotilaratkaisuilla. (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 57–62.)

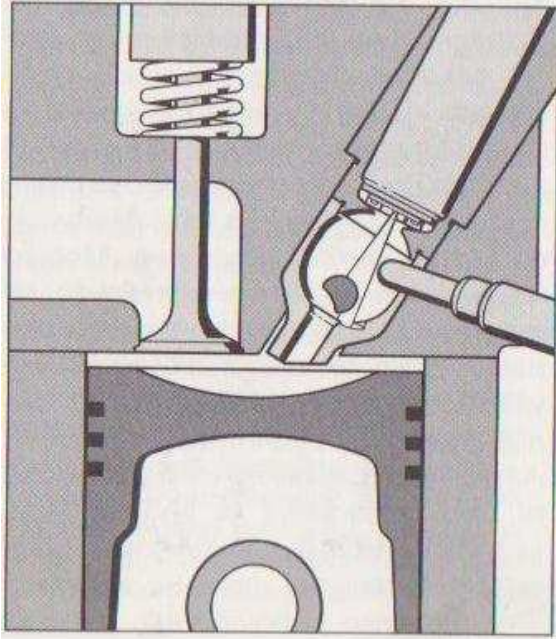
Jaetuilla palotilaratkaisuilla saavutetaan hyvä seoksen muodostuminen matallakin polttonesteen ruiskutusaineilla ilman voimakkaan pyörteilyn avulla. Samalla palotilojen välinen ahdas yhdyskanava tasoittaa hyvin sylinterissä vallitsevan paineen kehitystä, mikä pienentää palamismelua. Toisaalta apukammion ja sylinterin välinen yhdyskanava aiheuttaa virtausvastuksen, mikä kasvattaa tehontarvetta täytösvaiheessa. Apukammio kasvattaa palotilan pinta-alaa, jolloin jäähdytyshäviöiden osuus kasvaa. Suuri palotilan pinta-ala aiheuttaa ongelmia myös kylmäkäynnistyksessä, sillä kylmät rakenteet jäädyttävät tehokkaasti puristusvaiheessa lämmennyttä ilmaa estäen polttonesteen itsesyttymisen. (Bosch 1990, 5; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 53–64.)

Aiemmin henkilöautojen nopeakäyntisissä dieselmootoreissa käytettiin jaetua palotilaratkaisua polttonesteen ruiskutuslaitteiston asettamien rajoitteiden vuoksi. 1990-luvulla paineet pienemmän polttoaineen kulutuksen saavuttamiseksi ja pakokaasusaasteiden vähentämiseksi sekä kehitys polttonesteen ruiskutuslaitteistoissa johtivat suoraruiskutusmenetelmän käyttöönottoon myös henkilöautoihin tarkoitetuissa moottoreissa. (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 53–64.)

### **2.1.1 Esikammion menetelmä**

Esikammion menetelmässä palotila on jaettu kahteen osaan, joita yhdistää ahdas yhdyskanava. Esikammion tilavuus on yleensä 30–40 % koko puristustilavuudesta ja yhdyskanavan pinta-ala 0,25–0,40 % männän pinta-alasta. Polttoneste ruiskutetaan kuumaan esikammioon, missä palaminen alkaa. Kammion keskelle sijoitettu törmäyslevy parantaa polttonesteen sekoittumista ilmaan. Alkava palaminen työntää seoksen yhdyskanavan läpi männässä sijaitsevaan pääpalotilaan, missä se sekoittuu tehokkaasti ilman kanssa. Polttonesteen sisältämästä energiasta noin 20 % vapautuu esikammiossa ja loput pääpalotilassa. Tyypillinen esikammiorakenne on esitetty kuvassa 2. (Bosch 1990, 5; Bosch 2003, 421; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 64–66.)

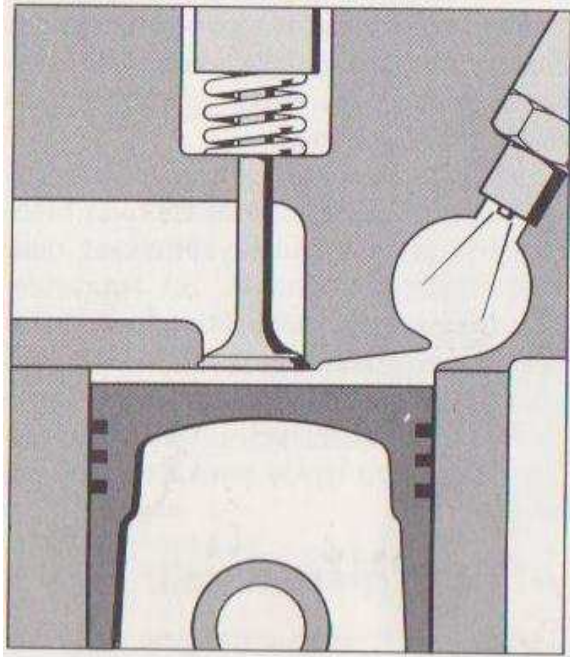




*KUVA 2. Esikammiorakenne (Bosch 1990, 5)*

### **2.1.2 Pyörrekammimenetelmä**

Pyörrekammimenetelmässä palaminen tapahtuu varsinkin pienillä kuormitustasoilla lähestulkoon kokonaan apukammiossa. Apukammiona toimii pyörreä tai kierukkamainen pyörrekammio, joka on yhdistetty tangentiaalisella yhdyskanavalla sylinteritilaan. Pyörrekammion tilavuus on yleensä noin 50 % koko puristustilavuudesta. Puristusvaiheen aikana pyörrekammioon virtaava ilma joutuu kammiossa pyörivään liikkeeseen. Polttoneste ruiskutetaan tähän ilmavirtaukseen, jonka mukana osa siitä kulkeutuu pyörrekammion kuumille seinämille. Palamisen alkaessa seos puristuu yhdyskanavan kautta sylinteritilaan, missä se sekoittuu jäljellä olevaan palamisilmaan. Tyypillinen pyörrekammiorakenne on esitetty kuvassa 3. (Bosch 1990, 5; Bosch 2003, 420–421.)



*KUVA 3. Pyörrekammiorakenne (Bosch 1990, 5)*

### **2.1.3 Suoraruiskutusmenetelmä**

Suoraruiskutusmenetelmässä polttoneste ruiskutetaan suoraan männässä sijaitsevaan palotilaan joko laaja- tai lyhytruiskutusmenetelmällä. Laajaruiskutusmenetelmässä seoksenmuodostus perustuu pääasiassa polttonestesuihkun energiaan. Palotilassa tapahtuva ilman pyörteily on vähäistä tai sitä ei ole ollenkaan, jolloin kaasunvaihtoäviöt ovat pienemmät ja sylinterin täytösaste parempi. Menetelmä mahdollistaa muita suoraruiskutusmenetelmiä alhaisemman polttonesteen kulutuksen, mutta vaatii toimiakseen suuren ilmaylimäärän käytön, suuret männän halkaisijat ja alhaisen käyntinopeuden. Tämän vuoksi tätä menetelmää käytetään pääasiassa vain keskisuurissa ja suurissa moottoreissa. Tyypillinen laajaruiskutusmenetelmän rakenne on esitetty kuvassa 4. (Bosch 1990, 6; Bosch 2003, 419; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 59–60.)



KUVA 4. Suoraruiskutus laajaruiskutusmenetelmällä (Bosch 2003, 419)

Nopeakäyntisissä ja pienehköissä henkilö- ja pakettiautojen moottoreissa ei pelkkä poltonestesuihkun energia riitä hyvän seoksenmuodostuksen nopeaan kehittämiseen. Palotilaan luodaan ilman pyörreliike imukanavan muotoilulla, jota yläkuolokohdassa syntyvän kammiomaisen palotilan pienempi halkaisija vahvistaa. Tyypillinen lyhytruiskutusmenetelmän rakenne on esitetty kuvassa 5. (Bosch 2003, 419–420; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 60.)



KUVA 5. Suoraruiskutus lyhytruiskutusmenetelmällä (Bosch 2003, 419)

## 2.2 Polttonesteen annostelu

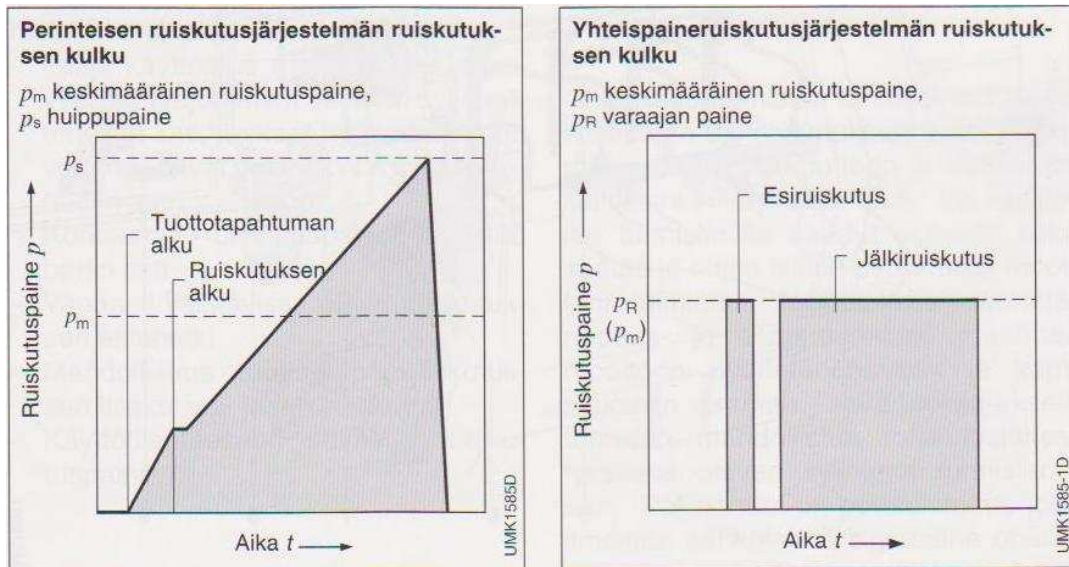
Henkilöautojen dieselmoottorien alkaessa yleistyä käytettiin niiden ruiskutusjärjestelmässä raskaisiin ajoneuvoihin kehitettyjä rivipumppuja. Raskas, paljon tilaa vievä ja kallis rivipumppu korvautui ajan saatossa varsinkin pienemmissä moottoreissa jakajapumpulla. 2000-luvun taitteessa pumppusuutin- ja yhteispaineruiskutusjärjestelmät alkoivat yleistyä ylivertaisen ominaisuuksiensa ansiosta. Dieselruiskutusjärjestelmien ominaisuudet ja tunnuspiirteet on esitetty liitteessä 1. (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 251–260; Neste Oil Oyj. 2007, 9–11.)

Dieselmoottori toimii ilman imuilman kuristusta ja kuormitussäätö tapahtuu polttonesteen ruiskutusmäärää säätämällä. Polttonestettä on annosteltava hyvin tarkasti oikea määrä moottorin kuormitusta ja kierrosnopeutta vastaavasti. Lisäksi ruiskutuksen tulee alkaa ja päättyä tarkasti oikealla hetkellä. (Bosch 1990, 4)

Dieselmoottorien ruiskutusjärjestelmän täytyy paineistaa polttoaine suureen paineeseen, jotta se voidaan hyvin lyhyessä ajassa ja hyvin hienona sumuna ruiskuttaa palotilaan. Polttoneste virtaa korkeapaineputkissa äänen nopeudella (noin 1 400 m/s), mikä aiheuttaa rivi- ja jakajapumppujärjestelmissä pumpun ja suuttimen välillä moottorin pyörintänopeuden mukaan muuttuvan ruiskutusviiveen. Yksikköpumppuratkaisuissa tämä viive on pyritty minimoimaan tuomalla pumppu ja suutin hyvin lähelle toisiaan. Korkeissa, jopa tuhansien baarien, paineessa polttoneste käyttäytyy elastisesti, mitä hyödynnetään yhteispaineruiskutuksessa varastoimalla korkeapaineista polttonestettä varaajaputkeen. Varaajaputken tilavuus on mitoitettu siten, että polttonesteen paine pysyy lähes vakiona ruiskutusmäärästä riippumatta. (Bosch 1990, 12; Bosch 2003, 570–571.)

Perinteisissä ruiskutusjärjestelmissä, kuten jakaja- ja rivipumppuilla varustetuissa, ruiskutusaine nousee ruiskutusmäärän ja moottorin pyörintänopeuden kasvaessa kuvan 6 mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että pienillä ruiskutusmäärillä, eli vähäisellä moottorin kuormituksella,

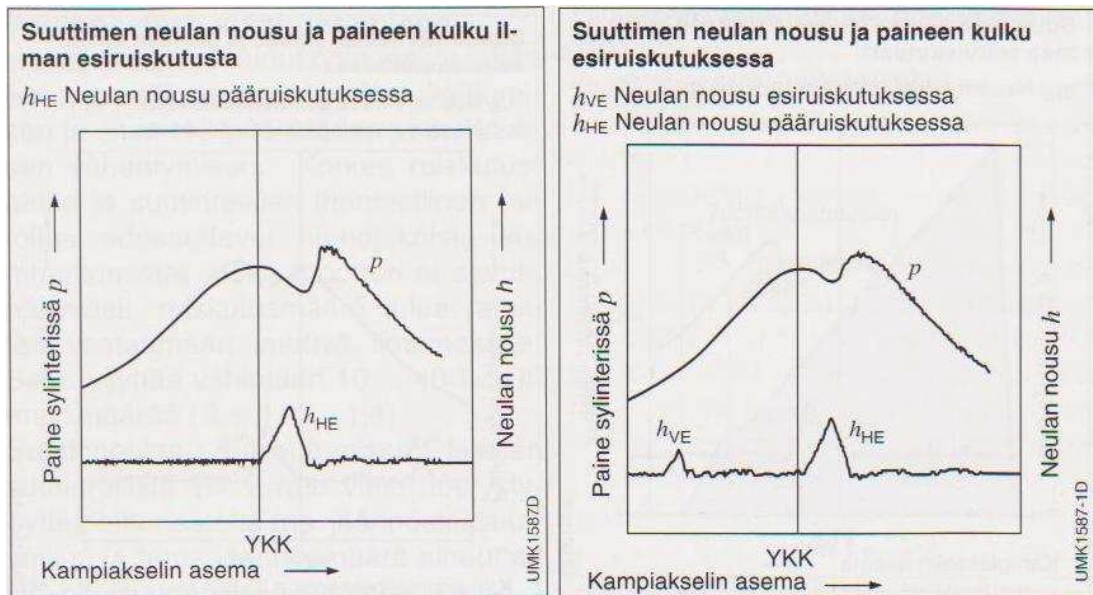
keskimääräinen ruiskutusaine jää alhaiseksi. Tällöin muodostunut seos ei ole yhtä hyvälaatuinen kuin suuremmilla ruiskutusmäärillä, sillä polttoaineen pisarakoko jää suureksi. Apukammion menetelmässä tällä ei ole niin suurta merkitystä, koska seoksenmuodostus perustuu ilman pyörteilyyn. Suoraruisutusmenetelmän kanssa näillä järjestelmillä ei kuitenkaan saavuteta hyvää seoksenmuodostusta. (Bosch 1999a, 8.)



KUVA 6. Perinteisen- ja yhteispaineruiskutusjärjestelmän ruiskutusaineiden vertailu (Bosch 1999a, 8)

Perinteisissä ruiskutusjärjestelmissä ruiskutusaineen hidas nousu pienentää palamismelua, joka syntyy sylinteripaineen noustessa äkillisesti. Yksikköpumpuilla ja yhteispaineruiskutusjärjestelmällä voidaan vastaava toiminto toteuttaa esiruisutuksen avulla. Esiruisutuksessa palotilaan ruiskutetaan pieni määrä poltonestettä puristustahdin aikana, mikä saa aikaan puristusaineen ja lämpötilan kasvamisen ennen varsinaista pääruiskutusta. Tämä vähentää pääruiskutusannoksen syttymisviivettä, johtaa hitaampaan palamisaineen nousuun ja alentaa palamisaineen huippuarvoa, kuten kuvasta 7 voidaan huomata. Nämä ilmiöt alentavat palamisääntä, polttoaineen kulutusta ja monissa tapauksissa myös päästöjä. Jälkiruisutuksella, joka tapahtuu pääruiskutuksen jälkeen paisunta- tai poistotahdin aikana, voidaan pakokaasujen lämpötilaa nostaa joidenkin pakoputkeen asennettujen pakokaasupäästöjen puhdistuslaitteistojen

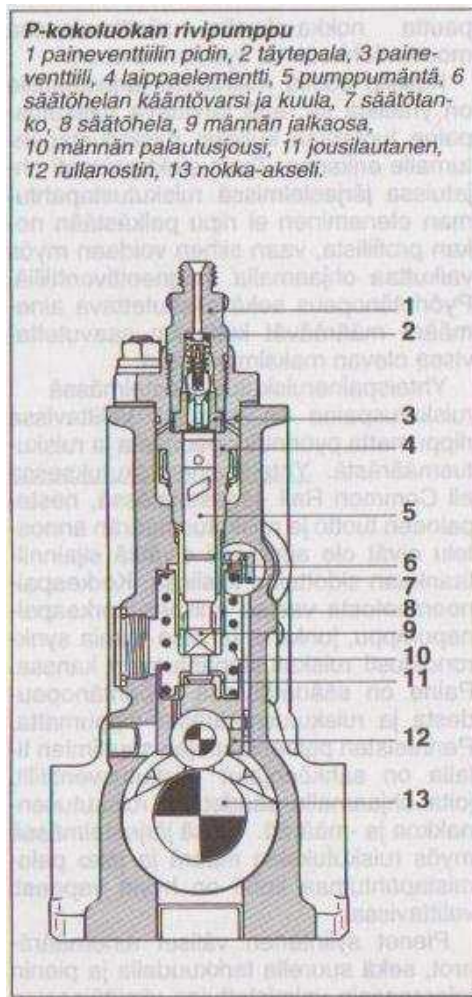
vaatimalle tasolle. Tarvittaessa kaikki ruiskutukset ovat jaettavissa useampaan osaan. (Bosch 1999a, 9–10.)



KUVA 7. Sylinteripaineen nousu ilman esiruiskutusta ja sen kanssa (Bosch 1999a, 9–10)

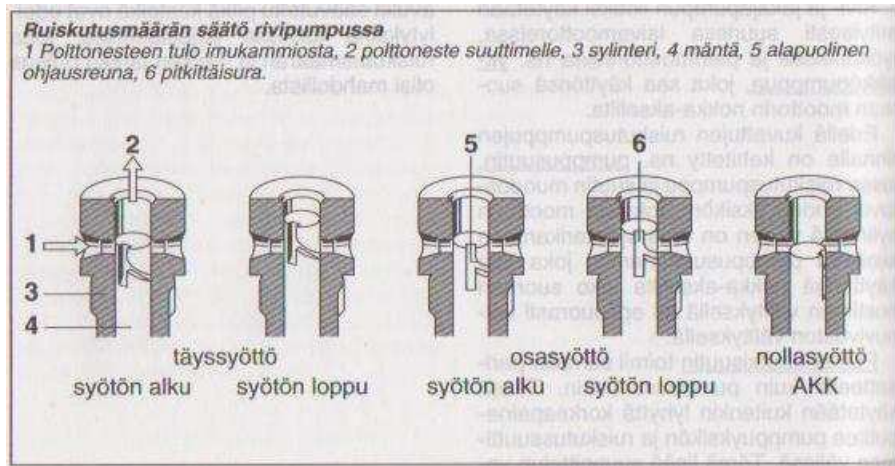
## 2.2.1 Rivipumppu

Rivipumppujärjestelmän ruiskutuspumppussa on jokaista moottorin sylinteriä kohden yksi pumppusylinteristä ja -männästä muodostuva pumppuelementti. Pumppuelementit on sijoitettu pumppuyksikössä riviin. Pumpulta korkeapaineinen polttoneste johdetaan korkeapaineputkia pitkin ruiskutussuuttimille. Ruiskutuspumppun halkileikkaus on esitetty kuvassa 8. (Bosch 1999a, 4.)



*KUVA 8. Rivipumpun halkileikkauskuva (Bosch 2003, 573)*

Pumppumäntää käyttää pumpun nokka-akseli, joka saa käyttövoimansa moottorilta. Pumppumäntä tekee kuormituksesta riippumatta yhtä pitkän liikkeen. Ruiskutus alkaa, kun männän yläreuna sulkee sylinterissä olevan polttonesteen tuloporauksen. Männässä on viisto ohjausura, joka on yhteydessä männän yläpuoliseen tilaan pitkittäisen uran välityksellä. Ruiskutus päättyy, kun ohjausuran reuna avaa tuloporauksen. Polttonesteen ruiskutusmäärää voidaan säätää kiertämällä säätötangon avulla mäntää, jolloin sen tehollinen iskunpituus muuttuu. Ruiskutusmäärän säädön periaate on esitetty kuvassa 9. Henkilöauton moottoreissa käytettävällä rivipumpputyypillä voidaan saavuttaa 550 bar:n paine ruiskutussuuttimella. (Bosch 1999a, 3–4; Bosch 2003, 572.)



KUVA 9. Rivipumpun ruiskutusmäärän säätöperiaate (Bosch 2003, 573)

Pumpumännän ohjausurat voidaan sijoittaa eri tavoilla. Alapuolisella ohjausuralla ruiskutuksen alkuhetki pysyy muuttumattomana ja ruiskutuksen päättymishetki muuttuu riippuen ruiskutusmäärästä, eli moottorin kuormituksesta. Yläpuolisella ohjausuralla ruiskutuksen päättymishetki pysyy muuttumattomana ja ruiskutuksen alkuhetki muuttuu riippuen moottorin kuormituksesta. On myös olemassa pumppumäntiä, joissa on sekä ylä- että alapuolinen ohjausura. (Bosch 2003, 573.)

## 2.2.2 Jakajapumppu

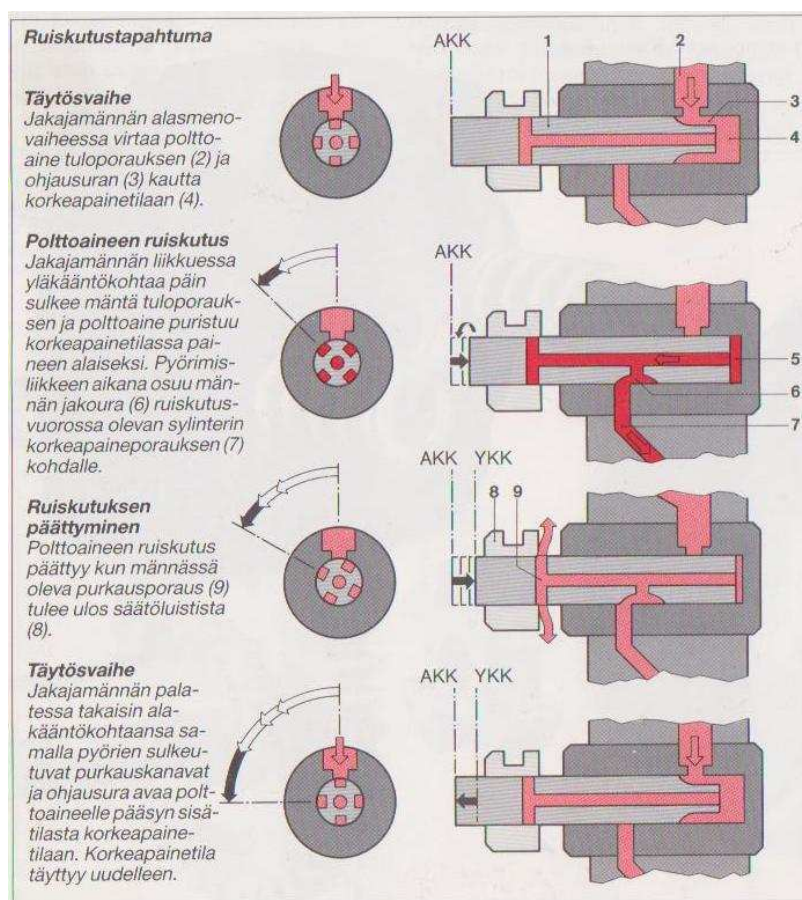
Aksiaalimäntäjakajapumpussa (VE) on vain yksi polttonesteen paineistava pumppumäntä. Mäntä syöttää polttonesteen pitkittäisliikkeellä ja jakaa polttoaineen moottorin sylintereille pyörimisliikkeellä. Pumpun rakenne on huomattavasti keveämpi ja kompaktimpi kuin rivipumpulla, mikä osaltaan johti tämäntyyppisten pumppujen suureen suosioon. (Bosch 1990, 22; Bosch 2003, 579.)

Käyttöakseli saa käyttövoimansa moottorilta. Käyttöakselilta voima välitetään ristikkappaleen avulla nokkalevylle. Nokkalevy pyörittää pumppumäntää, mikä saa aikaan polttonesteen jakelun moottorin sylintereille. Nokkalevyn pyöriessä paikallaan pysyvän rullarenkaan päällä, muodostuu pumppumännän pitkittäissuuntainen liike. Nokkien muotoilulla voidaan vaikuttaa ruiskutusaikaan ja -paineeseen. Ruiskutuksen ajoitusta voidaan



muuttaa kiertämällä nokkarengasta suhteessa pumpun runkoon. Nämä osat muodostavat jakajapumpun korkeapaineosan, jonka rakenne on esitetty liitteessä 2. (Bosch 1987, 8.)

Pumppusylinterin täytövaiheessa polttoneste virtaa männän päälle sylinterissä sijaitsevan tuloporauksen ja männässä sijaitsevan ohjausuran kautta. Männän kiertoliike sulkee tuloporauksen ja avaa ruiskutusvuorossa olevan sylinterin korkeapaineporauksen. Männän pitkittäisliikkeen alkaessa ruiskutus alkaa. Ruiskutus päättyy, kun purkausporaus tulee ulos säätöluistista. Ruiskutusmäärää voidaan säätää muuttamalla säätöluistin asemaa, jolloin pumppumännän tehollinen iskunpituus muuttuu. Kuvassa 10 on esitetty ruiskutustapahtuman vaiheet ja säätöluistin toiminta. Tällä pumpputyypillä voidaan saavuttaa 1 200 bar:n paine ruiskutussuuttimella. (Bosch 1987, 10; Bosch 1999a, 3.)



KUVA 10. Jakajapumpun ruiskutustapahtuma (Bosch 1987, 10)

Mekaanisesti toimivassa jakajapumpussa ruiskutusmäärän ja -ennakon säätö tapahtuu mekaanisesti eri sovituslaitteiden avustamana. Jakajapumppuihin on kuitenkin kehitetty elektronisia säätöjärjestelmiä, joilla ruiskutusmäärää ja -ennakkoa voidaan säätää moottorinohjaimen sähköisellä ohjauksella. Tällainen elektronisesti ohjattu aksiaalimäntäjakajapumppu (VE-EDC) mahdollistaa tarkemman ruiskutuksen ohjauksen eri käyttötilanteissa ja muun muassa pakokaasujen takaisinkierrätysjärjestelmän käyttämisen. (Bosch 2003, 581.)

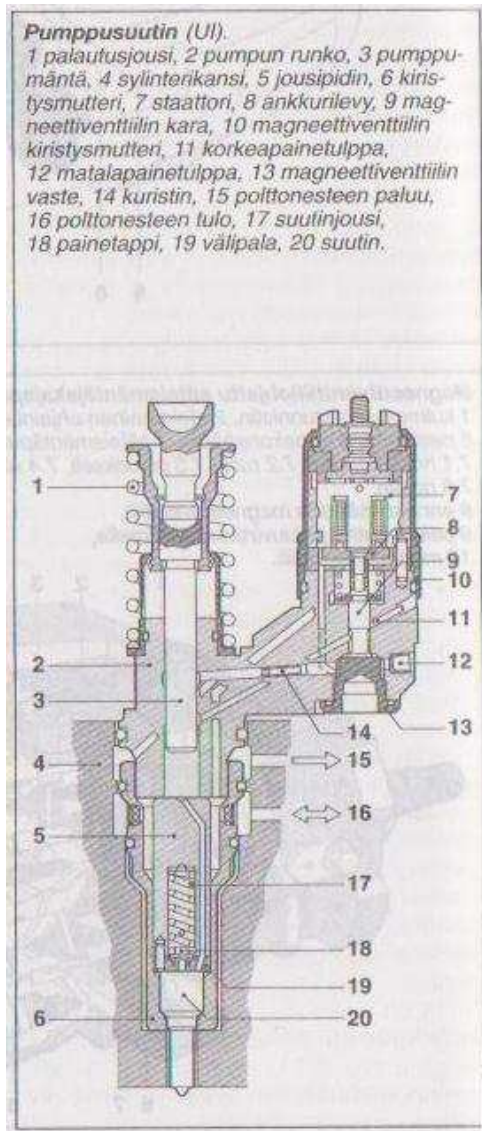
Magneettiventtiiliohjatun aksiaalimäntäjakajapumpun (VE-MV) korkeapaineosa toimii muuten samalla periaatteella kuin tavallisessakin pumpussa, mutta pumppumännän päälle vievään tuloporaukseen on asennettu moottorinohjaimen ohjaama magneettiventtiili. Tämän magneettiventtiilin avulla voidaan ruiskutusmäärää ja -ennakkoa säätää pumppumännän iskunpituuden aikana. Magneettiventtiilin ollessa auki ei korkeapainetilaan synny painetta, koska polttoneste pääsee virtaamaan tuloporausta pitkin pois korkeapainetilasta. Kun magneettiventtiili suljetaan, tämä virtaus estyy ja paine korkeapainetilassa alkaa nousta, mikä käynnistää ruiskutuksen. Tällä pumpputyypillä voidaan saavuttaa 1 500 bar:n paine ruiskutussuuttimella. Magneettiventtiilin käytöllä voidaan toteuttaa esiruiskutus ja nostaa ruiskutuspainetta alhaisilla polttonesteannoksilla siirtämällä ruiskutushetki alkamaan suuremmalla nokkalevyyn nokan nousukulmalla. (Bosch 1999b, 60–61; Bosch 2003, 582.)

Magneettiventtiiliohjattu säteismäntäjakajapumppu (VR-MV) kehitettiin täyttämään suoraruiskutusmoottoreiden korkean ruiskutuspaineen vaatimukset. Rakenteen ansiosta korkeasta paineesta aiheutuvat rasitukset ovat pienemmät kuin aksiaalimäntäjakajapumpussa. Pumpulla voidaan saavuttaa 1 400 bar:n paine ruiskutussuuttimella. Tämä ruiskutuspumpputyyppe ei kuitenkaan saavuttanut kovin suurta suosiota, sillä samaan aikaan yleistyneiden yksikköpumppu- ja yhteispaineruiskutusjärjestelmien ominaisuudet olivat paremmat. (Bosch 1999a, 3; Bosch 1999b, 60–61.)

### 2.2.3 Yksikköpumput

Yksikköpumppujärjestelmissä on jokaista moottorin sylinteriä kohden oma ruiskutuspumppu ja -suuttimen muodostava kokonaisuus. Pumppusuutinjärjestelmässä (UI) ruiskutuspumppu ja -suutin sijaitsevat samassa yksikössä, kun taas pumppu-putkisuutinjärjestelmässä (UP) pumppu ja suutin sijaitsevat erillään ja niiden välillä on lyhyt korkeapaineputki. Ruiskutuspumppu saa käyttövoimansa moottorin nokka-akselilta suoraan tai keinuviivun välityksellä. (Bosch 1999a, 5.)

Pumppusuuttimen ruiskutusmäärää ja -ennakkoa voidaan säätää nopeatoimisen magneettiventtiilin avulla. Pumppumännän paluuliikkeen aikana tapahtuvassa täytösvaiheessa magneettiventtiili on auki ja polttoneste pääsee virtaamaan matalapainepiiristä pumpun korkeapainetilaa. Kun nokka-akseli alkaa käyttää pumppumäntää ja magneettiventtiili pidetään auki, polttoneste pääsee virtaamaan korkeapainetilasta takaisin matalapainepiiriin, jolloin ruiskutuksen alku viivästyy. Ruiskutus käynnistyy vasta kun magneettiventtiili suljetaan ja tämä paluuvirtaus estyy, jolloin paine alkaa kasvaa ja ruiskutus alkaa. Ruiskutus päättyy, kun magneettiventtiili avataan jälleen. Pumppusuuttimen halkileikkaus on esitetty kuvassa 11. (Bosch 2003, 584.)



KUVA 11. Pumppusuuttimen halkileikkauskuva (Bosch 2003, 584)

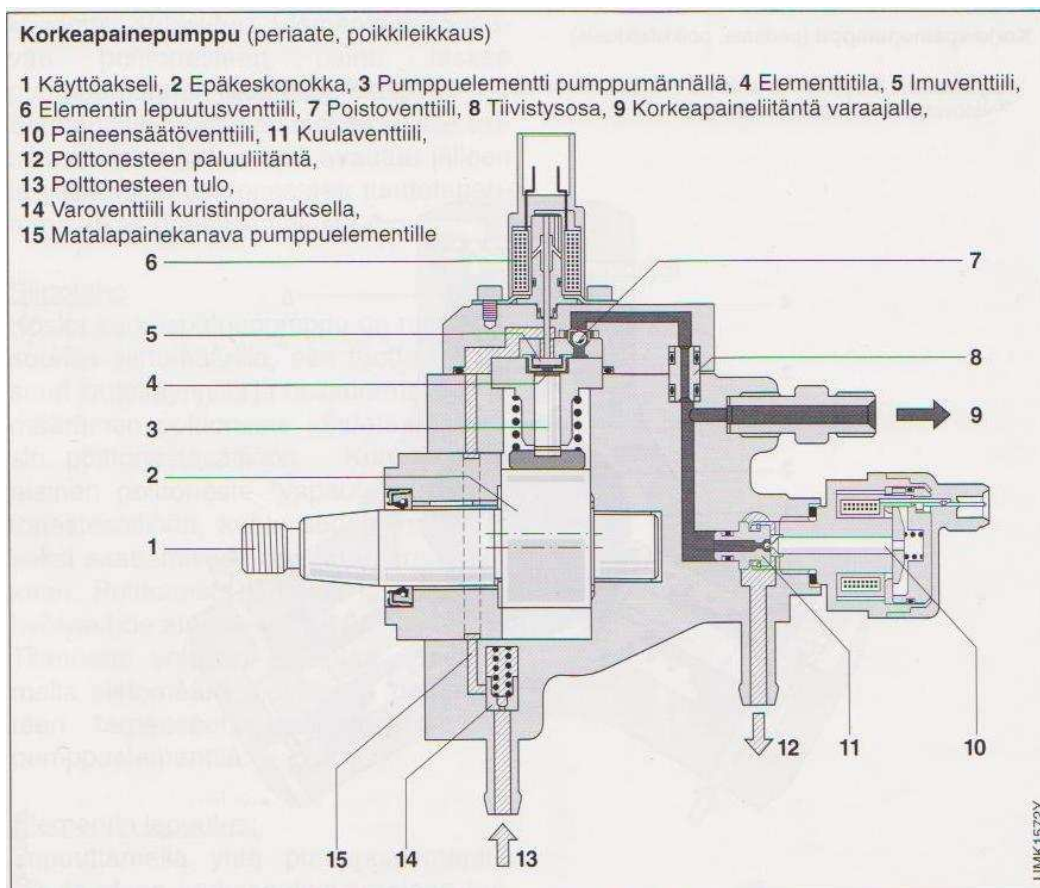
Lyhyt pumpun ja suuttimen välimatka sekä pieni korkeapaineisen polttonesteen tilavuus pitävät ruiskutusviiveen alhaisena. Puuttuvien korkeapaineputkien ansiosta voidaan myös käyttää huomattavasti rivi- ja jakajapumppuja korkeampia, jopa 2 000 bar:n, ruiskutuspaineita. (Bosch 1999a, 5; Bosch 2003, 584.)

## 2.2.4 Yhteispaineruiskutus

Yhteispaineruiskutuksessa (CR) paineen tuotto ja ruiskutustapahtuma on erotettu toisistaan. Pyörintänopeudesta ja ruiskutusmäärästä riippumaton

ruiskutusaine tuotetaan erillisessä korkeapainepumpussa ja varastoidaan varaajaputkeen. Järjestelmän ansiosta ruiskutusennakko, -määrä ja -paine ovat täysin vapaasti säädettävissä. (Bosch 1999a, 5; Bosch 2003, 587.)

Henkilöautokäytössä ruiskutuspumpuna toimii kuvan 12 mukainen kolmesta pumppuyksiköstä koostuva säteismäntäpumppu. Käyttöakseli saa käyttövoimansa moottorilta ja käyttää epäkeskonokillaan pumppumäntiä. Pumppumännän liikkua alaspäin virtaa poltoneste matalapainepiiristä imuventtiilin kautta elementtitilaan. Kun pumppumäntä aloittaa työiskun, imuventtiili sulkeutuu. Kasvava paine elementtitilassa saa poistoverntiilin avautumaan ja korkeapainainen poltoneste virtaa varaajaputkeen. Pumppumännän saavuttua yläkuoloa poistoverntiili sulkeutuu ja kierto alkaa alusta. (Bosch 1999a, 19.)



**KUVA 12.** Yhteispaineruiskutusjärjestelmän korkeapainepumppu (Bosch 1999a, 17)

Varaajaputken painetta säädetään ohjaamalla osa korkeapainepumpun pumppaamasta polttonesteestä paineensäätöventtiilin avulla takaisin polttonestesäiliöön. Moottorinohjaimen käyttämän paineensäätöventtiilin avulla voidaan myös ruiskutusaine säätää kaikkiin moottorin käyttötilanteisiin sopivaksi. Tyhjäkäynnillä ja pienellä kuormituksella ruiskutusaine lasketaan alle 500 bar:n, jolloin korkeapainepumpun ottoteho laskee. Tällöin myös ruiskutusmäärän säätötarkkuus kasvaa, sillä pienemmällä paineella ruiskutusannoksen ruiskuttamiseen kuluva aika kasvaa. Täydellä kuormituksella ruiskutusaine voi nykyisissä järjestelmissä olla jopa 2 000 bar ja tulevaisuudessa vieläkin korkeampi. (Bosch 1999a, 19; Robert Bosch LLC. 2011.)

Korkeapainepumppu on mitoitettu suurille siirtomäärille, jotta se pystyy siirtämään tarpeeksi polttonestettä kaikissa tilanteissa. Tyhjäkäynnillä ja osakuormalla polttonesteen kulutus on vähäistä, jolloin iso osa pumpun pumppaamasta polttonesteestä ohjattaisiin takaisin säiliöön. Tällaisissa tilanteissa pumpun ottotehoa voidaan vähentää yhtä pumppuelementtiä lepuuttamalla. Tämä saadaan aikaan pitämällä imuventtiiliä auki magneettiventtiilin avulla, jolloin elementtitiilaan ei muodostu painetta (kuva 12). (Bosch 1999a, 19.)

Yhteispaineruiskutusjärjestelmässä ruiskutuksen kulkua ohjataan ruiskutusventtiilillä (liite 3), jota moottorinohjain käyttää sähköisellä ohjauksella. Ruiskutusventtiilille johdetaan koko ajan täysi varaajan paine. Kun magneettiventtiili on virraton, pysyy poistokuristin suljettuna. Tällöin ohjaustilaan muodostuu varaajan paine, minkä synnyttämä voima yhdessä suutinjousen jousivoiman kanssa pitää ruiskutussuuttimen suljettuna. Kun poistokuristin avataan käyttämällä magneettiventtiiliä, polttoneste pääsee virtaamaan ohjaustilasta polttonesteen paluuputkeen. Paine ohjaustilassa laskee, koska tulokuristin estää paineen tasaantumisen. Tämän vuoksi ohjausmäntään kohdistuva voima pienenee ja lopulta suutinkammiossa vallitsevan varaajapaineen aikaansaama voima avaa suutinneulan. Suutin sulkeutuu kun magneettiventtiilin ohjaus päättyy, sillä ohjaustilan paine

kasvaa ja ohjausmäntään kohdistuva voima työntää suuttimen neulan kiinni. (Bosch 1999a, 27.)

Uusimmissa piezo-tekniikalla toteutetuilla ruiskutusventtiileillä voidaan ruiskutusta ohjata jopa viisi kertaa nopeammin kuin perinteisillä magneettiventtiiliohjatulla ruiskutusventtiileillä. Tämä mahdollistaa yhä tarkemman polttonestemäärän annostelun ja ruiskutuksen jakamisen useampaan vaiheeseen. (Robert Bosch LLC. 2011.)

## **2.3 Ahtaminen**

Polttomoottorin tuottama teho riippuu poltetun polttoaineen määrästä. Polttonesteen ruiskutusmäärää ei kuitenkaan voida rajattomasti kasvattaa, sillä palamisreaktioon tarvitaan myös happea, joka otetaan ulkoilmasta. Palamisilmaa tarvitaan 14,5-kertaisesti käytettyyn dieselpolttonesteen massaansa nähden täydellisen palamisen saavuttamiseksi. Dieselmoottori toimii kuitenkin savutuksen vähentämiseksi aina ilmaylimäärällä, jolloin palamisilman tarve on tätä suurempi. Jaetuilla palotilaratkaisuilla voidaan saavuttaa savuton palaminen jopa vain 10 % ilmaylimäärällä, mutta suoraruiskutusmenetelmät vaativat moottorista riippuen 40–100 % ilmaylimäärän käytön. (Bosch 2003, 280; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 59–68.)

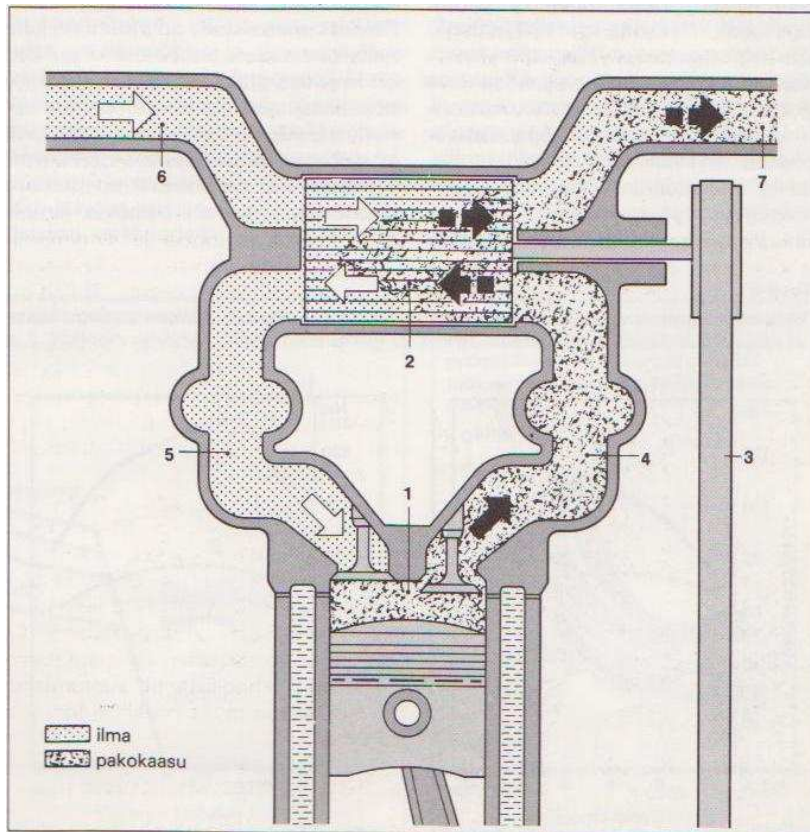
Kasvattamalla moottoriin johdettavan palamisilman tiheyttä ahtamalla voidaan polttonesteen ruiskutusmäärää kasvattaa, jolloin moottorin teho kasvaa. Näin vapaasti hengittävää moottoria vastaava suorituskyky voidaan saavuttaa pienemmällä ja keveämmällä moottorilla. Toisaalta moottorin termiset ja mekaaniset rasitukset kasvavat, mikä täytyy ottaa huomioon jo moottoria suunniteltaessa. Ajoneuvoissa ilman paineistamiseen käytetään mekaanisia ahtimia, paineaaltoahdinta tai pakokaasuahdinta. Näistä pakokaasuahdin on hyvän hyötysuhteensa ja helpon säädettävyyden ansiosta yleisin henkilöautoissa käytettävä ahdintyyppi. (Bosch 1990, 6–7; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 88–89.)

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan ilmaa puristettaessa nousee paineen lisäksi myös sen lämpötila. Lämpötilan nousun suuruus riippuu ajoneuvossa käytettävästä ahtopaineesta ja ahtimen hyötysuhteesta. Ilman tiheyttä voidaan edelleen kasvattaa jäähdyttämällä ilmaa ennen moottoriin johtamista lämmönvaihtimella. Ilman jäähdyttäminen alentaa lisäksi palamisen lämpötilaa, minkä seurauksena moottorin terminen rasitus, pakokaasupäästöjen pitoisuus ja polttonesteen kulutus pienenevät. Henkilöautoissa lämmönvaihdin on yleensä asennettu ajoneuvon etuosaan. Moottoriin johdettava ilma kulkee lämmönvaihtimen läpi, jota ajoviima tai erillinen puhallin jäähdyttää. (Bosch 2003, 473; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 103–104.)

Mekaaniset ahtimet saavat käyttövoimansa moottorilta. Tämän vuoksi ne alentavat moottorista saatavaa hyötytehoa. Tämä korostuu varsinkin pienillä moottorin kuormituksilla, kun kiinteästi kytketyn ahtimen pumppaama ilmamäärä nousee tarpeettoman suureksi. Hyvään hyötysuhteeseen pyrittäessä on ahdin varustettava pyörintänopeutta säätävällä tai pienillä kuormituksilla sen irti kytkevällä laitteistolla. Tällainen laitteisto lisää laitteiston monimutkaisuutta ja kustannuksia. Toisaalta mekaanisilla ahtimilla saavutetaan nopea reagointi muuttuvissa ajotilanteissa. (Bosch 2003, 480; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 91–93.)

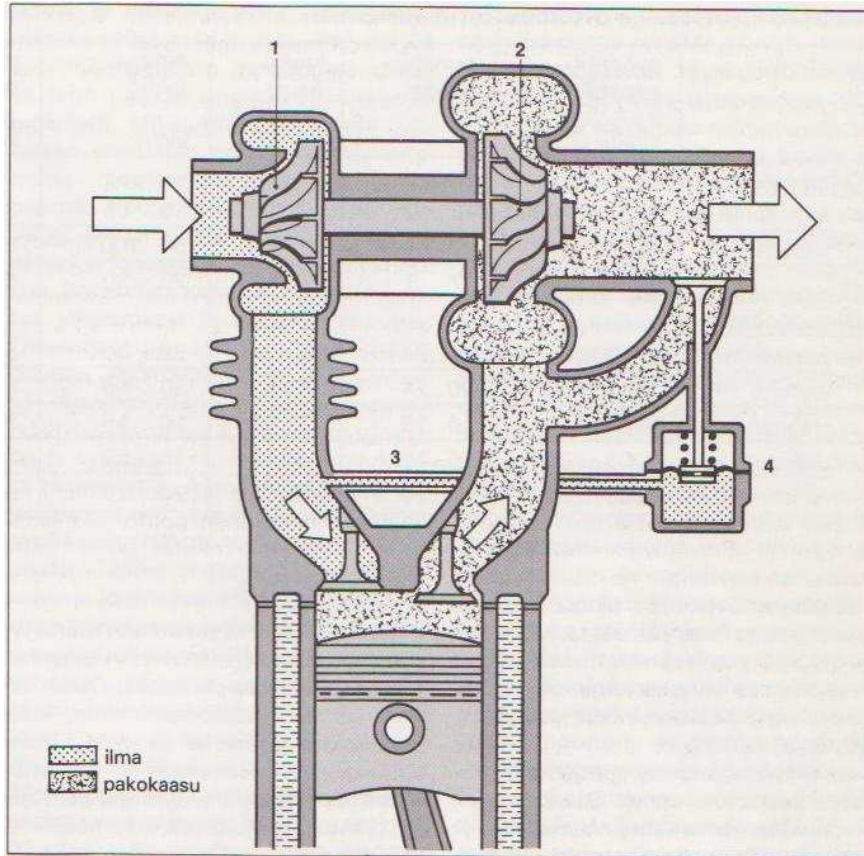
Paineaaltoahtimessa käytetään hyväksi pakokaasujen paineaaltoja (kuva 13). Sopivasti ohjatun kammiopyörän avulla saadaan pakokaasuvirtauksen paineaaltojen avulla palamisilma paineistettua. Energian siirto tapahtuu suoraan ilman välillä olevia mekaanisia osia, minkä vuoksi pakokaasuahtimille tyypillistä viivettä ei esiinny. Kammiopyörä saa käyttövoimansa moottorista, mutta sen käyttöteho on pieni, koska sitä ei käytetä ilman puristamiseen. Toisaalta paineaaltoahtimen koko on suuri ja ahtimen toiminta-alue on vaikea mitoittaa kaikille moottorin kuormitus- ja pyörintänopeusalueille sopivaksi. (Bosch 1990, 7; Bosch 2003, 486–487.)





KUVA 13. Painealtoahtimen toimintaperiaate (Bosch 1990, 7)

Pakokaasuahdin koostuu turbiinista ja ahtimesta, jotka on yhdistetty toisiinsa kiinteästi akselilla (kuva 14). Turbiini muuttaa pakokaasujen massavirran liike-energiaa ja paineenalaisen pakokaasuvirran paisumisesta saatua energiaa ahtimen käyttöenergiaksi. Pakokaasuahdimella saavutetaan hyvä hyötysuhde, koska se saa käyttövoimansa muuten pakokaasujen mukana menetettävästä energiasta. Ahtimen reagointi nopeisiin kuormituksen muutoksiin voi olla hidasta, jos ahtimen inertia on suuri. Pakokaasuahdin voidaan sijoittaa moottoritilaan vapaasti, koska se on yhdistetty moottoriin vain pakokaasu-, ahto-, ja voitelulinjojen välityksellä. (Bosch 1990, 6; Bosch 2003, 482–483.)

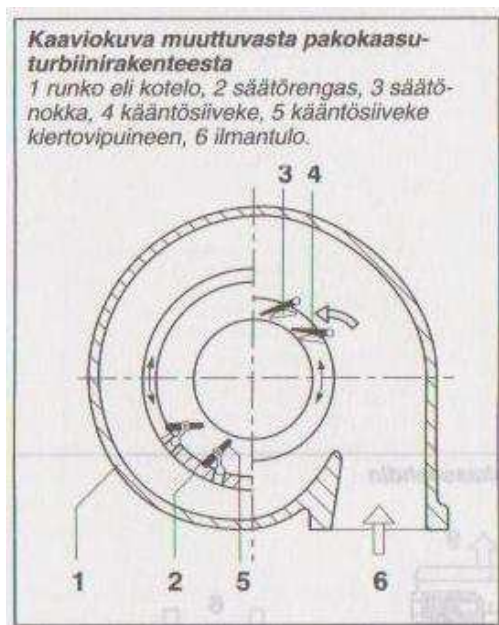


KUVA 14. Pakokaasuahtimen toimintaperiaate (Bosch 1990, 7)

Henkilöauton moottorilta odotetaan korkeaa vääntömomenttia laajalla pyörintänopeusalueella. Jotta ahtopainetta saadaan jo alhaisella moottorin pyörintänopeudella, on pakokaasuahdin mitoitettava pieneksi suurille pyörintänopeuksille ja kuormituksille. Tällöin on ahdin varustettava säätölaitteistolla, jotta ahtopaine pysyy likimain vakiona ja ahtimen pyörintänopeus ei nouse liian suureksi. Perinteisessä pakokaasuahtimessa säätö on toteutettu ahtopaineen mukaan säätävällä hukkaportilla, joka säätelee turbiinin ohi päästettävän pakokaasuvirran määrää (kuva 14). Hukkaporttia voidaan ohjata suoraan ahtopaineella, mutta nykyaikaisessa järjestelmässä ohjaus on toteutettu moottorinohjaimen säätämällä magneettiventtiilillä. (Bosch 1990, 6–7; Bosch 2003, 484.)

Energiataloudellisesti parempi ahtimen säätö saavutetaan ahtimen muuttuvalla geometrialla. Rakenteista käyttökelpoisimmaksi on osoittautunut säädettävä johtosiivistö (kuva 15). Johtosiivistö on asennettu turbiinin

ympärille ja sillä voidaan säätää pakokaasujen virtausta turbiinille. Pienillä moottorin pyörintänopeuksilla johtosiivistö sulkeutuu, jolloin turbiinille johtavien virtauskanavien pinta-ala pienenee. Tämä saa aikaan turbiinille johdettavien pakokaasujen virtausnopeuden kasvamisen, jolloin turbiini saa muunnettua pakokaasuvirrasta enemmän energiaa ahtimen käyttämiseen. Pyörintänopeuden kasvaessa pakokaasuvirtauksen energia kasvaa, jolloin johtosiivistöä avaamalla voidaan ahtopainetta säätää halutuksi. Yleensä johtosiivistön ohjaus on toteutettu moottorinohjaimen säätämän magneettiventtiilin avulla, jolloin ahtopainetta voidaan säätää eri tilanteisiin sopivaksi. (Bosch 2003, 484.)

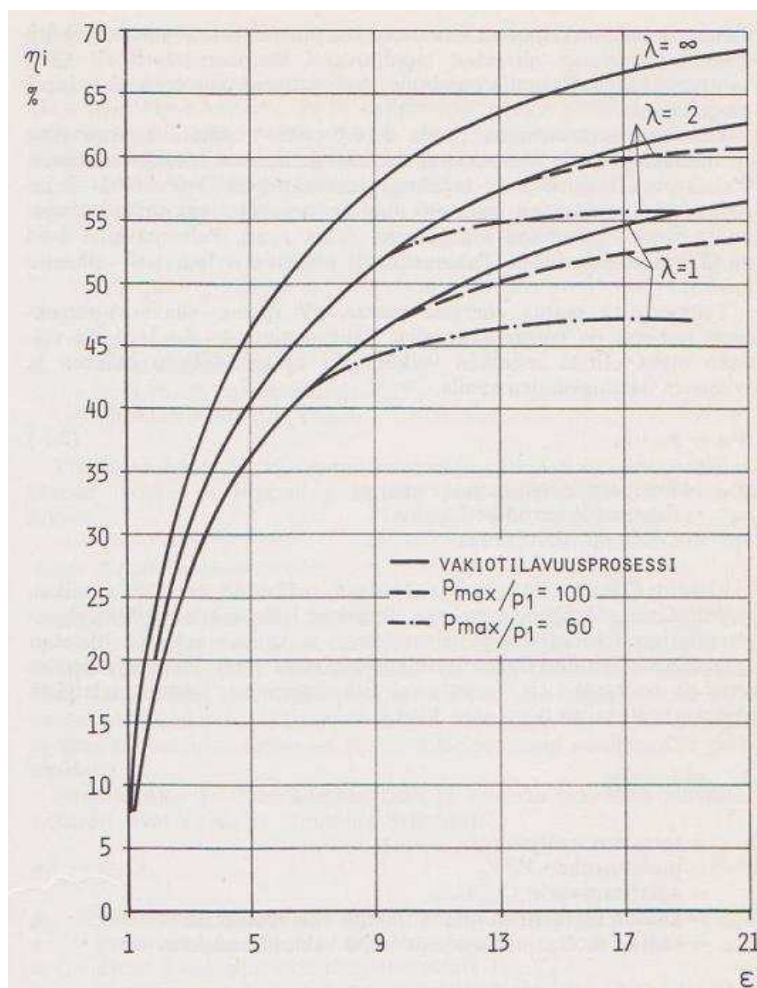


*KUVA 15. Ahtopaineen säätö turbiinin muuttuvalla geometrialla (Bosch 2003, 484)*

## 2.4 Hyötysuhteet

Dieselyökierron paras terminen hyötysuhde saavutetaan kun palaminen tapahtuu vakio-tilavuudessa, eli mahdollisimman nopeasti männän ollessa yläkuolokohdassa. Dieselpolttonesteen itsesyttymisen aikaansaamiseksi on dieselmootoreissa käytettävä korkeaa puristussuhdetta, mikä nostaa puristuksen loppupaineen korkeaksi. Aiemmin dieselmootoreissa pyrittiin rajoittamaan sylinterin maksimipainetta puristuksen loppupaineen tasolle

mekaanisten rasisusten vähentämiseksi. Tämä kuitenkin alensi termistä hyötysuhdetta, koska palaminen tapahtui lähinnä vakiopaineessa, eli männän jo liikkuessa kohti alakuolokohtaa. Nykyaikaisissa suoraruiskutusmoottoreissa sylinterin maksimipainetta ei liiemmin tarvitse rajoittaa, jolloin niiden termisen hyötysuhde on korkeampi. Kuvassa 16 on esitetty katkoviivoin miten maksimipaineen rajoittaminen vaikuttaa moottorin termiseen hyötysuhteeseen. (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 70–73.)



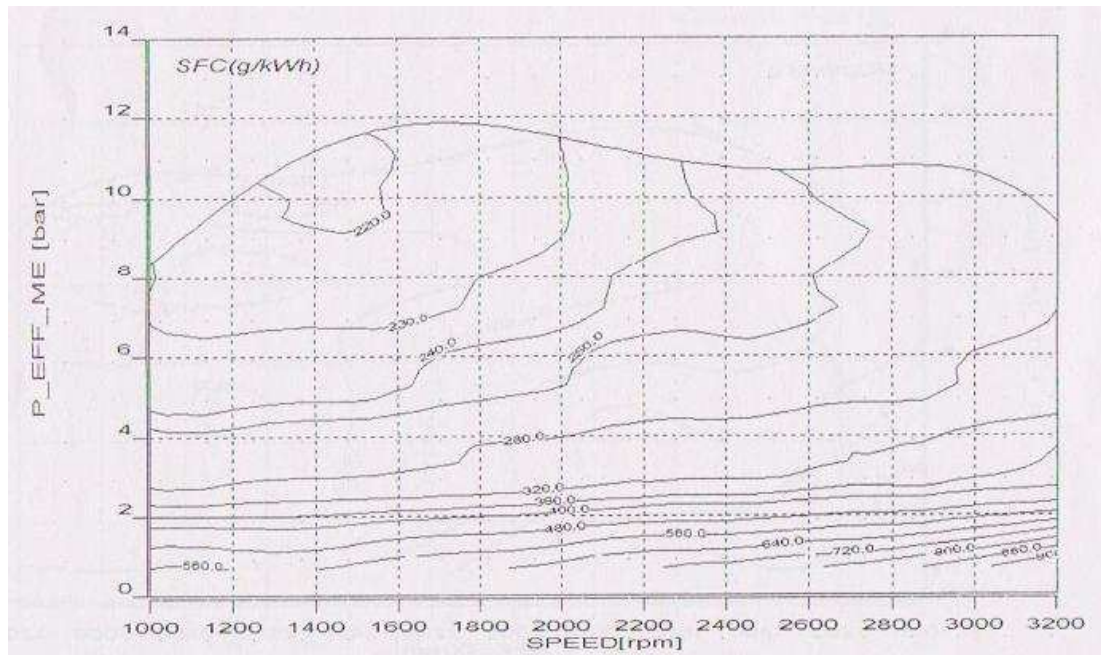
KUVA 16. Dieselmoottorin termisen hyötysuhde puristussuhteesta riippuen (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 73)

Termiseen hyötysuhteeseen vaikuttaa myös moottorin puristussuhde ja käytetty ilmakerroin, kuten kuvasta 16 voidaan huomata. Puristussuhteen kasvaessa paisuntavaihe muodostuu täydellisemmäksi. Palamiskaasujen lämpötila paisunnan lopussa laskee, jolloin työkierrosta saatu energia on

suurempi. Ilmakertoimen kasvaessa lämpötilan nousu polttoaineen palaessa pienenee, jolloin jäähdytyshäviöt sylinterin seinämiin pienenevät. Ahtamisella saavutettu suurempi ilmakerroin kasvattaa täten termistä hyötysuhdetta. (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 72.)

Vaikka puristussuhteen kasvattaminen nostaa termistä hyötysuhdetta, pienentää se samalla mekaanista hyötysuhdetta. Korkeammalla puristussuhteella sylinterin maksimipaine kasvaa, mikä kasvattaa kitkavoimia. Korkein kokonaishyötysuhde saavutetaan puristussuhteilla 12–16. Apukammimootoreissa käytettävä puristussuhde on 18–23 hyvän kylmäkäynnistyvyyden takaamiseksi, mutta suoraruiskutusmootoreissa voidaan käyttää selvästi alhaisempaa puristussuhdetta. Näin suoraruiskutusmoottorin kokonaishyötysuhde muodostuu edullisemmaksi. (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 70–74.)

Polttonesteen ominaiskulutus antaa parhaan kuvan moottorin polttonesteen kulutuksesta. Se kertoo kulutetun polttonestemäärän tietyn työmäärän suorittamiseen tietyissä olosuhteissa. Polttomootoreiden ollessa kyseessä käytetään ominaiskulutuksen yksikkönä yleensä g/kWh. Kuvassa 17 on esitetty erään testimoottorin ominaiskulutuskäyrästä moottorin pyörintänopeuden ja tehollisen keskipaineen suhteen. Tehollinen keskipaine voidaan määrittää moottorin rakennevakioiden ja mitatun vääntömomentin perusteella, eli se kuvaa moottorin kuormitusta. Tehollisen keskipaineen maksimikäyrä kuvaa suurinta moottorin tuottamaa vääntömomenttia. (Ilomäki 2010a; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 105.)



*KUVA 17. Polttoaineen ominaiskulutus moottorin pyörintänopeuden ja tehollisen keskipaineen suhteen (Ilomäki 2010a)*

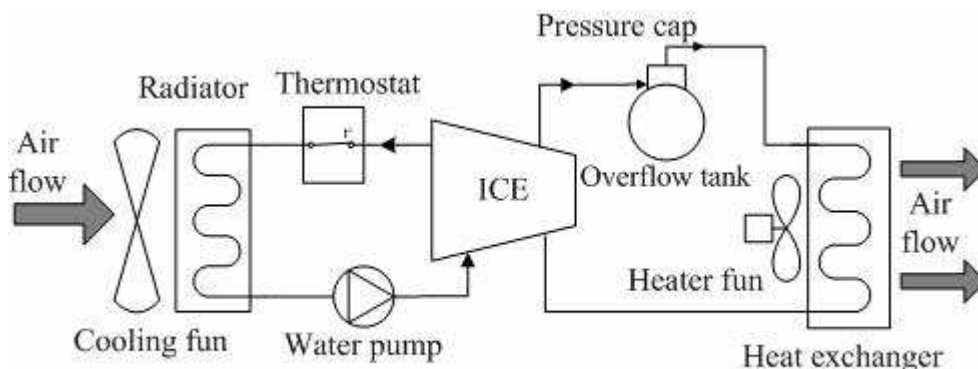
Kuvassa 17 esiintyvän ominaiskulutuskäyrästä on tyypillinen dieselmootoreille. Kuvaajasta voidaan huomata, että pienin ominaiskulutus saavutetaan yleensä korkealla moottorin kuormituksella ja suhteellisen pienellä pyörimisnopeudella. Tasaisella nopeudella ajettaessa ajovastuksien voittamiseen vaadittava moottorin vääntömomentti on alhainen, jolloin ominaiskulutus muodostuu suureksi. Moottorin iskutilavuutta pienentämällä (downsizing) moottorin kuormitus kasvaa, mikä siirtää yleensä sen toimintapistettä ominaiskulutuskentässä edullisempaan suuntaan. (Bosch 2003, 376–377; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 105.)

Käytettävällä vaihteiston välityssuhteella voidaan myös vaikuttaa moottorin ominaiskulutukseen. Pienemmällä välityssuhteella moottorin pyörintänopeus laskee ja kuormitus kasvaa, mikä yleensä laskee ominaiskulutusta. Tämän vuoksi vaihteiston välityssuhteiden sovittaminen on tärkeää suorittaa moottorikohtaisesti ja käyttötarkoitus huomioon ottaen. (Bosch 2003, 377.)

## 2.5 Jäähdytysjärjestelmä

Polttomoottorin toimiessa vain pieni osa polttoaineen sisältämästä energiasta saadaan mekaaniseksi työksi. Suurin osa energiasta menetetään eri lämpöhäviöinä. Osa poistuu pakokaasujen mukana ja osa siirtyy moottorin rakenneosiin, varsinkin sylinterin ja sylinterikannen seinämiin sekä mänttiin. Näiden rakenneosien termisen ylikuormituksen estämiseksi tulee niitä jäähdyttää. (Bosch 2003, 450; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 315.)

Jäähdytys voidaan toteuttaa suoraan tai välillisesti. Suorassa jäähdytyksessä lämmönsiirto tapahtuu tehokkaan ilmavirtauksen avulla suoraan jäähdytettävien rakenneosien pinnoista ilmaan. Tämän jäähdytystavan etuina on sen hyvä käyttövarmuus ja vähäinen huollontarve. Välillisesti toteutetussa jäähdytyksessä johdetaan lämpö ensin jäähdytysnesteeseen, joka luovuttaa sen myöhemmin ulkoilmaan erillisessä jäähdyttimessä (kuva 18). Jäähdytysnesteellä on korkea ominaislämpökapasiteetti ja hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet metalleista nesteeseen. Lisäksi nestejäähdytyksellä voiteluöljyn ja kierrätettävien pakokaasujen (EGR) jäähdytys sekä ohjaamon lämmitys voidaan toteuttaa helposti liittämällä ne samaan nestekiertoön. Nämä seikat ovat johtaneet nestejäähdytyksen käytön yleistymiseen. (Bosch 2003, 450; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 315–320.)



KUVA 18. Jäähdytysnestekierron periaate (Musat – Helerea 2009)

Dieselmoottorien maksimitehojen noustessa kasvaa myös voiteluöljyn jäähtymisen tarpeellisuus. Toisaalta kylmissä olosuhteissa ja pienillä moottorin kuormituksilla moottorista voiteluöljyyn johtuva lämpömäärä ei välttämättä riitä pitämään öljyn lämpötilaa tarpeeksi korkeana. Alhainen voiteluöljyn lämpötila lisää moottorin kulumista ja kasvattaa suuremman viskositeettinsa vuoksi kitkahäviöitä. Jäähdytysnesteen ja voiteluöljyn välisellä lämmönvaihtimella saadaan öljy pysymään toiminnan kannalta optimaalisessa lämpötilassa. Öljyn lämpötilan ollessa jäähdytysnesteen lämpötilaa suurempi, toimii lämmönvaihdin öljyn jäähdyttimenä. Toisaalta kylmissä olosuhteissa lämmönvaihdin lämmittää öljyä. Voiteluöljyn lämmittäminen pienentää jäähdytysjärjestelmän lämpökuormaa, mikä saattaa kylmissä olosuhteissa laskea jäähdytysnesteen lämpötilaa tai ainakin hidastaa sen nousunopeutta. (Bosch 2003, 270; Kleimola – Pohjanpalo 1981, 297–320.)

Pakokaasumääräysten tiukentuessa on dieselmoottoreissa alettu käyttämään pakokaasujen kierrätysjärjestelmää. Osa pakokaasuista johdetaan takaisin moottoriin, mikä laskee palamisilman happipitoisuutta. Tämä laskee palamisen lämpötilaa, mikä vähentää typpioksidipäästöjen muodostumista varsin pienellä polttonestekulutuksen kasvulla. Kierrätettävien pakokaasujen korkea lämpötila kasvattaa moottorin termistä rasitusta ja alentaa sylinterin täytöstä, koska palamisilman tiheys on pienempi. Näitä vaikutuksia voidaan vähentää jäähdyttämällä kierrätettäviä pakokaasuja. Jäähdytys tapahtuu jäähdytysnestekiertoon liitetyn lämmönvaihtimen avulla, jolloin se kasvattaa jäähdytysjärjestelmän lämpökuormaa. (Bosch 2003, 475; Cambustion Ltd. 2011.)

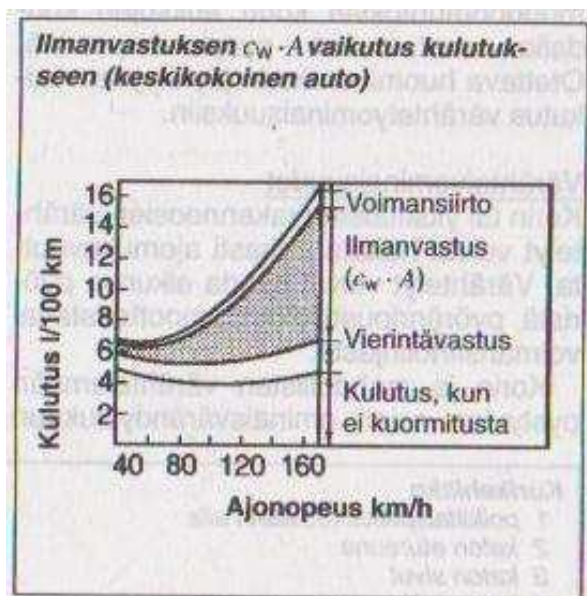
Jäähdytysjärjestelmän jäähdytin on varustettava tuulettimella, koska ajoneuvoissa tarvitaan suurta jäähdytystehoa myös pienillä ajonopeuksilla. Aiemmin henkilöautoissa käytettiin suoraan tai viskoosikytkimen välityksellä moottoriin yhdistettyä tuuletinta. Nämä kuitenkin vaativat toimiessaan suuren tehon, mikä vähentää moottorin hyötytehoa. Nykyaikaisissa henkilöautoissa tuulettimet ovat sähkökäyttöisiä, jolloin niiden toimintaa voidaan tarkasti ohjata. Tapauksissa, joissa patopaine riittää jäähdyttämiseen, voidaan



ajoneuvoa käyttää sähkökäyttöinen tuuletin poiskytkettynä, jolloin polttonesteen kulutus pienenee. (Bosch 2003, 472.)

### 3 AJOVASTUKSET

Moottorin tuottamaa mekaanista energiaa käytetään ajoneuvoissa ajovastuksien voittamiseen. Ajovastukset muodostuvat ilmanvastuksesta, vierintävastuksesta, nousuvastuksesta, kiihdytysvastuksesta ja kaarreajovastuksesta. Näistä ainoastaan ilmanvastus ja vierintävastus vaikuttavat ajettaessa tasaisella nopeudella ja mäettömällä tiellä. Näiden vastuksien vaikutus ajoneuvon polttonesteen kulutukseen on esitetty kuvassa 19. (Haataja 2007.)



KUVA 19. Ajovastuksien vaikutus polttonesteen kulutukseen (Bosch 2003, 795)

Ilmanvastusvoima on suoraan verrannollinen nopeuden neliöön, mikä tarkoittaa että siitä muodostuu merkittävin ajovastus ajonopeuden kasvaessa. Vierintävastus ei kasva merkittävästi ajonopeuden kasvaessa, joten sillä on suuri merkitys vain pienillä ajonopeuksilla. Nousuvastus syntyy, kun ajoneuvolla nouseaan mäkeä ylös, jolloin energiaa varastoidaan ajoneuvon potentiaalienergiaksi. Osa tästä energiasta saadaan takaisin ajoneuvon laskeutuessa mäkeä alas. Kiihdytysvastus syntyy, kun ajoneuvon nopeutta kasvatetaan. Tällöin energiaa varastoituu ajoneuvon kineettiseksi

energiaksi, josta osa saadaan takaisin ajoneuvon hidastaessa rullaamalla. Kaarreajovastus syntyy, kun ajoneuvolla ajetaan kaarteessa ja energiaa käytetään ajoneuvon liikesuunnan muuttamiseen. (Haataja 2007.)

### 3.1 Ilmanvastus

Ilmanvastus muodostuu muun muassa koriin kohdistuvan ilmanpaineen vaikutuksesta, ilman pintahankauksesta, sisäisestä ilmanvirtausvastuksesta ja lisävarusteiden aiheuttamasta vastuksesta. Ilmanvastusvoima voidaan laskea kaavan 1 mukaisesti. (Haataja 2007.)

$$F_i = 0,5 \cdot \rho \cdot C_w \cdot A \cdot v^2$$

KAAVA 1

$F_i$  = ilmanvastusvoima

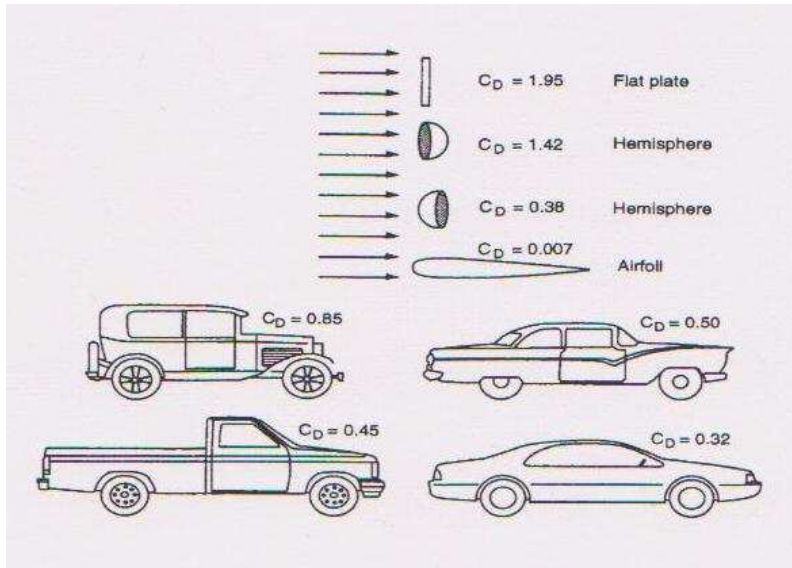
$\rho$  = ilmantiheys

$C_w$  = ilmanvastuskerroin

$A$  = ajoneuvon suurin poikkipinta-ala

$v$  = ajoneuvon nopeus

Ajoneuvon muotoilulla voidaan vaikuttaa ilmanvastuskertoimen ja poikkipinta-alan kautta ilmanvastusvoimaan. Poikkipinta-alaa ei kuitenkaan voida juurikaan pienentää ohjaamon mukavuudesta tinkimättä. Tämän vuoksi ajoneuvovalmistajat ovatkin keskittyneet ilmanvastuskertoimen optimointiin. Kuvassa 20 on esitetty eri korimuotojen ilmanvastuskertoimia. Nykyaikaisilla tietokoneohjelmistoilla on mahdollista testata eri tekijöiden vaikutusta ilmanvastukseen ennen ajoneuvon valmistamista. Ajoneuvon rakenne voidaan suunnitella tuottamaan pienin mahdollinen ilmanvastuskerroin laki- ja muiden vaatimusten puitteissa. Ilmanvastusta 10 % pienentämällä saavutetaan 3 % pienempi polttonesteen kulutus. (Bosch 2003, 377, 795.)



KUVA 20. Eri korimuotojen ilmanvastuskertoimia (Haataja 2007)

Yksittäisten muotoiluseikkojen vaikutusta ilmanvastuskertoimeen ei ole mielekästä määrittää, sillä niihin vaikuttaa myös ajoneuvon perusmuoto. Kuvassa 21 on kuitenkin esitetty joitain kertoimeen vaikuttavia tekijöitä ja niiden prosentuaalisten vaikutusten suuruusluokkia. Positiiviset arvot suurentavat kerrointa ja negatiiviset pienentävät. (Bosch 2003, 795.)

Esimerkkejä: Vaikuttava tekijä	$\Delta c_w$ %
Tason lasku 30 mm	n. -5
Sileät pölykapselit	-1...-3
Leveät renkaat	+2...+4
Lasit ulkopinnan tasalle	n. -1
Saumojen tiivistys	-2...-5
Pohjaverhoilu	-1...-7
Ylös kääntyvät valot	+3...+10
Ulkopeili	+2...+5
Jäähdyttäjän ja moottorin läpivirtaus	+4...+14
Jarrujen jäähdytys	+2...+5
Ohjaamon tuuletus	n. +1
Avoimet ikkunat	n. +5
Avoim kattoluukku	n. +2
Surffilaudan kulj.katolla	n. +40

KUVA 21. Ilmanvastuskertoimeen vaikuttavia tekijöitä (Bosch 2003, 795)

### 3.2 Vierintävastus

Vierintävastus aiheutuu pääasiassa renkaan ja ajoradan muodonmuutostyöstä. Vierintävastusvoiman likimääräinen arvo voidaan laskea kaavan 2 mukaisesti. (Bosch 2003, 378.)

$$F_r = f \cdot m \cdot g$$

KAAVA 2

$F_r$  = vierintävastusvoima

$f$  = vierintävastuskerroin

$m$  = ajoneuvon massa

$g$  = putouskiihtyvyyys

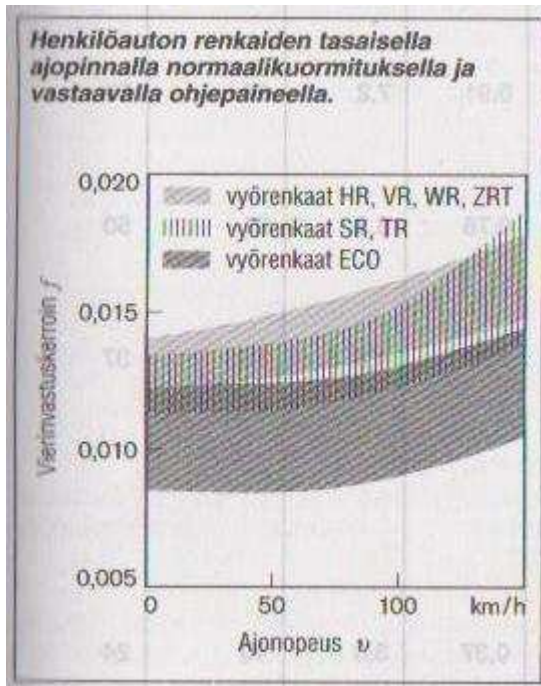
Vierintävastusvoimaan vaikuttavat vierintävastuskerroin ja ajoneuvon massa. Vierintävastuskertoimeen vaikuttavat pyörän säde ja syntyvä muodonmuutos. Kerroin kasvaa, kun renkaan säde pienenee, ajoneuvon massa kasvaa, nopeus kasvaa ja rengaspaine pienenee. Lisäksi kertoimeen vaikuttaa tienpinnan laatu kuvan 22 mukaisesti. (Bosch 2003, 378–379.)

Tienpinta	Vierintävastuskerroin $f$
<b>Renkaat (tavalliset)</b>	
nupukivetys	0,015
pienkivetys	0,015
betoni, asfaltti	0,013
sepeli, jyrätty	0,02
sepeli, jyrätty, pietty	0,025
maapohja	0,05
pelto	0,1...0,35
<b>K-a (ilmarenk.)</b>	
betoni, asfaltti	0,006...0,01
<b>Renkaat (traktorin)</b>	
maapohja	0,14...0,24
<b>Telaketjut</b>	
maapohja	0,07...0,12
<b>Pyörät kiskoilla</b>	0,001...0,002

KUVA 22. Vierintävastuskertoimen arvoja eri tienpinnoilla (Bosch 2003, 378)

Renkaiden kehityksen myötä niiden vierintävastuskerroin on laskenut. Vierintävastuskertoimen pieneneminen vaikuttaa suoraan

vierintävastusvoimaan ja ajoneuvon polttonesteen kulutukseen. Kuvasta 23 voidaan huomata, miten niin sanotuilla energiaa säästävillä renkailla saavutetaan merkittävästi pienempi vierintävastuskerroin tavallisiin renkaisiin verrattuna. Vierintävastusta 10 % pienentämällä saavutetaan 2 % pienempi polttonesteen kulutus. (Bosch 2003, 377–379; Huovila 2010.)



KUVA 23. Henkilöauton renkaiden vierintävastuskertoimia (Bosch 2003, 379)

Kuluttajia ohjataan valitsemaan alhaisen vierintävastuksen omaavat renkaat uusien renkaiden tyyppihyväksyntä- ja luokittelusäädöksiensä avulla, jotka astuvat voimaan 1.11.2012. Niiden avulla renkaat on luokiteltu vierintävastuksen, märkäpidon ja ohiajomelun osalta helposti vertailtaviin luokkiin. Renkaiden luokittelu on tarpeen, sillä nykyisin kuluttajalla ei ole juurikaan mahdollisuuksia vertailla renkaita, vaikka syytä olisi. Parhailla renkailla voidaan saavuttaa jopa 6,3 % pienempi polttonesteen kulutus huonoimpiin renkaisiin verrattuna. (Huovila 2010.)

### 3.3 Ajoneuvon massa

Ajoneuvon massa vaikuttaa vierintävastuksen, kiihdytysvastuksen ja nousuvastuksen muodostumiseen. Massalla on siis merkittävä vaikutus

ajoneuvon polttonesteen kulutukseen. Ajoneuvon massaa 10 % pienentämällä saavutetaan 6 % pienempi polttonesteen kulutus. (Bosch 2003, 377.)

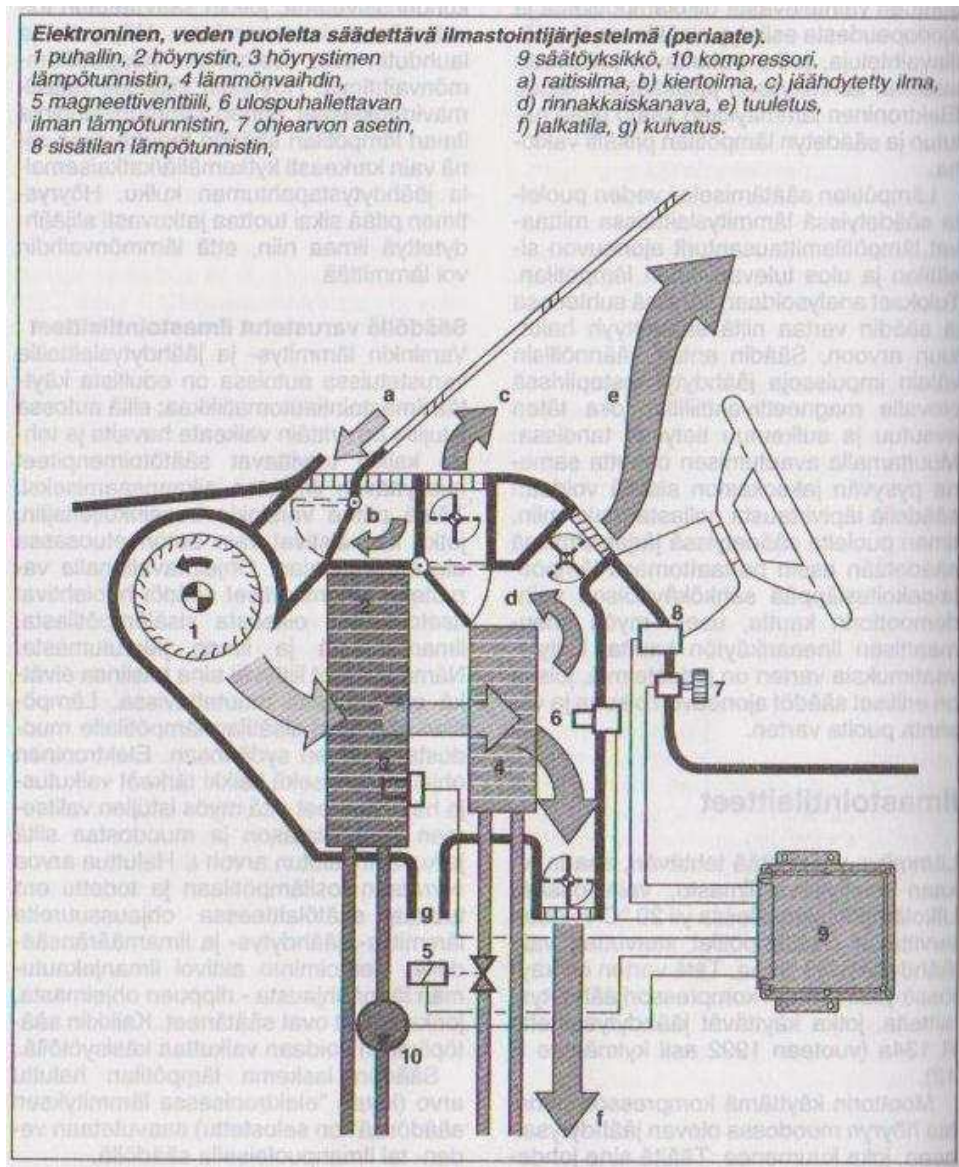
Ajoneuvojen kolariturvallisuudelle asetettujen vaatimusten tiukentuessa ei massan pienentäminen ole helppoa. Ajoneuvovalmistajat ovat alkaneet käyttää erikoislujia teräksiä ja alumiinia alentaakseen ajoneuvon massaa kuitenkin samalla kolariturvallisuutta parantaen. Sijoittamalla rakenteen kannalta tärkeisiin kohteisiin erikoislujista teräksestä valmistettuja osia voidaan käytetyn materiaalin määrää ja ajoneuvon painoa alentaa. Alumiini ei ole lujuudeltaan yhtä vahvaa kuin teräs, mutta sen etuna on pienempi tiheys. Alumiinista voidaan valmistaa kolariturvallisuuden kannalta vähemmän oleellisia korinosia, kuten pintapaneeleja, mutta myös kokonaisia ajoneuvon koreja. Alumiinia voidaan myös käyttää moottorilohkon ja sylinterikannen valmistusmateriaalina. (Ilomäki 2010b.)

## 4 OHJAAMON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

Ajoneuvon lämmityslaitteiston tehtävänä on luoda ohjaamoon miellyttävä ilmasto ja tarjota kuljettajalle ympäristö, joka ei rasita eikä väsytä. Tämän lisäksi sen tulisi taata hyvä näkyvyys kaikkien lasien läpi myös kosteissa ja kylmissä olosuhteissa. (Bosch 2003, 854.)

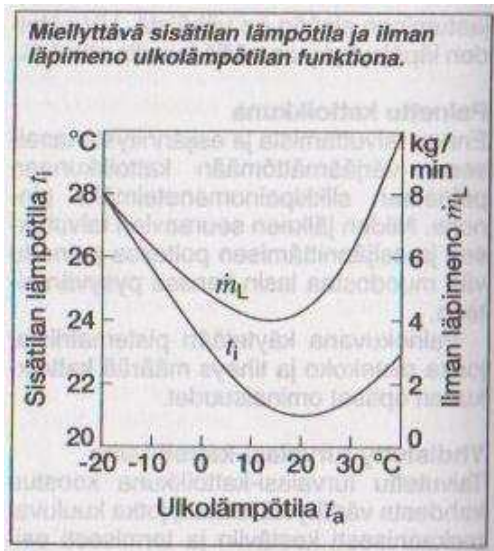
Lämmitysjärjestelmä koostuu puhaltimesta, lämmönvaihtimesta, mahdollisesta ilmasoinnin höyrystimestä sekä lämpötilaa ja puhalluksen suuntaa säätävästä järjestelmästä (kuva 24). Puhallin siirtää ilmaa ulkoa ohjaamoon. Ilmavirta johdetaan ilmastoinnin höyrystimen ja lämmönvaihtimen läpi ohjaamoon. (Bosch 2003, 854–856.)





KUVA 24. Lämmitysjärjestelmän toimintaperiaate (Bosch 2003, 856)

Miellyttävä ilman lämpötila ja ohjaamon läpi virtaava ilmamäärä riippuvat ulkolämpötilasta kuvan 25 mukaisesti. Kylmissä olosuhteissa eri luukkujen raoista tapahtuvan vedon ja säteilyvaikutuksen vuoksi tulee puhallusilman lämpötilan olla korkeampi ja virtausmäärän suurempi. Tämä kasvattaa lämmityslaitteen lämmönvaihtimelle tulevan ja sieltä lähtevän ilman lämpötilaeroa entisestään. (Bosch 2003, 854.)



KUVA 25. Miellyttävä sisätilan lämpötila ja ilman läpimeno suhteessa ulkolämpötilaan (Bosch 2003, 854)

Lämmitysjärjestelmän tarvitsema lämmitysteho voidaan laskea kaavan 3 mukaisesti (Bosch 2003, 96).

$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t}$$

KAAVA 3

$P$  = lämmitysteho

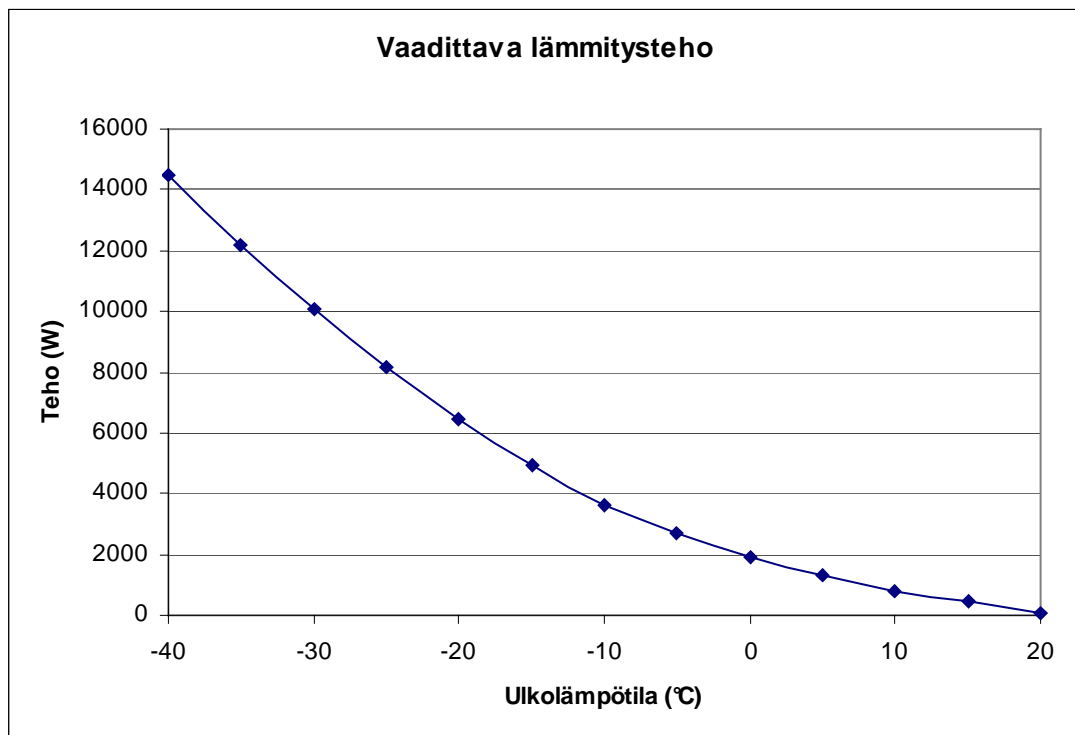
$m$  = läpivirtaavan ilman massa

$c$  = ominaislämpökapasiteetti

$\Delta T$  = sisä- ja ulkolämpötilojen erotus

$t$  = kulunut aika

Lämmitysjärjestelmän lämmitysteho suhteessa ulkolämpötilaan on esitetty kuvassa 26. Sisäilman lämpötila ja ilman läpivirtaus on oletettu kuvassa 25 esitetyksi ja ne on ekstrapoloitu jatkumaan  $-40$  °C lämpötilaan asti. Kuten kuvaajasta voidaan huomata, kasvaa vaadittava lämmitysteho eksponentiaalisesti lämpötilan laskiessa.



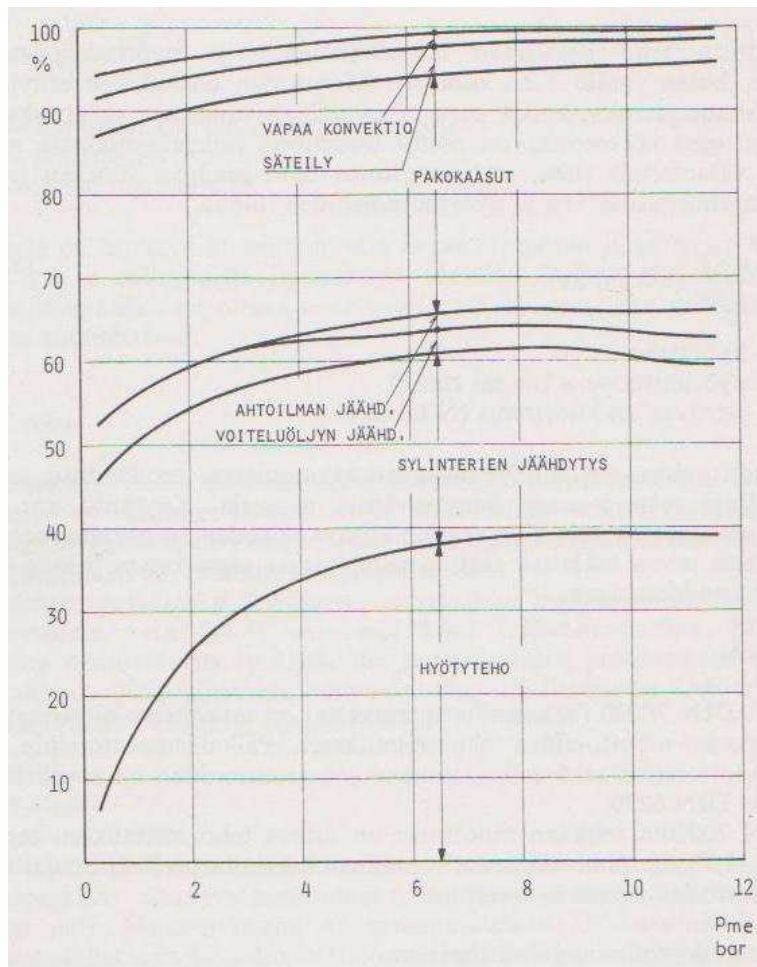
*KUVA 26. Ilman lämmitykseen vaadittava teho suhteessa ulkolämpötilaan*

Ilman lämpötilaa voidaan säätää joko lämmönvaihtimen läpi virtaavan jäähdytysnesteen tai ilman virtausta säätämällä. Nykyään lämpötilan säätö ja puhaltimen ohjaus tapahtuu elektroniikan ohjaamana. Näin ohjaamon ilmasto pysyy samana ajo-olosuhteista ja lämpötilavaihteluista huolimatta ja esimerkiksi huurteenpoisto voidaan käynnistää helposti yhdellä kytkimellä. (Bosch 2003, 855.)

#### **4.1 Viimasuoja**

Moottorin läpi virtaavaa ilmapirtta voidaan rajoittaa ajoneuvon ilmanottoaukkoihin asennettavilla viimasuojilla. Viimasuojan avulla moottorin lämpötila kasvaa, koska moottorin lämpösäteilyn, ahtoilman jäähdyttimen ja jäähdyttimen lämmittämä ilma ei niin tehokkaasti poistu moottorin lämpötilasta. Koska moottorin ja moottorin lämpötilaero on täten pienempi, pienenee säteilylämmön osuus. Näin moottorista ilmaan siirtyvän säteilylämmön osuutta voidaan pienentää, jolloin jäähdytysjärjestelmään johtuva lämpömäärä kasvaa, kuten kuvasta 27 voidaan huomata. Tämä

kasvattaa moottorin lämpenemisnopeutta ja lämpötilaa. (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 107.)

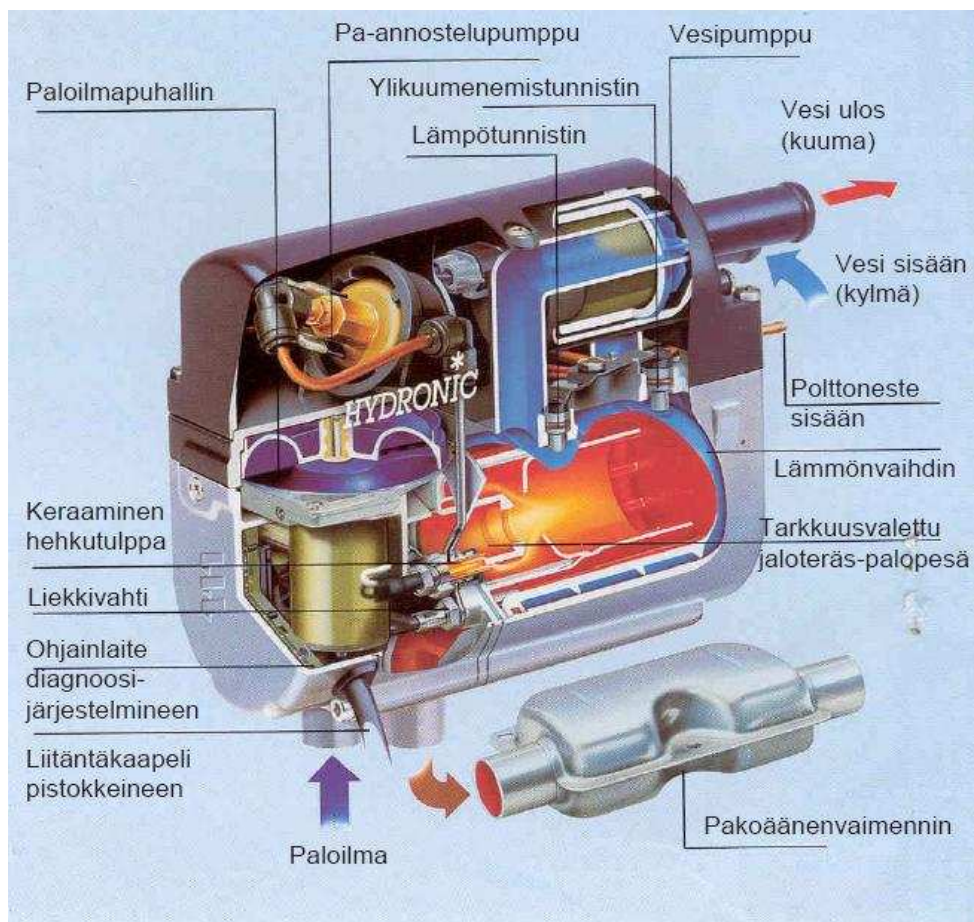


*KUVA 27. Polttonesteen sisältämän energian jakautuminen suhteessa teholliseen keskipaineeseen eräässä dieselmoottorissa (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 107)*

Viimasuojalla voidaan erittäin kustannustehokkaasti vaikuttaa moottorin ja ohjaamon lämpenemisnopeuteen ja lämpötilaan. Viimasuojan käyttö liian lämpimissä olosuhteissa voi kuitenkin johtaa moottorin ylikuumentumiseen ja vaurioitumiseen. Tämän vuoksi viimasuojan käyttö vaatii käyttäjän säätötoimenpiteitä muuttuvissa ajo-olosuhteissa. Vaihtoehtoisesti viimasuojalla voidaan peittää vain osa ilmanottoaukoista, jolloin moottorin vaurioitumisen vaara on pienempi. Tällöin viimasuojalla saavutettavat vaikutukset ovat kuitenkin pienemmät.

## 4.2 Polttonestekäyttöiset lisälämmittimet

Polttoainekäyttöiset lisälämmittimet tuottavat lämpöenergiaa polttamalla polttonestettä lämmitinyksikössä. Polttoneste syötetään palopesään, jossa se syttyy hehkutulpan lämmöstä. Sähkökäyttöinen puhallin huolehtii palamisilman syöttämisestä ja pakokaasujen poistamisesta. Palopesän pinnalta lämpö siirtyy lämmitintyyppistä riippuen joko jäähdytinnesteeseen tai suoraan ilmaan. Henkilöautoissa käytetään jäähdytinnestekiertoon liitettäviä lämmittimiä (kuva 28), sillä niillä voidaan matkustamon lämmittämisen lisäksi nopeuttaa moottorin lämpenemistä ja järjestää moottorin esilämmitys. (Wihuri Oy Autola. 2008.)



KUVA 28. Jäähdytysnestekiertoon liitettävä polttonestelämmitin (Wihuri Oy Autola. 2008)

Polttonestekäyttöiset lämmittimet soveltuvat ajoneuvokäyttöön hyvin. Ajoneuvoon ei tarvitse tehdä merkittäviä muutoksia lämmitintä asennettaessa. Lämmittimen paino on henkilöautokokoluokassa alle 3 kg, joten ajoneuvon massa ei asennuksessa vaadittavien osienkaan kanssa nouse merkittävästi. Henkilöautoihin asennettavat lämmittimet ovat teholtaan yleensä 4–5 kW. Lämmittimien teho-painosuhte on siten erinomainen ja suuren tehon ansiosta moottorin ja ohjaamon lämpeneminen tapahtuu nopeasti. Lämmittimellä voidaan järjestää tehokas moottorin esilämmitys, kun ulkoiseen sähköverkkoon liitettävän lämmittimen käyttö ei ole mahdollista. (Wihuri Oy Autola. 2008.)

Henkilöautoissa käytettävät lämmittimet tarvitsevat ajoneuvon sähköjärjestelmästä 10–50 W tehon lämmittimen käyttämiseen. Lisäksi tehoa kuluttaa mahdollinen sisätilan puhaltimen käyttö. Tarvittava teho ei ole suuri ajoneuvon käydessä, mutta aiheuttaa ongelmia esilämmityskäytössä, sillä tarvittava teho otetaan ajoneuvon akusta. Ajoneuvon akku ei välttämättä ehdi varautua riittävästi lyhyen ajomatkan yhteydessä. Tämä korostuu varsinkin kylmissä olosuhteissa, kun esilämmitysajat ovat pidemmät ja akun virranottokyky on heikompi. (Wihuri Oy Autola. 2008.)

Polttonestelämmittimien esitteissä on yleensä mainittu lämmittimen polttonesteen kulutus ja saavutettava lämmitysteho. Näiden perusteella voidaan kaavan 4 mukaisesti laskea, millä hyötysuhteella lämmitin toimii. Hyötysuhde kertoo kuinka suuri osuus lämmittimen käyttämän polttonesteen sisältämästä energiasta saadaan lämmitystehoksi. (Haataja 2009.)

$$\eta = \frac{P \cdot t}{V \cdot \rho \cdot h_n}$$

KAAVA 4

$\eta$  = polttonestelämmittimen hyötysuhde

$P$  = polttonestelämmittimen ilmoitettu antoteho

$t$  = kulunut aika

$V$  = kulutetun polttonesteen tilavuus

$\rho$  = polttonesteen tiheys

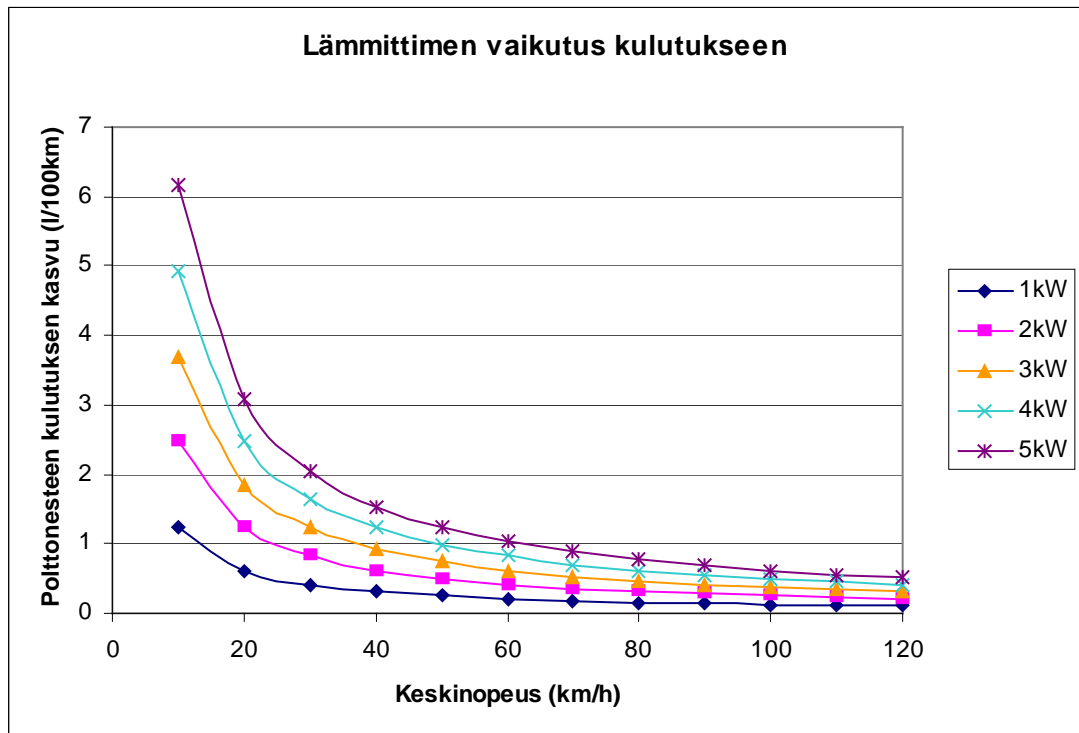
$h_n$  = polttonesteen ominaislämpöarvo

Sijoitetaan kaavaan esimerkiksi Eberspächer Hydronic D4W S lämmittimen tiedot. Lämmittimen polttonesteen kulutus on 0,53 l/h ja suurin antoteho 4300 W. Dieselpolttonesteen ominaislämpöarvo on 42,5 MJ/kg ja tiheys välillä 0,815–0,855 kg/l. (Bosch 2003, 280; Wihuri Oy Autola. 2008.)

$$\eta = \frac{4300W \cdot 3600s}{0,53l \cdot 0,83kg / l \cdot 42,5 \cdot 10^6 J / kg} = 0,828$$

Huomataan että lämmitin toimii varsin hyvällä 82,8 % hyötysuhteella. Laskennassa ei ole otettu huomioon ajoneuvon sähköjärjestelmästä otettua käyttötehoa.

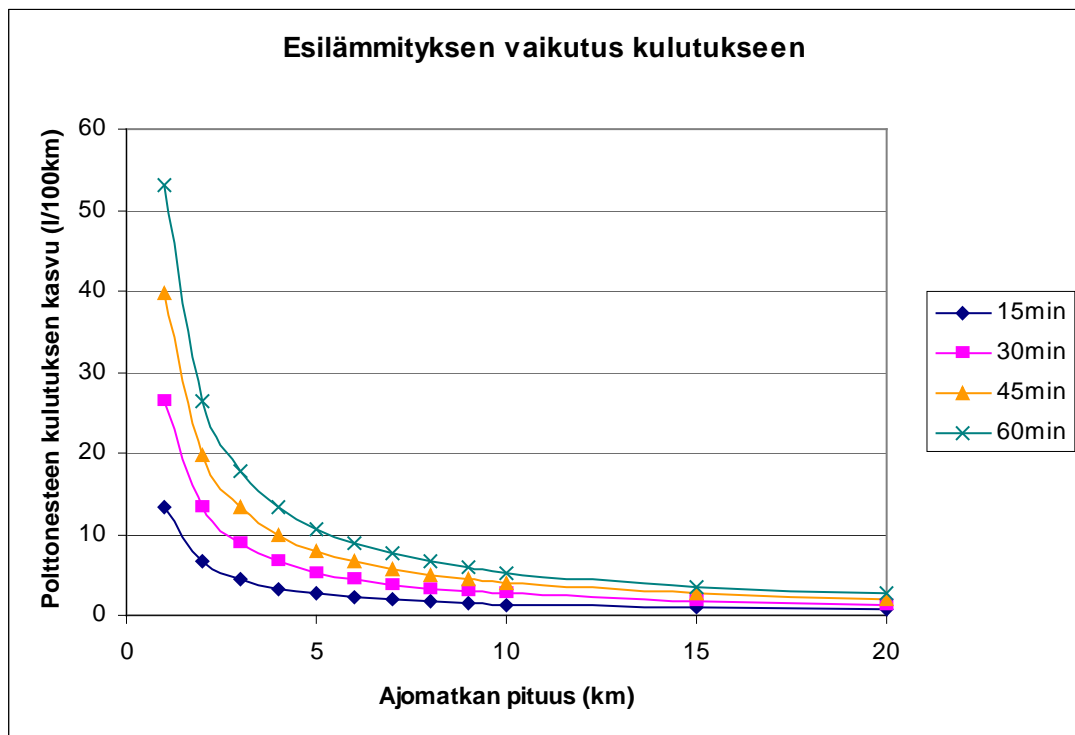
Vaikka lämmitin toimiikin hyvällä hyötysuhteella, kasvattaa sen käyttö polttonesteen kokonaiskulutusta. Lämmitintä joudutaan kylmissä olosuhteissa käyttämään ajon aikana, jotta moottori ja ohjaamo pysyvät lämpimänä. Polttonesteen kokonaiskulutus kasvaa etenkin kaupunkiajossa, koska keskinopeudet jäävät alhaisiksi ja moottorin kuormitus on vähäistä. Keskinopeuden noustessa lämmitystehon tarve ja lämmittimen vaikutus polttonesteen kokonaiskulutukseen laskevat. Kuvassa 29 on esitetty lämmittimen vaikutus polttonesteen kokonaiskulutukseen eri lämmitystehoilla ja keskimääräisillä ajonopeuksilla. Lämmittimien hyötysuhteeksi on oletettu aiemmin laskettu arvo.



KUVA 29. Polttonestekäyttöisellä lämmittimellä tuotetun lämmitystehon vaikutus kulutuksen kasvuun suhteessa keskinopeuteen

Bensiinikäyttöisissä moottoreissa esilämmitys laskee merkittävästi moottorin kuluttaman polttoneesten määrää, jolloin polttonestekäyttöistä lämmitintä käytettäessä ei kokonaiskulutuksen nousu ole merkittävä. Dieselkäyttöisissä moottoreissa kulutus ei kuitenkaan juuri laske. Dieselkäyttöisissä ajoneuvoissa polttonestekäyttöisten lämmittimen käyttö moottorin esilämmittämiseen ei tämän vuoksi ole polttoainetaloudellisesti kannattavaa. Esilämmityskäyttö nostaa polttoneesten kokonaiskulutusta kuvan 30 mukaisesti, kun lämmittimen kulutus on 0,53 l/h. Moottorin esilämmittäminen kuitenkin alentaa pakokaasupäästöjä ja moottorin kulumista sekä nopeuttaa ohjaamon lämpenemistä, minkä vuoksi esilämmitys on kylmissä olosuhteissa aina suositeltavaa. (Kalenoja – Lahti 1999.)





KUVA 30. Esilämmitysajan ja ajomatkan vaikutus lämmittimen aiheuttamaan polttoneesten kulutuksen kasvamiseen sadalla kilometrillä

### 4.3 Lämmitysvastukset

Lämmitysvastuksilla pyritään avustamaan ajoneuvon varsinaisen lämmityslaitteen toimintaa tilanteissa, joissa sen teho ei yksinään ole riittävä. Tällaisia tilanteita esiintyy esimerkiksi silloin, kun ajoneuvon moottori on vasta käynnistetty, tai käytettäessä ajoneuvoa kylmissä olosuhteissa. (Musat – Helerea 2009.)

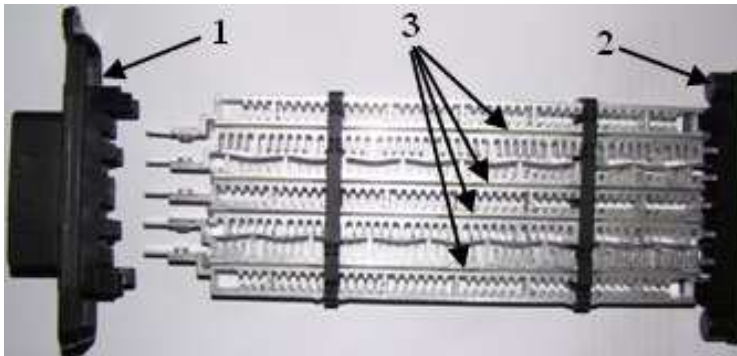
Lämmitysvastuksia alettiin jo 1990-luvun loppupuolella käyttää epäsuorasti. Lämmitysvastukset sijaitsivat jäähdytysnestekiertoön lisätyssä kuvan 31 tyyppisessä tilassa, jonka läpi ohjaamon lämmönvaihtimelle johdettava jäähdytysneste virtasi. Tämäntyyppisen epäsuoran lämmitysratkaisun käyttö jäi kuitenkin varsin vähäiseksi, sillä suoraan ilmaa lämmittämällä saadaan lämpöenergiaa kohdistettua tarkemmin vain ohjaamoon ohjattavaan ilman lämmittämiseen. (BorgWarner BERU Systems GmbH. 2011.)



*KUVA 31. Jäähdytysnestevirtaan sijoitetut lämmitysvastukset (BorgWarner BERU Systems GmbH. 2011)*

Lämmittimistä, joita käytetään lämmittämään suoraan ohjaamoon ohjattavaa ilmaa, käytetään nimitystä PTC-lämmitin. PTC-lämmittimessä (Positive Temperature Coefficient) lämmitysvastuksien resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa, jolloin vastuksien läpi kulkeva virta ja vastuksien teho laskevat. Lämmittimen teho säätyy näin automaattisesti estäen sen ylikuumentumisen. Lämmitin on jaettu useaan pienempitehoiseen osaan, jolloin lämmittimen kokonaistehoa voidaan myös ulkoisesti säätää muun muassa lämmitystarpeen ja generaattorin kuormituksen mukaan. (Musat – Helerea 2009.)

Kuvassa 32 on esitetty tyypillisen PTC-lämmittimen rakenne. Lämmitin koostuu muovisesta päätylevystä (1), sähköliittimestä (2) sekä alumiinista valmistettujen elementtien väliin sijoitetuista lämmitysvastuksista (3). Alumiinista valmistetut elementit siirtävät lämmitysvastuksien tuottaman lämmön lämmitinelementin läpi virtaavaan ilmaan ja toimivat samalla johtimina sähköliittimen ja lämmitysvastusten välillä. Vastusyksikkö sijoitetaan yleensä lämmityslaitteyksikön yhteyteen ja ilmapvirran kulkusuunnassa lämmönvaihtimen jälkeen. (Musat – Helerea 2009.)



*KUVA 32. PTC-lämmittimen rakenne (Musat – Helerea 2009)*

Yhteistä kaikille tämäntyyppisille lämmitysratkaisuille on se, että ne ottavat tarvitsemansa energian ajoneuvon omasta sähköjärjestelmästä. Jotta lämmittimillä saavutettaisiin mainittava lämmitysvaikutus, on niiden tehon oltava varsin suuri. Henkilöautokäytössä lämmittimien teho on yleensä 1–2 kW. Tämän vuoksi tämäntyyppisiä lämmittimiä voidaan käyttää vain moottorin käydessä. (Musat – Helerea 2009.)

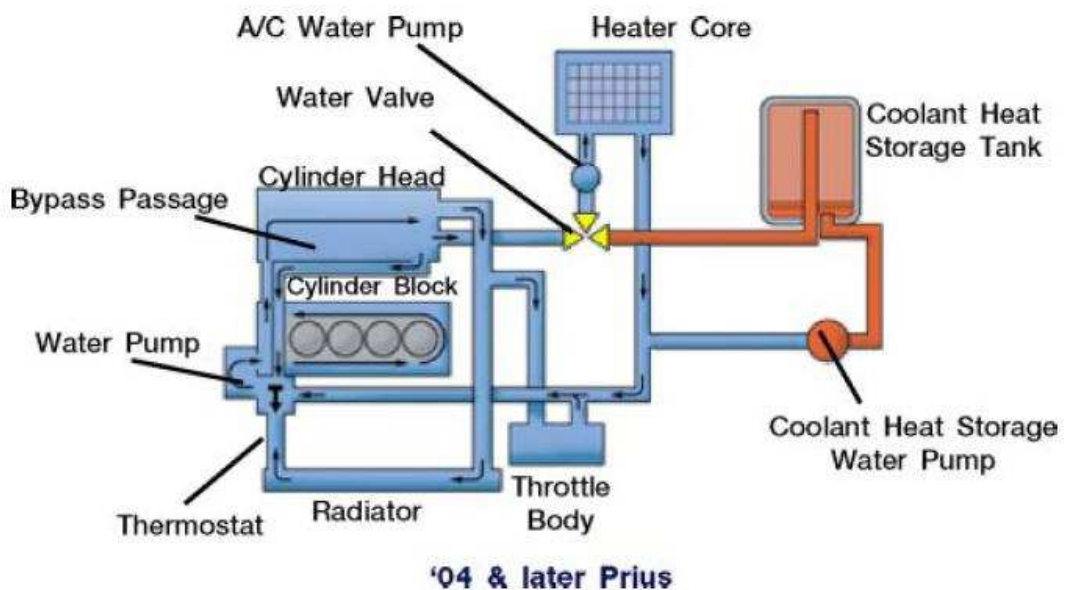
Tämäntyyppiset lämmittimet vaikuttavat ajoneuvon lämpenemiseen myös toisella tavalla. Lämmitysvastusten tarvitsema teho otetaan ajoneuvon sähköjärjestelmästä. Tämä nostaa moottorin kuormitusta, jolloin polttonesteen kulutus ja moottorin lämpenemisnopeus kasvavat. Jos generaattorin hyötysuhteeksi oletetaan 60 %, polttonesteen kulutus on 2,3 l/100km jokaista lämmittimen vaatimaa kilowattia kohden. (Laamanen 2010, 102.)

Lämmitysvastuksia käytettäessä polttonesteen kulutus kasvaa kaikissa käyttötilanteissa. Järjestelmä kuitenkin mahdollistaa lämmitetyn ilman puhaltamisen ohjaamoon välittömästi ajoneuvon käynnistyttyä, mikä lisää matkustusmukavuutta. Järjestelmä on yksinkertainen, kevyt ja edullinen, minkä vuoksi sen käyttö on yleistynyt avustavana lämmitysjärjestelmänä. (Musat – Helerea 2009.)

## 4.4 Lämmönvaraaja

Lämmönvaraajan avulla moottorin tuottamaa lämpöä pyritään säilyttämään seuraavaa käyttöä varten. Tämä kasvattaa moottorin ja ohjaamon lämpenemisnopeutta, sillä moottori voidaan käynnistettäessä esilämmittää varastoidulla lämmöllä. (Toyota. 2011.)

Yksinkertaisimmillaan lämmönvaraaja on jäähdytysjärjestelmään liitetty hyvin eristetty säiliö (kuva 33). Moottorin ollessa toimintalämpötilassaan varaajaan johdetaan kuumaa jäähdytysnestettä. Kun moottori sammutetaan, suljetaan varaajaan johtavassa putkessa oleva venttiili, jolloin neste ei pääse virtaamaan ulos varaajasta. (Toyota. 2011.)



KUVA 33. Lämmönvaraajan kytkentä jäähdytysjärjestelmään (Toyota. 2011)

Varaajana voidaan käyttää myös faasimuutosmateriaaleja hyödyntäviä lämpöakkuja, jolloin lämpö varastoidaan esimerkiksi suola-vesiseokseen. Tässä tapauksessa jäähdytysneste lämmittää akussa olevaa suolaa, joka nesteytyessään varastoi suuren määrän energiaa. Kun lämpöenergiaa

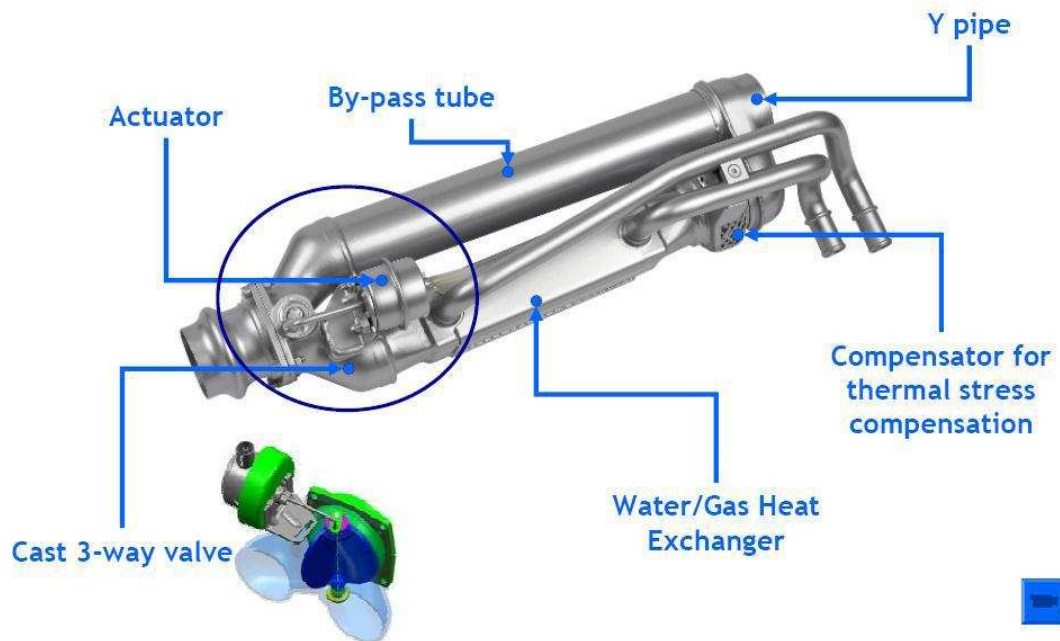
tarvitaan, johdetaan kylmä jäähdytysneste akkuun, jolloin suola luovuttaa varastoituneen energian ja kiinteytyy. (Laamanen 2010, 120–121.)

Lämmönvaraaja ei tuo jäähdytysjärjestelmään lämpöenergiaa, mutta kasvattaa moottorin lämpenemisnopeutta. Lämmönvaraaja voi pitää jäähdytysnesteen 80 °C lämpötilassa jopa kolme päivää. Laitteisto ja lisääntynyt jäähdytysnestetilavuus kasvattavat ajoneuvon massaa. Dieselkäyttöisissä moottoreissa esilämmitys ei merkittävästi alenna polttonesteen kulutusta, joten tällä järjestelmällä ajoneuvon kulutus kasvaa. Toisaalta nopeampi moottorin lämpeneminen kasvattaa ohjaamon lämpenemisnopeutta, mikä lisää matkustusmukavuutta. (Kalenoja – Lahti 1999; Toyota. 2011.)

#### **4.5 Pakokaasulämmönvaihdin**

Polttonesteen sisältämästä energiasta noin 30 % hukataan pakokaasujen mukana. Tätä lämpöenergiaa hyödyntäen voitaisiin muista lisälämmitysjärjestelmistä luopua kokonaan. (Kleimola – Pohjanpalo 1981, 108; Laamanen 2010, 131.)

Järjestelmä koostuu lämmönvaihtimesta ja pakokaasuvirtausta ohjaavasta venttiilistä (kuva 34). Venttiilillä voidaan pakokaasuvirta ohjata lämmönvaihtimen ohi, kun lämmitystä ei tarvita. (Laamanen 2010, 131.)



KUVA 34. Pakokaasulämmönvaihtimen rakenne (Barrieu – Rossi 2009)

Lämmönvaihdin ei aiheuta suurta virtausvastusta ja lämmönvaihdin voidaan ohittaa tilanteissa, joissa moottorilta vaaditaan suurin mahdollinen teho. Näin ollen se ei juurikaan lisää moottorin kuormitusta ja kasvata polttonesteen kulutusta. Vaikka järjestelmä lisää ajoneuvon massaa, saavutetaan sillä selvästi alhaisempi polttonesteen kokonaiskulutus kuin muilla lisälämmittimillä. (Laamanen 2010, 131–132.)

Uusien henkilöautojen autovero ja ajoneuvovero perustuvat ajoneuvon tuottamiin hiilidioksidipäästöihin kilometriä kohden siten, että alhaisemmat päästöt tuottavan ajoneuvon verotus on lievempää. Hiilidioksidipäästöarvo määritellään kokeiden avulla ajoneuvon tyyppihyväksynnän yhteydessä. Näissä kokeissa ei kuitenkaan oteta huomioon lisälämmittimien tuottamia hiilidioksidipäästöjä, mikä asettaa eri lisälämmitysjärjestelmät eriarvoiseen asemaan. Lisälämmittimien tuottamien päästöjen huomioiminen tekisi verotuksesta oikeudenmukaisemman ja kannustaisi ajoneuvovalmistajia kehittämään energiatehokkaampia järjestelmiä. Yksi näistä kehityskohteista on pakokaasujen sisältämän energian hyötykäyttö. (L 29.12.1994/1482; L 30.12.2003/1281; Laamanen 2010, 75.)

## 5 YHTEENVETO

Työssä selvitettiin, mitkä tekijät ovat vaikuttaneet siihen, ettei nykyaikainen dieselmoottori tuota jäähdytysjärjestelmään tarpeeksi hukkalämpöä moottorin ja ohjaamon lämmittämiseksi kylmissä olosuhteissa. Dieselmoottorien hyötysuhteen kasvamiseen ja hukkalämmön vähenemiseen on ollut vaikuttamassa useita tekijöitä.

Tärkein hyötysuhdetta parantava tekijä on ollut suoraruiskutuspalotilan ottaminen käyttöön. Sen avulla jäähdytyshäviöitä ja virtausvastusta palotilassa on saatu pienennettyä, ja se mahdollistaa edullisemman puristussuhteen käyttämisen. Suoraruiskutus vaatii kuitenkin paljon ruiskutusjärjestelmältä. Yksikköpumppujen ja yhteispaineruiskutuksen kehitys on mahdollistanut suoraruiskutuspalotilan käytön myös nopeakäyntisissä dieselmoottoreissa. Imuilman ahtamisen ansiosta moottorin teho suhteessa kokoon on kasvanut. Ahtamisella saavutettava suurempi ilmakerroin vaikuttaa myös moottorin termiseen hyötysuhteeseen edullisesti. Pientämällä moottorin iskutilavuutta ja vaihteiston välityssuhdetta saavutetaan yleensä pienempi ominaiskulutus.

Jäähdytysjärjestelmän perusrakenne on pysynyt ennallaan, mutta siihen liitetään yhä enemmän lisälaitteita. Voiteluöljyn lämmittäminen hidastaa moottorin lämpenemistä, mutta toisaalta kierrätettävien pakokaasujen jäähdytys nopeuttaa sitä. Siirtyminen sähkökäyttöisiin jäähdyttimen tuulettiin mahdollistaa tuulettimen käytön vain tarvittaessa, jolloin moottorin hyötyteho kasvaa.

Autojen korin muotoja optimoimalla on ilmanvastuskerrointa saatu laskettua. Ilmanvastus on ylivoimaisesti merkittävin ajovastuskomponentti suurilla nopeuksilla, joten sen optimoinnilla saavutetaan selvä polttonestekulutuksen laskeminen. Vierintävastus on pienentynyt renkaiden kehityksen myötä. Vierintävastuksen vaikutus kulutukseen on merkittävin pienillä nopeuksilla. Ajoneuvon massa vaikuttaa useaan ajovastuskomponenttiin, joten sitä

pienentämällä saavutetaan merkittävä kulutuksen aleneminen. Painon vähentäminen ei ole kuitenkaan muiden vaatimusten ohella helppoa.

Ajoneuvovalmistajat ovat pyrkineet ratkaisemaan hyötysuhteen kasvamisen mukanaan tuoman lämpenemisongelman lisälämmittimillä. Viimasuojilla voidaan kustannustehokkaasti vaikuttaa moottorin lämpenemiseen, mutta niiden käyttö ei ole ongelmaton. Polttonestekäyttöisten lämmittimien teho on suuri ja ne mahdollistavat muun muassa sähköverkosta riippumattoman esilämmityksen toteuttamisen. Polttonestekäyttöisten lämmittimien käyttö kuitenkin kasvattaa merkittävästi polttonesteen kulutusta. Lämmitysvastuksilla voidaan ohjaamon ilmaa lämmittää välittömästi ajoneuvon käynnistyttyä, mutta niiden teho on varsin rajallinen ja nekin lisäävät polttonesteen kulutusta.

Lämpöä varastoimalla voidaan moottorin lämpöä varastoida jopa useiden päivien ajaksi. Lämmön varastointi ei kuitenkaan auta tilanteissa, joissa moottorin tuottama hukkalämpö ei riitä moottorin ja matkustamon lämmittämiseen. Pakokaasujen energian hyödyntämisellä voitaisiin muista lisälämmitysratkaisuista luopua kokonaan. Lainsäädäntö ei kuitenkaan kannusta tämän energian hyödyntämiseen, minkä vuoksi ajoneuvovalmistajat ovat pysyneet perinteisissä lisälämmitysratkaisuissa.



## LÄHTEET

Barrieu, E. – Rossi, A. 2009. FAURECIA approach to Exhaust Heat Recovery: Present and future potential. Saatavissa: 3rd European Workshop – Mobile Air Conditioning, Vehicle Thermal Systems and Auxiliaries.

BorgWarner BERU Systems GmbH. 2011. Glow Plugs as Cooling Water Pre-Heater in Modern Diesel Cars. Saatavissa: <http://www.beru.com/english/produkte/gluehkerzen/gn.php>. Hakupäivä 7.4.2011.

Bosch 1987. Jakajapumppu, Tyyppi VE. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.

Bosch 1990. Dieselmootoreiden polttonesteenruiskutus. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.

Bosch 1999a. Yhteispaineruiskutusjärjestelmä (diesel) – Common Rail. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy.

Bosch 1999b. Diesel distributor fuel-injection pumps. Stuttgart: Robert Bosch GmbH.

Bosch 2003. Autoteknillinen taskukirja. 6. painos. Jyväskylä: Gummerus.

Cambustion Ltd. 2011. Exhaust Gas Recirculation (EGR) and Nox measurement. Saatavissa: <http://www.cambustion.com/egr>. Hakupäivä 21.4.2011.

Haataja, Mauri 2007. T331005 Autotekniikan perusteet 5 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2008. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Haataja, Mauri 2009. T332103 Polttomoottoritekniikka 1 3 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2009. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Huovila, Teppo 2010. EU:n uudet rengasmääräykset. Nokian Renkaat Oyj. Saatavissa:

[http://www.nokianrenkaat.fi/files/nokiantyres/muut\\_pdf/EU\\_rengassaadokset\\_20100309.pdf](http://www.nokianrenkaat.fi/files/nokiantyres/muut_pdf/EU_rengassaadokset_20100309.pdf). Hakupäivä 25.4.2011.

Ilomäki, Janne 2010a. T333903 Moottorilaboratorion mittaukset 3 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2010. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Ilomäki, Janne 2010b. T333503 Koritekniikka 3 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2010. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Kalenoja, Hanna – Lahti, Elina 1999. Henkilöautojen kylmäkäynnistysten vähentäminen. Saatavissa: <http://www.tts.fi/tts/linkki2/files/julk08.pdf>. Hakupäivä 19.4.2011.

Kleimola, Matti – Pohjanpalo, Yrjö 1981. Dieselmoottori. Helsinki: KK laakapaino.

Laamanen, Mikko 2010. Ilmastointijärjestelmän vaikutus ajoneuvojen energiankulutukseen. Espoo: Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Diplomityö.

L 29.12.1994/1482. Autoverolaki.

L 30.12.2003/1281. Ajoneuvoverolaki.

Musat, R. – Helerea, E. 2009. New solutions for improving the vehicle heating system. Saatavissa:  
[http://but.unitbv.ro/BU2009/BULETIN2009/Series%20I/BULETIN%20I%20PDF/Electrical%20Engineering,%20Electronics%20and%20Automatics/Musat%20R\\_09.pdf](http://but.unitbv.ro/BU2009/BULETIN2009/Series%20I/BULETIN%20I%20PDF/Electrical%20Engineering,%20Electronics%20and%20Automatics/Musat%20R_09.pdf). Hakupäivä 7.4.2011.

Neste Oil Oyj. 2007. Dieselpolttoaineopas. Saatavissa:  
<http://www.neste.fi/binary.aspx?path=2589;2655;2710;2734;2739;3361;3558;3559&page=3559&field=FileAttachment&version=4>. Hakupäivä 13.4.2011.

Robert Bosch LLC. 2011. Common rail system: Types. Saatavissa:  
[http://rkwin.bosch.com/fi/en/powerconsumptionemissions/dieselsysteme/dieselsystem/passenger-car/technology/injection\\_systems/commonrailsystem/crs\\_pkw\\_types.html](http://rkwin.bosch.com/fi/en/powerconsumptionemissions/dieselsysteme/dieselsystem/passenger-car/technology/injection_systems/commonrailsystem/crs_pkw_types.html). Hakupäivä 13.4.2011.

Toyota. 2011. Technical articles, series-hybrid. Saatavissa:  
<http://www.autoshop101.com/forms/Hybrid04.pdf>. Hakupäivä 23.4.2011.

Wihuri Oy Autola. 2008. Eberspächer polttonestelämmittimien esite. Saatavissa:  
[http://www.autola.fi/tuoteryhmat/ajoneuvolammittimet/fi\\_FI/etusivu/\\_files/78635320053138734/default/Yleisesite%202008.pdf](http://www.autola.fi/tuoteryhmat/ajoneuvolammittimet/fi_FI/etusivu/_files/78635320053138734/default/Yleisesite%202008.pdf). Hakupäivä 18.4.2011.

Ruiskutusjärjestelmä Rakennelaji	Ruiskutus				Moottorikohtaiset tiedot			
	Ruiskutusmäärä /isku mm <sup>3</sup>	Maksimi ruiskutusaine suuaukolla bar	Mekaaninen Elektroninen Elektromeekaaninen	DI Suoraruiskutus IDI Ruiskutus etukammioon	VE Esiruiskutus NE Jälkiruiskutus	Sylinteriluku	Maksimi pyörintänopeus min <sup>-1</sup>	Maksimi teho/ sylinteri kW
<b>Rivipumput</b>								
M	60	550	m,e	IDI	-	4...6	5000	20
A	120	750	m	DI / IDI	-	2...12	2800	27
MW	150	1100	m	DI	-	4...8	2600	36
P 3000	250	950	m,e	DI	-	4...12	2600	45
P 7100	250	1200	m,e	DI	-	4...12	2500	55
P 8000	250	1300	m,e	DI	-	6...12	2500	55
P 8500	250	1300	m,e	DI	-	4...12	2500	55
H 1	240	1300	e	DI	-	6...8	2400	55
H 1000	250	1350	e	DI	-	5...8	2200	70
<b>Aksiaalimäntäjakajapumput</b>								
VE	120	1200/350	m	DI / IDI	-	4...6	4500	25
VE...EDC 1)	70	1200/350	e,em	DI / IDI	-	3...6	4200	25
VE...MV	70	1400/350	e,MV	DI / IDI	-	3...6	4500	25
<b>Säteismäntäjakajapumput</b>								
VR...MV	135	1700	e,MV	DI	-	4,6	4500	37
<b>Yksikköpumput</b>								
PF(R)...	150... 18000	800... 1500	m,em	DI / IDI	-	vapaasti määrättävä	300... 2000	75... 1000
UI 30 <sup>2)</sup>	160	1600	e,MV	DI	VE	8 <sup>3a)</sup>	3000	45
UI 31 <sup>2)</sup>	300	1600	e,MV	DI	VE	8 <sup>3a)</sup>	3000	75
UI 32 <sup>2)</sup>	400	1800	e,MV	DI	VE	8 <sup>3a)</sup>	3000	80
UI-P1 <sup>3)</sup>	62	2000	e,MV	DI	VE	6 <sup>3a)</sup>	5000	25
UP 12 <sup>4)</sup>	150	1600	e,MV	DI	VE	8 <sup>3a)</sup>	2600	35
UP 20 <sup>4)</sup>	400	1800	e,MV	DI	VE	8 <sup>3a)</sup>	2600	70
UP (PF[R])	3000	1400	e,MV	DI	-	6...20	1500	500
<b>Yhteispaineruiskutusjärjestelmä Common Rail</b>								
CR <sup>5)</sup>	100	1350	e,MV	DI	VE <sup>5a)</sup> /NE	3...8	5000 <sup>5b)</sup>	30
CR <sup>6)</sup>	400	1400	e,MV	DI	VE <sup>6a)</sup> /NE	6...16	2800	200

1) EDC Electronic Diesel Control (elektroninen dieselsäätö), 2) UI pumppusuutinyksikkö hyötyajoneuvoille, 3) UI henkilöautoille, <sup>3a)</sup> kahdella ohjainlaitteella myös useampisylinterisille, 4) UP pumppuputkisuutin hyötyajoneuvoille, 5) CR 1. sukupolvi henkilöautoille ja kevyille hyötyajoneuvoille, <sup>5a)</sup> 90 kW:n tehoon asti vapaasti valittavissa EYKK, <sup>5b)</sup> 5500 min<sup>-1</sup>:iin asti moottorijarrutuksessa, 6) CR kuorma- ja linja-autoille sekä veturin moottoreihin, <sup>6a)</sup> 30° EYKK.



**Ruiskutusventtiili (periaate)**

**a** Ruiskutusventtiili suljettuna (lepotilanne)

**b** Ruiskutusventtiili auki (ruiskutus käynnissä)

1 Polttonesteen paluuliitäntä  
2 Sähköliitäntä

3 Ohjausosa (magneettiventtiili)

4 Polttonesteen tuloliitäntä (korkeapaine varaajalta)

5 Venttiilin kuula  
6 Poistokuristin

7 Tulokuristin

8 Venttiilin ohjaustila

9 Venttiilin ohjausmäntä

10 Tulokanava suuttimelle

11 Suutinneula

