

Markku Ikonen

AJA TALOUDELLISESTI

AJONEUVON, KULJETTAJAN JA OLOSUHEIDEN
VAIKUTUS POLTTOAINEENKULUTUKSEEN



Markku Ikonen

AJA TALOUDELLISESTI

AJONEUVON, KULJETTAJAN JA OLOSUHEIDEN
VAIKUTUS POLTTOAINEENKULUTUKSEEN

trans^{eeo}



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Turun ammattikorkeakoulun oppimateriaaleja 80

ISBN 978-952-216-392-9 (painettu)

ISSN 1457-7933 (painettu)

Painopaikka: Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi 2013

Myynti: loki.turkuamk.fi

ISBN 978-952-216-393-6 (PDF)

ISSN 1796-9972 (elektroninen)

Jakelu: loki.turkuamk.fi

Valokuvat: Markku Ikonen

Kannen kuva: Scanstockphoto

Taitto ja graafinen suunnittelu: Ulriikka Lipasti, Turun Etusivu Oy

SISÄLTÖ

Alkusanat	7
1 Taloudellisen ajamisen hyödyt	9
2 Polttoaineenkulutus ja pakokaasupäästöt	15
2.1 CO ₂ , muut päästökomponentit ja vähäpäästöisyys.....	16
2.2 CO ₂ -päästön ja polttoaineenkulutuksen välinen yhteys.....	18
3 Polttoaine-energiasta liike-energiaksi	21
3.1 Yleistä energiasta.....	22
3.2 Energian muunnosprosessi ajoneuvossa.....	22
3.3 Polttoaineenkulutuksen muodostuminen.....	24
4 Polttoaine-energian jakautuminen	27
4.1 Häviöt ja ajovastuslajit.....	28
4.2 Ilmanvastus.....	31
4.3 Vierintävastus.....	32
4.4 Ilman- ja vierintävastuksen välinen suhde.....	34
4.5 Kiihdytysvastus.....	36
4.6 Nousuvastus.....	38
5 Auton kiihdyttäminen	41
5.1 Kiihdyttämiseen tarvittava energia.....	42
5.2 Moottorin hyötysuhteen vaihtelu.....	42
6 Polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät	47
6.1 Auto, kuljettaja ja olosuhteet.....	48
6.2 Yksittäistekijät päätekijöittäin.....	50
6.3 Yksittäistekijät vaikutusmekanismeittain.....	52

7 Auton vaikutus polttoaineenkulutukseen.....	55
7.1 Ajoastukset.....	56
7.2 Hyötysuhteet.....	58
7.3 Eco-moodi ja sen käyttö.....	60
8 Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen.....	63
8.1 Liikennetilanteiden ennakointi.....	64
8.2 Ajonopeus.....	68
8.3 Vaihteiden käyttö.....	76
8.4 Kiihdytystapa.....	79
8.5 Hidastustapa.....	84
8.6 Vierintävastukseen vaikuttaminen.....	90
8.7 Ajoreitin valinta.....	94
8.8 Ajoajankohdan valinta.....	96
8.9 Joutokäynti.....	98
8.10 Kylmäkäynnistyksen käyttö.....	100
8.11 Auton massan ja liikkeen hyödyntäminen.....	102
8.12 Tuulen huomioonottaminen.....	110
8.13 Moottorilämmittimen käyttö.....	112
8.14 Auton apulaitteiden käyttö.....	117
8.15 Auton lämmityslaitteen käyttö.....	120
9 Olosuhteiden vaikutus polttoaineenkulutukseen.....	125
9.1 Ajoreitin pysähtymistarpeet.....	126
9.2 Tuulen nopeus ja suunta.....	130
9.3 Kyydissä oleva kuorma.....	134
9.4 Maanpinnan korkeuserot.....	139
9.5 Tien pinta.....	142
9.6 Kylmäkäynnistyslämpötila.....	144
9.7 Liikenneympäristön suunnittelu.....	147
9.8 Ilman lämpötila ja paine.....	152

10	Hybridiautojen erityispiirteet	155
10.1	Yleistä	156
10.2	Hybridin taloudellisuuden syyt	160
10.3	Hybriditekniikan taloudellisuuspotentiaalin arviointia	165
10.4	Optimaalinen kaupunkiajo Toyota Priuksella	169
10.5	Käytännön kokemuksia hybridiautosta	180
11	Taloudellisen ajotavan mahdollistama säästö	183
11.1	Bensiinautot	184
11.2	Dieselautot	186
11.3	Kokonaissäästöt	187
	Yhteenveto	189
LIITE 1	Virallinen EU-normisykli ja virallisten kulutuslukemien vastaavuus käytäntöön	192
	Päästö- ja kulutustestauksen toteutus	
	Virallisiin testituloksiin liittyviä laskentaesimerkkejä	
	Manuaali- ja automaattivaihteiston välinen kulutusero	
	Todellisen kulutuksen ja normikulutusten välinen riippuvuus	
LIITE 2	Joutokäyntikulutuksen määrittäminen auton ajotietokoneen avulla	202
LIITE 3	Etanolia sisältävän polttoaineen vaikutus kulutukseen	204
LIITE 4	Sähköenergian riittävyys sähköautoille	206

TAULUKOT

Taulukko 2.1	Virallisten CO ₂ -päästöarvojen vertailu laskennallisiin arvoihin.....	19
Taulukko 4.1	Moottoritehon ja -energian jakaantuminen 80, 100 ja 120 km/h vakionopeuksilla tasamaalla (VW Golf 1.6 FSI, viides mallisukupolvi).....	31
Taulukko 4.2	Nousuvastuksen aiheuttama tehontarve ja kulutus VW Golfilla, 80 km/h.....	39
Taulukko 6.1	Kulutukseen vaikuttavat yksittäistekijät päätekijöittäin.....	51
Taulukko 6.2	Kulutukseen vaikuttavat yksittäistekijät vaikutusmekanismeittain.....	52
Taulukko 8.1	Ajonopeuden vaikutus polttoaineenkulutukseen VW Golf, viides mallisukupolvi, 1.6 FSI -bensiniinimoottori.....	70
Taulukko 8.2.	Polttoaineenkulutus [l/100 km] eri rullausnopeuksilla eri joutokäyntikulutuksen [l/h] arvoilla.....	87
Taulukko 8.3	Korkeuseroista johtuvan potentiaalienergian vastaavuus eri ajonopeuksilla vallitsevaan liike-energiaan.....	108
Taulukko 8.4	Motivan suosittemat sähkökäyttöisten moottorinlämmittimen käyttöajat eri ulkolämpötiloissa.....	113
Taulukko 9.1	VW Golf 1.6 FSI:n polttoaineenkulutus tyynellä säällä sekä 20 km/h nopeudella puhaltavaan vasta- ja myötätuuleen ajettaessa, ajonopeus 80 km/h.....	131
Taulukko 9.2	Lisäkuorman 50–400 kg aiheuttamat kulutuslisät 50 kg:n portain VW Golf 1.6 FSI:llä vakionopeuksilla 60–120 km/h.....	135
Taulukko 9.3	Lisäkuorman 50–400 kg aiheuttamat kulutuslisät VW Golf 1.6 FSI:llä EU-normitestissä.....	136
Taulukko 9.4	Ilmanpaineen ja lämpötilan vaikutus ilman tiheyteen ja sitä kautta ilmanvastukseen.....	152
Taulukko 10.1	Eri ajotapojen aikaansaamat polttoaineenkulutustasot Toyotan hybriditeknikkaa hyödyntämällä kaupunkiajossa verrattuna perustapaukseen.....	167
Taulukko 11.1	Taloudellisen ajotavan mahdollistamien säästöjen minimi- ja maksimiskenaariot bensiini- ja dieselautoissa sekä molemmissa yhteensä.....	187

ALKUSANAT

Ajoneuvon energiantarpeeseen eli polttoaineenkulutukseen vaikuttavat kolme päätekiötä, jotka ovat ajoneuvo, olosuhteet sekä kuljettaja. Näistä ajoneuvon osuutta usein ylikorostetaan, olosuhteiden merkitystä aliarvioidaan, ja kuljettajan osuus lähes unohdetaan.

Ajoneuvo vaikuttaa polttoaineenkulutukseen ajovastusten ja hyötysuhteiden kautta. Ajovastukset ovat käytännössä auton kiihdyttämiseen ja liikuttamisen tarvittavat voimat. Ajovastusvoimista ja ajonopeuksista muodostuvat tarvittavat tehot, ja tehoista sekä ajasta muodostuu ajomatkan aikana kuluva energia. Hyötysuhteisiin puolestaan kuuluvat sekä moottorin, voimansiirron että apulaitteiden hyötysuhteet.

Kuljettaja voi vaikuttaa sekä tietyn matkan ajamiseksi tarvittavaan energiaan että moottorin hyötysuhteeseen. Esimerkiksi auton vetopyörien tekemä työ eli tarvittava energia vaihtelee runsaasti eri kuljettajien välillä erityisesti kaupunkiliikenteessä, vaikka matka, reitti sekä käytetty aika olisivat samat. Samoin eri kuljettajien välille muodostuu eroja matkan aikana vallitsevilla moottorin hyötysuhteilla, koska hyötysuhde vaihtelee runsaasti moottoria eri tavoin käytettäessä.

Olosuhteet muodostuvat muun muassa liikenneympäristöstä, muusta liikenteestä, ilman lämpötilasta, tien pinnasta, tuulen nopeudesta ja suunnasta sekä maaston korkeusvaihteluista. Vaikka monet olosuhdetekijöistä ovat kuljettajan vaikutuspiirin ulkopuolella, hänellä on mahdollisuus vaikuttaa osaan niistä tai ainakin siihen, miten ne vaikuttavat kulutukseen.

Ajoneuvoliikenteessä kulutettu polttoaine eli poltetun fossiilisen hiilen määrä on suoraan verrannollinen ilmastonmuutosta aiheuttavan hiilidioksidin päästöön. Polttoaineenkulutuksen vähentäminen alentaa suoraan tämän tärkeimmän kasvihuonekaasun päästöjä. Samalla syntyy taloudellisia säästöjä sekä



yksittäisille auton käyttäjille että yhteiskunnalle. Fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen antaa myös lisääikaa vaihtoehtoisten polttoaineiden sekä uusien voimalaitteiden kehittämiselle. Näiden kehittäminen on välttämätöntä, koska raakaöljy on rajallinen luonnonvara.

Turun ammattikorkeakoulussa toteutetun laajan polttoaineenkulutustutkimuksen tuloksina havaittiin, että tekniikan kehityksen ansiosta on viime vuosina onnistuttu parantamaan ajoneuvojen voimalinjan hyötysuhdetta. Ajovastusten alentamisessa on onnistuttu osittain, mutta kulutusta ajatellen auton keventämisessä sekä erityisesti kuljettajien toiminnassa on jäljellä runsaasti hyödynnettävää säästöpotentiaalia.

Tämän kirjan tavoitteena on kuvata ajoneuvojen polttoaineenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä sekä niiden välisiä suhteita. Erityisesti pyritään esittelemään ja konkretisoimaan kuljettajan vaikutusmahdollisuuksia polttoaineenkulutuksen minimoinnissa. Tätä kirjaa kirjoitettaessa on uutisoitu huippukorkeista polttoaineiden hinnoista. Polttoaineenkulutuksen kustannusvaikutus on kasvanut ja kasvaa edelleen.

Kirja on syntynyt VTT:n koordinoiman TransEco-tutkimusohjelman kautta kanavoidulla liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) rahoituksella. Kirja sisältää tekstimuotoisten esimerkkien lisäksi mallilaskelmia polttoaineenkulutuksesta sekä eri muuttujien vaikutuksesta siihen. Esimerkkiautona on käytetty VW Golfia, sen viidettä mallisukupolvea, koska ko. automalli on yleinen ja sitä pidetään edustamansa autotyypin (ns. Golf-luokka) kantaisänä. Lisäksi tästä Golf-sukupolvesta on ollut tietoa saatavilla hyvin. Hybridiauton esimerkkitapaukseksi valikoitui Toyota Prius, koska se edustaa valtaosaa maailman hybridiautoista ja kirjoittajalla on siitä 7 vuoden henkilökohtainen kokemus.

Kirjan useimpien lukujen loppuun on lisätty Tästä on kysymys -tekstilaatikko, joka sisältää kyseisen luvun tärkeimmät asiat tiivistettynä.

Turussa syyskuussa 2013

Markku Ikonen

DI, lehtori, Turun ammattikorkeakoulu

1 TALOUDELLISEN AJAMISEN HYÖDYT

Taloudellista ajotapaa noudattamalla hillitään ilmastonmuutosta, vähennetään riippuvuutta öljystä sekä pienennetään ajamisen kustannuksia. Nämä hyödyt voidaan saavuttaa varsin vähäisen opettelun tuloksena.

I TALOUDELLISEN AJAMISEN HYÖDYT

Taloudellinen ajaminen vähentää poltettavan polttoaineen määrää ja sitä kautta suoraan tärkeimmän kasvihuonekaasun, hiilidioksidin, päästöjä. Ajamalla taloudellisesti saavutetaan suoraan ympäristöhyötyjä. Samalla ajoneuvon käyttämisestä aiheutuvat kustannukset pienevät. Polttoainetankin maksamiseen tarvittava rahamäärä ei muutu, mutta tankkaamassa tarvitsee käydä entistä harvemmin.

Ajoneuvoliikenteen osuus ihmisen tuottamista CO₂- eli hiilidioksidipäästöistä on kansainvälisen energiajärjestön IEA:n vuoden 2011 tilastojen mukaan maailmanlaajuisesti 23 %. Suomessa vastaava luku on Tilastokeskuksen mukaan 18 %. Ajoneuvoliikenne on siis merkittävä CO₂-päästöjen lähde. Liikenteen CO₂-päästöihin vaikuttaminen on tärkeää ilmastonmuutoksen torjunnassa, koska liikenneperäinen CO₂, päinvastoin kuin monen muun ihmisen toiminnan tuottama, kasvaa jatkuvasti.


Kasvihuoneilmiön voimistumisessa ja siitä aiheutuvassa ilmastonmuutoksessa on kyse siitä, että ilmakehä pidättää entistä enemmän auringon lämpöä maan pinnalla eli vähentää sen karkaamista avaruuteen. Merkittävimpänä tekijänä ilmakehän lämmönpitävyyden lisääntymisessä pidetään ihmisen toiminnan aiheuttamaa hiilidioksidia, joka syntyy hiilipitoisten fossiilisten polttoaineiden polttamisen tuloksena. Seurauksena on lämpöi-

lan nousu sekä siitä aiheutuva ilmaston sekä säätilojen muuttuminen ei-toivottuine moninaisine seurauksineen, joita ei täydellisesti pystytä edes ennustamaan.

Liikennepolttoaineina käytettävät bensiini ja diesel koostuvat lähes pelkästään hiilestä ja vedystä. Hiilivetypolttoaineen täydellisessä palamisessa polttoaineen hiili hapettuu hiilidioksidiksi ja vety vedeksi. Koska hiilidioksidipäästö on suoraan riippuvainen poltetun hiilen eli polttoaineen määrästä, CO₂-päästöistä puhuttaessa puhutaankin itse asiassa polttoaineenkulutuksesta.

Hiilidioksidia ei voida puhdistus- tai muilla menetelmillä poistaa ajoneuvon pakokaasuista. Näin ollen ainoaksi keinoksi ajoneuvoliikenteen aiheuttaman kasvihuonevaikutuksen hillinnässä jää biopolttoaineiden käyttöönoton ohella fossiilisen hiilen polttamisen vähentäminen. Näistä kahdesta polttamisen vähentämisellä on ilmeisesti suurempi vaikutus ainakin lyhyellä ajanjaksolla.

Keinoja polttamisen vähentämiseksi ovat autojen polttoaineenkulutuksen (l/100 km) alentaminen sekä ajosuoritteen eli ajettujen kilometrien vähentäminen. Polttoaineen kokonaiskäyttöhän muodostuu näiden kahden luvun kertolaskun tuloksena. Polttoaineenkulutuksen alentamisessa avaintekijöitä ovat autonvalmistajien vastuulla oleva autojen energiatehokkuuden parantaminen

A photograph of a dark tunnel with cars and lights. The tunnel is dimly lit with small lights on the ceiling and the headlights of cars. The cars are moving away from the camera, and their taillights are visible. The tunnel walls are dark and textured.

*”Ainoaksi keinoksi
ajoneuvoliikenteen aiheuttaman
kasvihuonevaikutuksen hillinnässä jää
biopolttoaineiden käyttöönoton ohella
fossiilisen hiilen polttamisen
vähentäminen.”*

sekä kuljettajan vastuulla oleva järkevän ja taloudellisen ajotavan omaksuminen ja hyödyntäminen.

Polttoaineenkulutuksen vähentyessä saavutetaan hiilidioksidipäästöjen vähenemisen lisäksi myös taloudellisia hyötyjä sekä yksittäisten ajoneuvon käyttäjien että yhteiskunnan kannalta. Yhteiskunnalliset hyödyt ovat erityisen merkittäviä tuontiöljystä riippuvissa maissa.

CO₂-päästöjen vähentämisen ja taloudellisuus-hyötyjen lisäksi polttoaineen säästöön kannustavat myös öljyn saatavuuteen sekä hintaan liittyvät epävarmuustekijät. Näiltä pyritään suojautumaan sekä energiankulutuksen alentamisella että öljyriippuvuuden vähentämisellä pyrkimällä siirtymään korvaaviin polttoaineisiin. Pitkällä aikavälillä polttoaineiden käytön vähentämiseen kannustaa erityisesti epävarmuus öljyn riittävydestä tulevaisuudessa. Raakaöljy on rajallinen luonnonvara, joten on ilmeistä, että joskus tulevaisuudessa järkevillä ponnistuksilla hyödynnettävissä olevat öljyvarat on käytetty loppuun.

Ennusteet öljyn loppumisen ajankohdasta vaihtelevat, koska sekä kysyntään että tarjontaan liittyviä muuttujia on paljon. Jos kysyntä kasvaa ennakoitua hitaammin ja tarjontaa pystytään pitämään yllä ennakoitua kauemmin, öljy loppuu selvästi myöhemmin kuin päinvastaisessa tapauksessa. Varmaa tietoa asiasta ei ole, koska asiaan vaikuttavat tekijät muuttuvat ajan kuluessa. Viime aikojen uutiset USA:n liuskekaasun ja -öljyn lisääntyneistä hyödyntämismahdollisuuksista saattavat vaikeuttaa öljyn riittävyyden ennustettavuutta entisestään.

Kun tähdätään öljytuotteiden kulutuksen maksimaaliseen vähentämiseen, tulee huomio kohdistaa kaikkiin asiaan vaikuttaviin tekijöihin. Paras lopputulos saadaan yhdistämällä kunkin eri tekijän kenties pienet – mutta yhteenlaskettuna merkittävät – vaikutukset.

Yksittäisen kuljettajan mahdollisuudet alentaa polttoaineenkulutustaan riippuvat siitä, kuinka taloudellinen on hänen ajotapansa. Mitä epätaloudellisempi kuljettajan oma ajotapa on, sitä suurempaan säästöön voidaan koulutuksella päästä. Ajotapakoulutuksella on aikaansaatu tyypillisesti 10–40 %:n polttoaineensäästö kaupunkityyppisessä ajossa. Keskimääräinen tilastollinen säästö on yleensä noin 20 %. Säästämiseen kannustaa se, että useimmissa tapauksissa taloudellisempi ajotapa ei välttämättä edes pidennä matkaa kuluaa aikaa ainakaan kaupunkiolosuhteissa.

Tässä teoksessa keskitytään ajoneuvojen matkaa kohti lasketun polttoaineenkulutuksen vähentämismahdollisuuksiin erityisesti kuljettajan näkökulmasta, eikä pyritä etsimään keinoja ajosuoritteen vähentämiseksi. Kirjassa on esitelty ajoneuvojen polttoaineenkulutukseen erityyppisissä tilanteissa vaikuttavia lukuisia tekijöitä sekä niiden merkittävyyttä eli keskinäisiä määräsuhteita. Taustana on osana laajempaa kulutustutkimuskokonaisuutta laadittu vetopyöräenergian laskentamenetelmä sekä ajoneuvojen liikedynamiikan ja polttomootoritekniikan teorian hyödyntäminen.

Vaihtoehtoisista maantieliikenteen energiamuodoista käsitellään lyhyesti etanolia sekä sähköä. Etanolin käyttöön liittyviä seikkoja sekä matala- että

korkeaseosteisena ottomoottoripolttoaineena esitellään liitteessä 3. Tarvittavan sähköenergian ja -tehon määrää bensiinin ja dieselpolttoaineen teoreettisena korvaajana käsitellään liitteessä 4.



Luku 1: Taloudellisen ajamisen hyödyt

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Polttoaineenkulutukseen vaikuttavat auto, ajo-olosuhteet (ajotehtävä) sekä kuljettaja.
- ☛ Ilmastonmuutosta kiihdyttävä CO₂-päästö on suoraan riippuvainen polttoaineenkulutuksesta, eikä hiilidioksidia voida puhdistaa pakokaasuista.
- ☛ Liikenteen CO₂-päästöjä voidaan vähentää vähentämällä polttoaineiden käyttöä sekä siirtymällä biopolttoaineisiin.
- ☛ Polttoaineiden käyttöä voidaan vähentää vähentämällä kulutusta sekä ajettuja kilometrejä.
- ☛ Kirjan tavoitteena on antaa lukijalle yleiskäsitys polttoaineenkulutukseen vaikuttavista tekijöistä sekä erityisesti kuljettajan mahdollisuuksista vähentää kulutusta.

2 POLTTOAINEENKULUTUS JA PAKOKAASUPÄÄSTÖT

Viime aikojen päästökeskustelu on painottunut CO₂:een, vaikka muutkin päästökomponentit ovat edelleen olemassa. CO₂-päästö ja siitä riippuva verotus perustuvat suoraan polttoaineenkulutukseen.

2 POLTTOAINEENKULUTUS JA PAKOKAASUPÄÄSTÖT

2.1 CO₂ MUUT PÄÄSTÖKOMPONENTIT JA VÄHÄPÄÄSTÖISYYS

Polttoaineenkulutus eli poltettavan hiilen määrä vaikuttaa suoraan hiilidioksidipäästöön. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvamisen tiedetään olevan tärkein tekijä ilmastonmuutoksen taustalla. Hiilidioksidia (CO₂) ei ole aiemmin pidetty haitallisena, koska se on myrkytön hiilen täydellisen palamisen lopputuote. Hiilidioksidi vaikuttaa globaalisti: on merkityksetöntä, missä kohtaa maapalloa sitä päästetään koko planeetan yhteiseen ilmakehään.

Hiilidioksidin lisäksi polttomoottori tuottaa myös sellaisia päästökomponeentteja, joiden määrä ei ole yhtä selvästi polttoaineenkulutuksesta riippuva. Esimerkiksi hiilimonoksidi eli häkä (CO) on luonteeltaan erilainen kuin CO₂. Häkä vaikuttaa ilmanlaatuun vain paikallisesti ja lyhytaikaisesti, koska se muuttuu ajan myötä hiilidioksidiksi. Häkäkaasu on vajaalla hapella tapahtuvan osittaisen palamisen ei-toivottu lopputuote, joka on vaarallinen, koska se estää hapen kulkua ihmisen verenkierrossa.

Suuri ero CO:n ja CO₂:n välillä on myös se, että häkä pystytään, päinvastoin kuin hiilidioksidi, poistamaan puhdistimilla pakokaasuista lähes täysin. Pakoputkeen sijoitettu katalysaattori muuttaa häkäkaasua juuri hiilidioksidiksi.

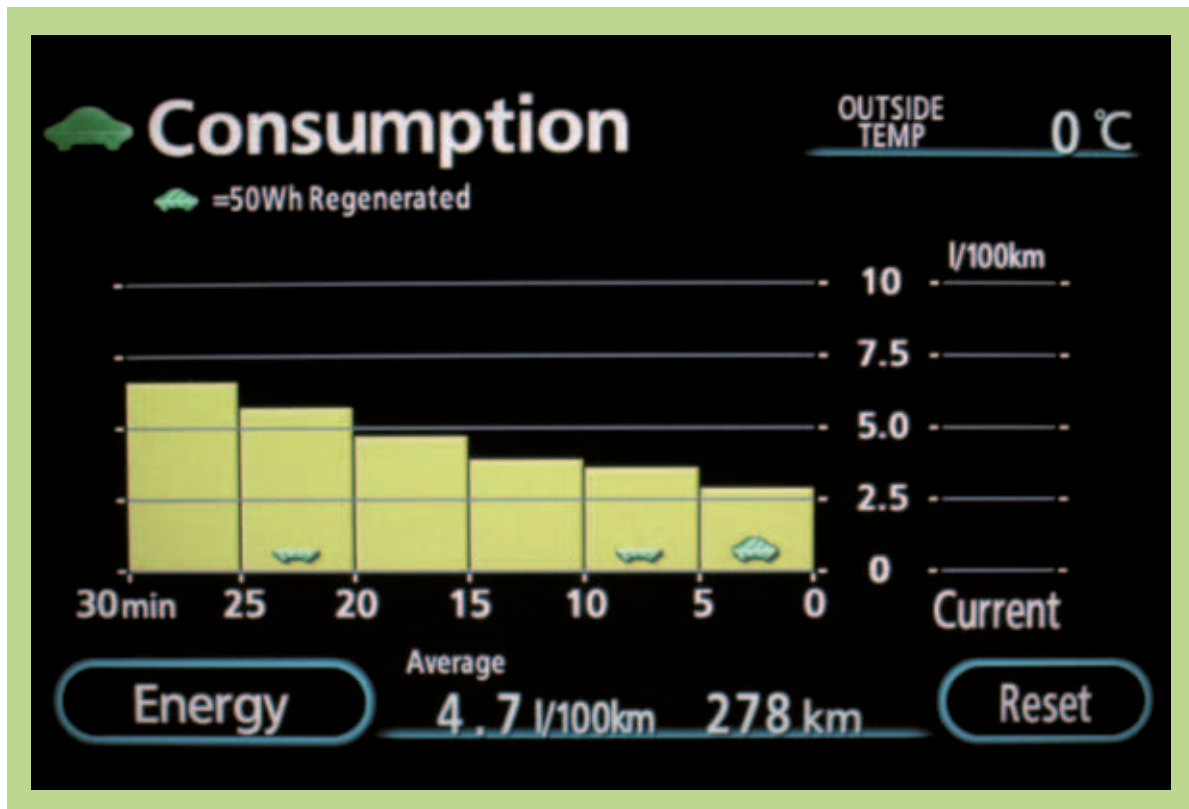
Tavallisten autonkäyttäjien keskuudessa vallitsee

epätietoisuutta ajoneuvomoottorien päästöistä. Julkisessa keskustelussa CO₂ on nostettu viime aikoina ylikorostuneesti esille unohtaen, että myös paikalliseen ilmanlaatuun vaikuttavat päästökomponeentit ovat edelleen olemassa, vaikka niistä ei nykyään paljon puhuta. Nämä jo kauan pakokaasulainsäädännön piirissä olleet komponentit ovat häkä (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x) sekä hiukkaset eli partikkelit (PM).

Ilahduttavasti nämä ns. lähipäästöt ovat ratkaisevasti vähentyneet parin viime vuosikymmenen aikana. Taustalla on hyvin edennyt tekninen kehitys sekä moottori-, polttoaine-, että pakokaasunpuhdistintekniikan alalla. Bensiinimoottorien osalta tilanne on ollut hyvä jo pitkään, sen sijaan dieselmoottorille ongelmallisten NO_x- ja hiukkaspäästöjen hallinta on vielä kehittyvässä vaiheessa.

Nykyisin *vähäpäästöisyyttä* pidetään julkisessa keskustelussa ylevänä ja tavoiteltavana asiana, ja esimerkiksi automainonnassa tätä termiä pidetään korostuneesti esillä. Vähäpäästöisyydestä puhumisen tekee kuitenkin epätäsmälliseksi ja jopa arveluttavaksi se, että keskustelun aiheena on yleensä vain CO₂, joka on ainoastaan yksi monista pakokaasussa esiintyvistä päästökomponeenteista.

Nykyisin puhutaan yleisesti, että auto- ja ajoneuvo-vero määräytyvät Suomessa kunkin automallin



päästöjen perusteella, vaikka veron perusteena on ainoastaan yksi lukuisista polttomoottorin toiminnassa syntyvistä päästökomponeenteista. Lisäksi tämä yksi, CO₂, on luonteeltaan ja syntymekanismiltaan hyvin erilainen muihin päästökomponeentteihin verrattuna. Näin muun muassa siksi, että sitä ei voida, päinvastoin kuin muut komponentit, puhdistaa pakokaasuista, eikä sen päästöön vaikuta mikään muu tekijä kuin poltetun fossiilisen hiilen eli

käytännössä käytetyn polttoaineen määrä.

Edellä mainittuun perustuen olisikin loogisempaa ja vähemmän harhaanjohtavaa käyttää ilmaisua, että auto- ja ajoneuvoverot määräytyy *polttoaineenkulutuksen* eikä *päästöjen* perusteella. Samoin olisi johdonmukaisempaa puhua *vähäkulutuksista* autoista *vähäpäästöisyyden* sijaan, jos puhutaan vain hiilidioksidista.

Henkilöautomainonnassa on EU:n määräysten mukaan oltava esillä automallikohtaiset virallisesti mitatut kulutuslukemat (kaupunki-, maantie- sekä yhdistetty kulutus). Myös yhdistetystä kulutuslukemasta muodostuva, nykyisin verotuksen perusteena oleva virallinen CO₂-päästöarvo, on ilmoitettava. Kyseiset arvot mitataan ajamalla autoa alustadynamometrin rullilla vakioituissa laboratorio-olosuhteissa. Kaupunkiajo-osuuden matka on noin 4 km, ja sen maksiminopeus on 50 km/h. Maantieajo-osuudessa ajetaan noin 7 km niin, että maksiminopeus on 120 km/h. Koko testin ajomatka on noin 11 km ja kesto vajaan 20 minuuttia. Mitatastavasta on selostus liitteessä I.

Yleisessä keskustelussa kuitenkin unohdetaan usein, että ajoneuvon arkikäytön todellinen CO₂-päästö on harvoin yhtä pieni kuin virallinen normiarvo, koska se määräytyy sen mukaan, minkä verran polttoainetta todellisuudessa kulutetaan. Ja tähän on auton lisäksi kuljettajan toiminnalla sekä olosuhteilla suuri vaikutus.

Arkikäytössä polttoaineenkulutus on yleensä normiolosuhteissa mitattua suurempi, koska olosuhteet normaalissa käytössä ovat harvoin yhtä edulliset kuin norminmukaisessa laboratoriokokeessa. Lisäksi mittaustilassa on väljyyttä esimerkiksi mittaustilassa ja alustadynamometrillä käytettävissä ajovastusarvoissa. Ajoneuvonvalmistajat hyödyntävät väljyydet omaksi edukseen, ja saavat aikaan lähes epärealistisen pieniä kulutus- ja CO₂-päästölukemia. Virallisia kulutus- ja CO₂-tuloksia alentaa osaltaan myös se, että laboratoriotestejä ajavat kuljettajat –

tai joissakin tapauksissa robotit – pyrkivät aktiivisesti suoriutumaan ajotehtävästä mahdollisimman pienellä polttoaineenkulutuksella, mitä suurin osa tavallisista autonkuljettajista ei välttämättä tee.

Joissakin tapauksissa on todellisessa ajossakin mahdollista päästä ainakin lähelle virallisia normikulutusarvoja ja kenties jopa saavuttaa ne. Tämä kuitenkin edellyttää, että ajo-olosuhteet ovat ihanneololliset ja kuljettaja osaa asiansa.

2.2. CO₂-PÄÄSTÖN JA POLTTOAINEENKULUTUKSEN VÄLINEN YHTEYS

CO₂:ta syntyy hiilen täydellisessä palamisessa 44/12-kertainen eli noin 3.7-kertainen määrä poltettavan hiilen massaansa nähden. Tämä on seurausta hiilen palamisreaktiosta $C + O_2 \Rightarrow CO_2$ sekä siihen osallistuvien aineiden atomimassoista. Koska bensiini ja dieselpolttoaine eivät ole puhdasta hiiltä, vaan niissä on myös vetyä (ja bensiinissä hieman happea), syntyvän hiilidioksidin määrä on poltettavan polttoaineen massaansa nähden pienempi kuin pelkkää hiiltä poltettaessa, tyypillisesti noin 3.15-kertainen.

Jos halutaan laskea tilavuusperustainen CO₂-tuotto, eli kuinka paljon CO₂:ta syntyy bensiini- ja diesellitrasta, täytyy em. suhdeluku 3.15 (grammaa hiilidioksidia per gramma polttoainetta) kertoa ajoneuvon polttoaineen tiheydellä. Tyypillisen bensiinin tiheys on noin 745 g/litra ja tyypillisen dieselin noin 840 g/litra.

Bensiinilitrasta syntyvä CO₂:
745 g/litra * 3.15 g/g ≈ 2350 g/litra

Diesellitrasta syntyvä CO₂:
840 g/litra * 3.15 g/g ≈ 2650 g/litra

Näiden lukujen oikeellisuuden voi todentaa vertaamalla niiden avulla laskettuja arvoja virallisesti ilmoitettuihin. Taulukossa 2.1 on näkyvillä Trafin Ekoake-nettipalvelusta poimitut muutaman automallin viralliset yhdistetyt kulutuslukemat sekä

niitä vastaavat CO₂-päästöarvot. Taulukon oikeassa reunassa näkyvät ilmoitettujen kulutuslukemien sekä edellä määriteltyjen vakioiden avulla lasketut CO₂-päästöarvot (ks. myös liite I).

Taulukosta havaitaan, että virallisten normiarvojen sekä kulutuksesta laskettujen arvojen välinen ero on kaikissa tapauksissa alle 1 g/km, eli lasketut tulokset täsmäävät hyvin virallisten arvojen kanssa. Samalla ne osoittavat edellä bensiinille ja dieselille määriteltyjen CO₂-tuottovakioiden oikeellisuuden.

Taulukko 2.1 Virallisten CO₂-päästöarvojen vertailu laskennallisiin arvoihin.

Automalli	Polttoaine	Viralliset normiarvot		Kulutuksesta laskettu CO ₂ -päästö (g/km)
		Yhd. kulutus CO ₂ -päästö (l/100km)	(g/km)	
Volkswagen Golf Trendline 1,2 TSI 63 kW	Bensiini	5,5	129	129,3
Toyota Avensis 1,8 Valvematic Linea Sol	Bensiini	6,5	152	152,8
VW Golf Comfortline 2.0TDI Bluemotion Technology 103 kW	Diesel	4,3	114	114,0
Toyota Avensis 2,2 D-4D DPF 150 Linea Sol Plus	Diesel	5,4	143	143,1

Luku 2: Polttoaineenkulutus ja pakokaasupäästöt

TÄSTÄ ON KYSYMYKSIÄ

- ☛ CO₂:ta ei voida puhdistaa pakokaasuista.
- ☛ Vaikka yleinen päästökeskustelu painottuu CO₂:een, myös häkää (CO), hiilivetyjä (HC), typen oksideja (NO_x) sekä hiukkasia (PM) tulee edelleen pakoputkista, joskin selvästi aikaisempaa vähemmän.
- ☛ Em. päästökäsitteet ovat olleet bensiinimoottoreissa hallinnassa jo pitkään, Sen sijaan dieselmoottorille ongelmallisten NO_x- ja hiukaspäästöjen hallinta on vielä kehittyvässä vaiheessa.
- ☛ Auto- ja ajoneuvovero perustuvat virallisessa alustadynamometrikokeessa mitattuun CO₂-päästöarvoon.
- ☛ Virallinen CO₂-päästöarvo riippuu optimiolosuhteissa mitatusta normikulutuksesta, joka on usein arkikulutusta pienempi.
- ☛ Arkiajon tuottama CO₂-päästö riippuu auton, ajotyylin ja ajo-olosuhteiden muodostamasta polttoaineenkulutuksesta.
- ☛ Litrasta bensiiniä syntyy noin 2 350 g CO₂:ta.
- ☛ Litrasta dieseliä syntyy noin 2 650 g CO₂:ta.

3 POLTTOAINE-ENERGIASTA LIIKE-ENERGIAKSI

Energiaan liittyvät luonnonlait pätevät myös auton liikuttamiseen. Niiden perusteiden tunteminen helpottaa taloudellisen ajotavan omaksumista.

3 POLTTOAINE-ENERGIASTA LIIKE-ENERGIAKSI

3.1 YLEISTÄ ENERGIASTA

Energialla tarkoitetaan *kykyä tehdä työtä*. Energi-aa ei voida luoda tyhjästä, eikä se häviä olematomiin (energian säilymlaki); energia voi ainoastaan muuttaa muotoaan. Energiaa on monia eri lajeja, joista esimerkkejä ovat kemiallinen ja mekaaninen energia, lämpö- ja sähköenergia sekä liike- ja potentiaalienergia.

Energiaa voidaan muuntaa muodosta toiseen. Energiamuunnoksille on tyypillistä, että niissä syntyy *häviöitä*. Tämä tarkoittaa, että muunnettavaa energiamäärää ei saada kokonaisuudessaan talteen toisena energialajina, toisin sanoen muunnoshyötysuhde on huonompi kuin 100 %.

3.2 ENERGIAN MUUNNOSPROSESSI AJONEUVOISSA

Polttomootorikäyttöisessä ajoneuvossa energia kuljetetaan mukana polttoaineen *kemiallisena energiana*. Moottorissa tapahtuvassa energian muunnosprosessissa polttoaine-energia muunnetaan *mekaaniseksi energiaksi* (työksi). Mekaaninen energia puolestaan muunnetaan voimansiirtolaitteiden ja pyörien avulla ajoneuvon *liike-energiaksi*.

Ajoneuvoissa suurimmat energiahäviöt tapahtuvat moottorissa. Ajoneuvodieselmoottorin

hyötysuhde jää sekalaisessa käytössä yleensä 25 %:n vaiheille, vaikka kyseessä olisi moderneinta tekniikkaa edustava voimalaite. Bensiini- eli ottomoottorin hyötysuhde on tätäkin huonompi, sekalaisessa käytössä tyypillisesti vain noin 20 %. Uudemmissa suorasuihkutteisissa bensiinimoottoreissa keskimääräinen hyötysuhde voi olla hieman tätä korkeampi. Em. prosentit perustuvat kirjoittajan laatimalla laskentasiluilla tekemiin hyötysuhdemäärityksiin virallisessa EU-normisyklissä (liite 1).

Myös voimansiirto tuottaa häviöitä. Ajoneuvojen voimansiirron hyötysuhde on tyypillisesti luokkaa 90 %. Voimalinjan kokonaisyhyötysuhde on moottorin ja voimansiirron hyötysuhteiden yhteisvaikutus eli niiden välisen kertolaskun tulos. Polttoaineenkulutuksen minimoimiseksi molemmissa tapahtuvat häviöt pyritään tietysti minimoimaan eli hyötysuhde maksimoimaan. Tämä on ajoneuvojen valmistajien vastuulla, ja se on yksi nykyisen ajoneuvoteknisen kehitystyön tärkeimmistä tavoitteista.

Ajoneuvon valmistajan lisäksi myös kuljettaja voi vaikuttaa moottorin hyötysuhteeseen. Se nimittäin vaihtelee eri kuormituksilla ja pyörintänopeuksilla. Kuljettaja voi maksimoida hyötysuhteen pyrkimällä käyttämään moottoria mahdollisimman paljon sellaisilla kuormituksilla ja pyörintänopeuksilla, joilla hyötysuhde on parhaimmillaan.

*”Kiihdyttäminen kannattaa
tehdä ripeästi, mutta mahdollisimman
aikaisin suuremmille vaihteille vaihtaen.”*



Yleensä tämä tarkoittaa pienehköjä pyörintänopeuksia ja korkeita kuormatasoja.

Kuljettajan mahdollisuuksia moottorin hyötysuhteen maksimoimiseksi rajoittavat *tiedon puute* sekä *moottorien ylitehoisuus*. Suhteellisen harva kuljettaja tuntee polttomoottoritekniikkaa tarpeeksi kyetäkseen käyttämään moottoria optimaalisesti. Tätä ongelmaa on taloudellisen ajon koulutuksessa pyritty lieventämään muun muassa neuvomalla, että *kiihdyttäminen kannattaa tehdä ripeästi, mutta mahdollisimman aikaisin suuremmille vaihteille vaihtaen*. Tällöin moottorin kuormitus on korkea, mutta pyörintänopeudet pysyvät kohtalaisen pieninä.

Toinen hyötysuhteen maksimoimista haittaava ongelma, *moottorien ylitehoisuus*, puolestaan aiheuttaa sen, että hyötysuhteen kannalta optimaalisia toiminta-alueita voidaan käyttää vain hetkellisesti kiihdytysten aikana. Jos näitä alueita moottorin toimintakentässä käytettäisiin yhtäjaksoisesti pidemmän aikaa, ajonopeus kohoaisi sallittujen nopeuksien yläpuolelle moottorin suuren tehontuoton takia. Tulisimme siis toimeen huomattavasti pienempitehoisilla moottoreilla kuin millä olemme tottuneet ajamaan.

3.3 POLTTOAINEENKULUTUKSEN MUODOSTUMINEN

Ajoneuvon energiantarvetta ja polttoaineenkulutusta voidaan havainnollistaa yksinkertaistetun esimerkin avulla, jossa lasketaan polttoaineenku-

lutus Volkswagen Golf -tyyppiselle henkilöautolle vakioajonopeudella.

Golf-kokoluokan autojen *ajovastukset* (ilman- ja vierintävastus, tarkemmin luvuissa 4.2 ja 4.3) edellyttävät, että moottorin on voimansiirtöhäviöt ja apulaitetehto mukaan otettuna tuotettava noin 15 kW:n teho, jotta auto liikkuisi 100 km/h vakio- nopeudella tasamaalla. Sataa kilometriä kohti auton liikuttamiseen tarvittava energia on 15 kW * 1 h = 15 kWh. Moottorista on siis saatava mekaanista energiaa eli sen on tehtävä työtä tämän verran 100 km:n ajamiseksi.

Jos autossa on bensiinimoottori, jonka hyötysuhde on ko. ajotilanteessa 25 %, ja voimansiirto, jonka hyötysuhde on 90 %, koko voimalinjan yhteiseksi hyötysuhteeksi muodostuu 22.5 %. Tällöin moottorille täytyy syöttää kemiallista energiaa polttoaineen muodossa 100 km:n ajomatkaa varten 15 kWh / 0.225 eli noin 67 kWh.

Esimerkkilaskelmaan valittu bensiinimoottorin hyötysuhde 25 % on korkeampi kuin edellä esitetty ”sekalaisen arkikäytön” lukema (”vain noin 20 %”), koska 100 km/h ajonopeudella moottorin kuormitus on korkeampi kuin sekalaisessa käytössä kaupunkinopeuksineen ja joutokäynteineen. Korkeammalla kuormituksella myös moottorin hyötysuhde on korkeampi.

Energiankulutusta polttoaineenkulutukseksi las- kettaessa täytyy tietää käytettävän polttoaineen energiasisältö. Bensiinissä on energiaa noin 8.8 kWh/l. Sadan kilometrin ajamiseksi tarvittavan

polttoaineen määrä selviää jakamalla tarvittava polttoaine-energia polttoaineen energiasisällöllä, jolloin saadaan: $67 \text{ kWh} / 8.8 \text{ kWh/l} = 7.6 \text{ l}$. Kyseisen auton polttoaineenkulutus valittujen lähtöarvojen perusteella olisi siis noin 7.6 l/100 km .

Saatu lopputulos on suuruusluokaltaan mahdollinen arvo 100 km/h vakioajonopeudella VW Golfin kokoluokan bensiiniautolle, mutta on uusimpiin autoihin verrattuna suurehko. Uusimmissa automalleissa kulutus on tyypillisesti jonkin verran laskettua pienempi, mikä kertoo, että niissä ajovastukset ovat pienemmät tai moottorin hyötysuhde on tässä ajotilanteessa korkeampi kuin laskentaan valittu 25% .



LUKU 3: Polttoaine-energiasta liike-energiaksi

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Polttoaineen kemiallinen energia muunnetaan moottorissa mekaaniseksi ja pyörien avulla auton liike-energiaksi.
- ☛ Muunnettaessa energiaa muodosta toiseen syntyy häviöitä.
- ☛ Polttomoottorin häviöt ovat suuret: bensiinimoottorin hyötysuhde on sekalaisessa ajossa noin 20 %, dieselin noin 25 %.
- ☛ Polttomoottorin hyötysuhde vaihtelee runsaasti moottorin toiminta-alueen mukaan, paras hyötysuhde on matalilla kierroksilla melko suurella kuormalla.
- ☛ Kuljettajan tulisi pyrkiä käyttämään moottoria sen parhaan hyötysuhteen alueella. Tähän päästään esim. kiihdyttämällä reippaasti, mutta vaihtamalla aikaisin suuremmille vaihteille.
- ☛ Polttoaineenkulutus voidaan määrittää laskennallisesti, jos tehontarve, hyötysuhteet sekä polttoaineen energiasisältö tunnetaan.



4 POLTTOAINE-ENERGIAN JAKAUTUMINEN

Polttoaine kuluu energianmuunnoshäviöihin sekä ajovastuksiin. Onneksi kuljettajalla on mahdollisuus vaikuttaa molempiin.



4 POLTTOAINE-ENERGIAN JAKAUTUMINEN

4.1 HÄVIÖT JA AJOVASTUSLAJIT

Polttoaineesta otettavasta energiasta suurin osa kuluu eri häviöihin ja loput ajovastusvoimien voittamiseen. Häviöistä merkittävimmät ovat edellä kuvatut moottoriprosessin häviöt sekä voimansiirtohäviöt. Ajovastusvoimat puolestaan koostuvat ilman- ja vierintävastuksesta sekä kiihdytys- ja nousuvastuksesta.

Kun ajetaan vakionopeudella tasamaalla, vallitsevat ajovastusvoimat ovat ainoastaan ilmanvastus

ja vierintävastus. Jos ajonopeutta halutaan kasvattaa, näiden lisäksi mukaan tulee kiihdytyksen ajaksi kiihdytysvastus.

Vastamäkeen ajettaessa moottoria kuormittaa edellisten lisäksi nousuvastus. Jos ajetaan myötämäkeen, nousuvastusvoima on negatiivinen keventäen moottorin kuormaa saman verran kuin se vastamäkeen ajettaessa sitä lisää. Samaa mäkeä vastakkaisiin suuntiin ajettaessa ero kokonaisvastuksissa on nousuvastus kaksinkertaisena. Ajovastuslajit eri eri ajotilanteissa on esitetty kuvassa 4.1.



Kuva 4.1 Ajovastuslajit eri ajotilanteissa.



95

1.8

98

1.8

D

1.8

*”Ajoastukset ovat pienimmillään
ajettaessa vakionopeudella tasamaalla
...Suurimmillaan ajoastukset ovat
vastamäkeen kiihdytettäessä.”*

Kuva 4.1 havainnollistaa ajovastuslajeja eri ajotilanteissa. Ajovastukset ovat pienimmillään ajettaessa vakionopeudella tasamaalla. Vastukset ovat suuremmat, kun kiihdytetään tasamaalla tai ajetaan vakionopeudella vastamäkeä. Suurimmillaan ajovastukset ovat vastamäkeen kiihdytettäessä.

Vakionopeudella tasamaalla vallitsevien moottorin ja voimansiirtohäviöiden sekä ajovastusten keskinäisen suhteen havainnollistamiseksi polttoaineesta saatavan tehon jakaantuminen laskettiin VW Golfille (sukupolvi V, 2003–2008) varustettuna suorasuihkutteisella 1.6 FSI -bensiinimoottorilla.

Apulaitteiden tehonkulutus arvioitiin minimitasolle, toisin sanoen oletuksena oli, että ainoastaan

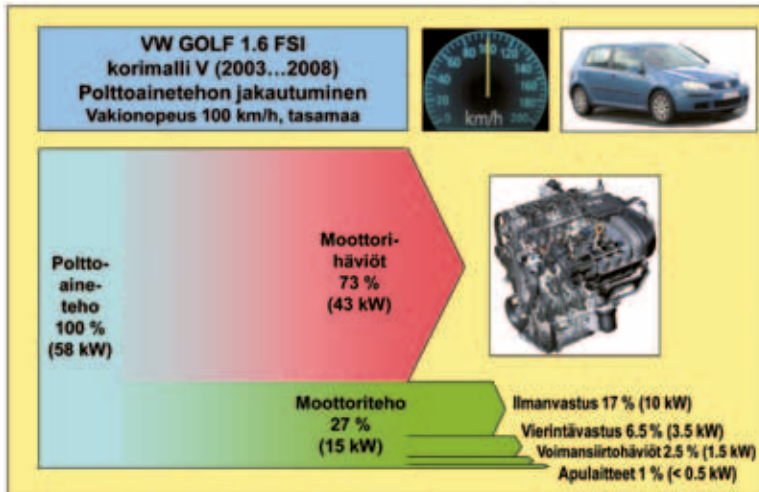
pakolliset sähkönkuluttajat (ajovalot, polttoainepumppu ja sytytysjärjestelmä) ovat käytössä, ja esimerkiksi ilmastointilaitetta ei käytetä.

Määrittämisen tulokset 100 km/h vakioajonopeudella on esitetty graafisesti kuvassa 4.2.

Kuvasta 4.2 nähdään, että moottorin hyötysuhde valituilla arvoilla laskettuna 100 km/h vakionopeudella on 27 %. Kyseessä on moderni suorasuihkutteinen bensiinimoottori, joten arvo on korkeampi kuin bensiinimoottoreilla on perinteisesti ollut näkemään.

Ilmanvastukseen kuluu 17 % ja vierintävastukseen 6.5 % polttoainetehosta. Ilmanvastus on noin kolminkertainen vierintävastukseen nähden. Pienemmillä nopeuksilla ilmanvastuksen osuus olisi pienempi ja suuremmilla vastaavasti suurempi, koska ilmanvastus kasvaa jyrkästi nopeuden lisääntyessä, mutta vierintävastus on (lähes) vakio. Voimansiirtohäviöt kuluttavat 2.5 % ja apulaitteet noin prosentin polttoainetehosta.

Taulukossa 4.1 on esitetty pelkän moottoritehon (15 kW) jakautuminen eri kohteisiin valituilla kolmella vakioajonopeudella. Tarkastelusta on edellisessä kuvassa nähtävä jätetty moottorihäviöt pois ja analysoitu pelkkää hyödyksi saatavaa tehoa.



Kuva 4.2 Polttoainetehon ja -energian jakaantuminen 100 km/h vakionopeudella tasamaalla (VW Golf 1.6 FSI, viides mallisukupolvi, 2003–2008).

Taulukko 4.1 Moottoritehon ja -energian jakaantuminen 80, 100 ja 120 km/h vakionopeuksilla tasamaalla (VW Golf 1.6 FSI, viides mallisukupolvi).

Ajo- nopeus km/h	Moottori- teho		Ilman- vastus		Vierintä- vastus		Voimansiirto- häviöt		Apu- laitteet	
	%	kW	%	kW	%	kW	%	kW	%	kW
80	100	9	54	5	33	3.0	10	1.0	3.0	< 0.5
100	100	15	63	10	25	3.5	10	1.5	2.0	< 0.5
120	100	24	70	17	19	5.0	10	2.5	1.0	< 0.5

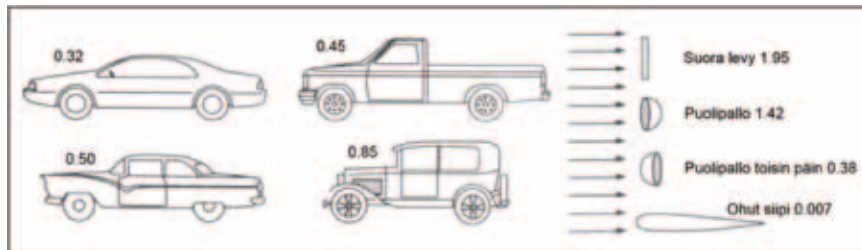
Taulukosta 4.1 havaitaan muun muassa se, että ajonopeudella 80 km/h ilmanvastuksen osuus tarvittavasta moottoritehosta on runsas puolet (54 %), nopeudella 100 km/h jo lähes kaksi kolmannesta (63 %) ja nopeudella 120 km/h jo 70 %. Taulukon ylimmän ja alimman rivin tulokset on esitetty jäljempänä graafisesti kuvissa 4.7. ja 4.8.

4.2. ILMANVASTUS

Ilmanvastuksen voittamiseen tarvittava voima riippuu ajonopeuden toisesta potenssista. Ajonopeuden kaksinkertaistuuessa ilmanvastusvoima nelinkertaistuu. Koska teho puolestaan on voima kerrottuna nopeudella, ilmanvastuksen voittamiseen tarvittava teho kasvaa nopeuden kolmannessa potenssissa. Se siis kahdeksankertaistuu, kun ajonopeus kaksinkertaistuu.

Ilmanvastusvoiman laskukaava on seuraava: $F_i = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_D \cdot v^2$, jossa ρ on ilman tiheys, A on auton korin poikkipinta-ala, C_D on ilmanvastuskerroin ja v on ajonopeus.

Leveän ja korkean auton poikkipinta-ala on tietysti suurempi kuin kapean ja matalan. Nykyisten henkilöautojen poikkipinta-ala on tyypillisesti suuruusluokkaa 2.0–2.5 m². Korin muoto pyritään tekemään mahdollisimman aerodynaamiseksi tilankäytön ja auton ulkonäkövaatimusten asettamisrajoissa. Koska autonvalmistajat haluavat minimoida ilmanvastuksen, eri autojen korin muoto muistuttaa paljon toisiaan. Korin muodosta riippuva ilmanvastuskerroin C_D on nykyisissä henkilöautoissa pienimmillään suuruusluokkaa 0.25 (vrt. kuva 4.3). Kuva esittää lähinnä historiallista perspektiiviä, koska kuvan moderneimmankaan auton arvo (0.32) ei voida enää 2010-luvulla pitää kovinkaan edistyneenä.



Kuva 4.3 Erityyppisten korimallien sekä geometristen muotojen ilmanvastuskertoimia (Mukaillen: Gillespie 1992).

Ilmanvastuskerrointa on usein pidetty automainonnassa näkyvästi esillä. Merkittävää kuitenkin on, että sen lisäksi poikkipinta-ala vaikuttaa. Auton ilmanvastuksen määrää poikkipinta-alan ja ilmanvastuskertoimen tulo.

Ilmanvastuksen kannalta ihanteellisin korin muoto olisi pisaramainen. Käytännössä auton perä ei voi olla piikkimäisen terävä, eikä keulaakaan ole helppo muotoilla pallomaiseksi, joten korin muoto on aina kompromissi ilmanvastuksen ja auton käytännöllisyyden välillä. Henkilöautoista pitkäperäisten sedan- tai coupe-tyyppisten korien ilmanvastuskerroin on usein pienempi kuin lyhytperäisten hatchback-tyyppisten tai farmarien, koska pitkäperäinen kori muistuttaa enemmän ihanteellista pisaramaista muotoa.

Ilmanvastus riippuu myös ilman tiheydestä (ks. luku 9.8), joka kasvaa lämpötilan laskiessa ja ilmanpaineen noustessa. Ilmanvastus on keskimäärin suurempi talvella kuin kesällä. Tässä on yksi syy polttoaineenkulutuksen kasvuun talvella. Ilmanvastuksen kasvu ei ole merkittävin talvikulutusta kasvattava seikka, mutta se on yksi tekijä muiden joukossa.

Jos autolla ajetaan enimmäkseen maantienopeuksia, jolloin ilmanvastuksen osuus on yli puolet kokonaisvastuksista, voidaan arvioida, että suurimmat ilman tiheydet voivat enimmillään kasvattaa tehontarvetta 15 %:lla pienimpiin ilman tiheyksiin nähden. Samalla tapahtuva moottorin kuormituksen ja hyötysuhteen lievä kasvu saattaa hieman pienentää polttoaineenkulutuksen kasvua tehontarpeen kasvuun nähden.

4.3 VIERINTÄVASTUS

Vierintävastus muodostuu renkaan ja tien välisen kosketuksen tuloksena. Sen suuruus riippuu *moilempien ominaisuuksista, rengaspaineesta* sekä *auton massasta*. Pehmeä ja karhea tienpinta aiheuttaa korkeamman vierintävastuksen kuin kova ja sileä. Vierintävastusvoima kasvaa suoraan verrannollisena auton massaan, ja se on normaalinopeuksilla lähes ajonopeudesta riippumaton. Se yleensä kasvaa vasta erittäin suurilla ajonopeuksilla.

Vierintävastusvoima F_r saadaan kertomalla *vierintävastuskerroin* f_r auton massan ja putoamiskiihtyvyyden tulolla ($F_r = f_r \cdot m \cdot g$). Kovalla asfalttipinnalla vierintävastuskerroin on henkilöautoilla suuruusluokkaa 0.01, ja parhaimmillaan jopa hie-man alle, jos rengaspaine on riittävä.

Koska putoamiskiihtyvyys g on noin 10 m/s^2 , voidaan edellisen perusteella määritellä muis-tisäänöksi karkea yhteys, jonka mukaan vierin-tävastusvoima newtoneina on noin 0.1-kertainen auton massaan nähden kilogrammoina. Siis 1500 kg:n auton vierintävastusvoima on suunnilleen 150 N jne.

Tien pinnan (ks. luku 9.5) lisäksi myös renkaan ominaisuuksilla on vierintävastukseen suuri vai-kutus. Vierintävastusta voidaan vähentää valitse-malla sekä renkaan rungon että sen kulutuspinnan rakenne ja materiaalit vierintävastuksen kannalta optimaalisiksi. Samalla tosin renkaan muut ominai-suudet saattavat kärsiä.

Pieni vierintävastus ei ole ainoa renkailta vaadittava ominaisuus. Muita ovat muun muassa pito, äänettömyys, kestävyys, kyky vastustaa vesiliirtoa ym. Lisäksi hintatekijät, materiaalien saatavuus ym. seikat on otettava renkaan suunnittelussa huomioon. Yleensä renkaiden suunnittelussa joudutaankin tekemään kompromisseja ominaisuuksien suhteen sekä valitsemaan, mitä ominaisuuksia halutaan erityisesti painottaa.

CO₂-vähentämistavoitteiden takia rengasvalmistajat ovat viime aikoina alkaneet painottaa suunnittelussaan pientä vierintävastusta, joten markkinoille on tullut renkaita, joiden vierintävastus on selvästi aikaisempaa pienempi ilman, että renkaan muista ominaisuuksista olisi jouduttu tinkimään liikaa.

Vaikka pienen vierintävastuksen tarjoavilla renkailla aikaansaattava energiansäästö ei ole suuren suuri, se on kuitenkin merkittävä, koska se pienentää ajoneuvon energiankulutusta jatkuvasti ja periaatteessa kaikenlaisessa ajossa kuljettajan toiminnasta riippumatta. Suurin hyöty pienestä vierintävastuksesta on pienillä ajonopeuksilla, jolloin ilmanvastus on pieni eli vierintävastuksen osuus kokonaisvastuksista on suuri.

Jos kiihdytyksiä ei ole paljon, pienen vierintävastuksen renkaat voivat kaupunkinopeuksissa alentaa kulutusta jopa 0.3–0.4 l/100 km. Vuotuisella ajomäärällä 20 000 km tämä tarkoittaa noin 80 litran eli 135 euron säästöä vuosittain (bensiinin hinta 1.70 €/l).

Rengaspaineella on vierintävastukseen suuri merkitys. Kun rengas on vajaapaineinen, auto tekee liikkueessaan ylimääräistä muodonmuutostyötä renkaalle. Rengastahan ikään kuin puristetaan lyttyyn ajon aikana, ja puristamiskohta siirtyy koko ajan eteenpäin renkaan kehällä pyörän pyöriessä. Jos autosta irrallaan olevan pyörän renkaaseen pitäisi sitä painelemalla saada aikaan vastaavanlainen koko ajan liikkuva muodonmuutos, on helppo ymmärtää, että sen aikaansaamiseksi tarvitaan energiaa. Muodonmuutokseen tarvittava energia otetaan tietenkin auton polttoainesäiliöstä.

Rengaspaineen merkitystä vierintävastukseen kannattaa painottaa siksikin, että paineista huolehtiminen on kenen tahansa autonkuljettajan verrattain helposti toteutettavissa oleva toimenpide. Tavoitteena tulisi olla, että rengaspaine tarkistetaan kuukausittain tai esimerkiksi joka toisella tankkauskerralla. Tähän käytettävä vaivannäkö palkitaan alentuneena polttoaineenkulutuksena.

Rengaspainesuositukset on laadittu ottaen huomioon renkaan kantavuus, auton ohjautuvuusominaisuudet sekä mukavuus. Jonkin verran suositeltua korkeammat rengaspaineet yleensä alentavat vierintävastusta ilman, että jouduttaisiin tinkimään muusta kuin mahdollisesti hieman mukavuudesta. Nostamalla rengaspainetta 10–20 % suosituksia korkeammaksi voidaan saavuttaa lievää säästöä polttoaineenkulutuksessa. Paineennosto tulisi tehdä samassa suhteessa sekä etu- että taka-akselilla.

On lisäksi syytä muistaa, että kun rengas lämpenee ajossa, sen paine nousee, ja sisätiloissa

säilytetyn auton rengaspaine laskee, kun auto vie-
dään pakkaseen. Lämpötilan vaikutusta on käsitel-
ty tarkemmin jäljempänä luvussa 8.6.

Kuvassa 4.4 on esitetty ajonopeudesta riip-
puva vierintävastuskertoimen muutos kahdel-
la eri rengastyypillä. Nykyisille henkilöautoille
tyypillisillä huippunopeuksilla (n. 200 km/h) vie-
rintävastuskerroin on tyypillisesti suuruusluokkaa
0.012–0.015, kun se pienillä ajonopeuksilla on
suunnilleen 0.010 tai jopa alle.

Vierintävastuksen voittamiseksi tarvittava voima
lasketaan, kuten jo todettiin, kertomalla keske-
nään vierintävastuskerroin, auton massa sekä gra-
vitaatiokihtiyyys. Laskettuna esimerkiauton VW
Golfin 1375 kg:n massalla vierintävastusvoima on

kaupunkinopeuksissa noin 135 N, ja yli 140 N:n se
kasvaa vasta ajonopeuksilla yli 100 km/h, jos vie-
rintävastuskerroin käyttäytyy kuvan 4.4 mukaisesti.

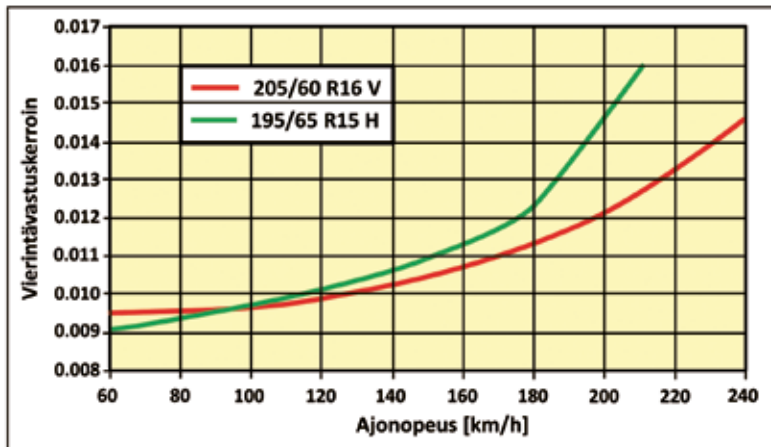
Raskailla ajoneuvoilla vierintävastuskerroin on
usein jonkin verran pienempi kuin henkilöautoilla.
Suuruusluokka on tyypillisesti 0.007–0.009.

4.4 ILMAN- JA VIERINTÄVASTUKSEN VÄLINEN SUHDE

Ilman- ja vierintävastuksen suuruus toisiinsa näh-
den riippuu ajonopeudesta. Ilmanvastusvoima
lähtee nolasta, kun nopeus on nolla, ja se kasvaa
jyrkästi nopeuden kasvaessa. Vierintävastus sen si-
jaan käyttäytyy eri tavalla: se vaikuttaa heti nol-
lanopeudesta alkaen ja säilyy nor-
maalinopeuksilla käytännöllisesti
katsoen vakiona.

Tästä seuraa, että pienillä nope-
uksilla vierintävastus on hallitse-
va vastuskomponentti, kun taas
suurilla ilmanvastus on merkittä-
vämpi. Jokaiselle autolle on löy-
dettävissä *ajovastusten rajanopeus*
eli nopeus, jossa molemmat
vastuslajit ovat samansuuruiset.

Ajovastusten rajanopeus on
pieni, jos vierintävastus on pie-
ni ja ilmanvastus suuri. Kevyt
auto, tietenkin yhdessä moder-
nien renkaiden sekä sileän ja



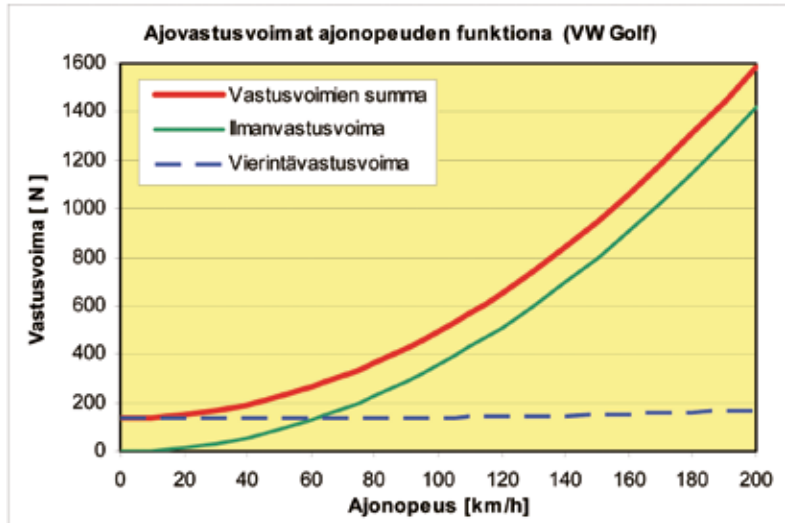
Kuva 4.4. Henkilöauton vierintävastuskerroin kahdella vaihtoehdoisel-
la rengastyypillä (H- ja V-nopeusluokat) (Mukaillen: Heissing & Ersoy
2011).

kovan tienpinnan kanssa, takaa pienen vierintävastuksen. Ilmanvastusta taas kasvattaa ajoneuvon suuri poikki-pinta-ala ja/tai epäedullinen korin muoto (suuri ilmanvastuskerroin). Tällaisella autolla kokonaisajovastukset ovat pienimpiä nopeuksia lukuun ottamatta ilmanvastuksen hallitsevia. Tyypiesimerkki tämänkaltaisesta autosta on Smart Fortwo.

Tilanne on päinvastainen silloin, kun auton massa on suuri, ja sen poikki-pinta-ala on pieni ja/tai korin muoto on ilmanvastuksen kannalta edullinen (pieni ilmanvastuskerroin). Tällaisessa autossa ilmanvastus kasvaa vierintävastusta suuremmaksi vasta suurilla ajonopeuksilla, joten vierintävastus on useimmissa tilanteissa hallitseva vastuskomponentti. Tällöin ajonopeuden vaikutus polttoaineenkulutukseen on pienempi kuin Smartin kaltaisissa autoissa. Tyypiesimerkki tällaisesta voisi olla modernisti muotoiltu matala sarjahybridi Fisker Karma, joka on akkujensa takia melko painava.

Kuvassa 4.5 on esitetty esimerkkituon (VW Golf V) ilman- ja vierintävastusvoimakäyrät sekä näiden summakäyrä ajonopeuden funktiona. Kuvasta havaitaan, että tämän automallin ajovastusten rajanopeus on noin 62 km/h.

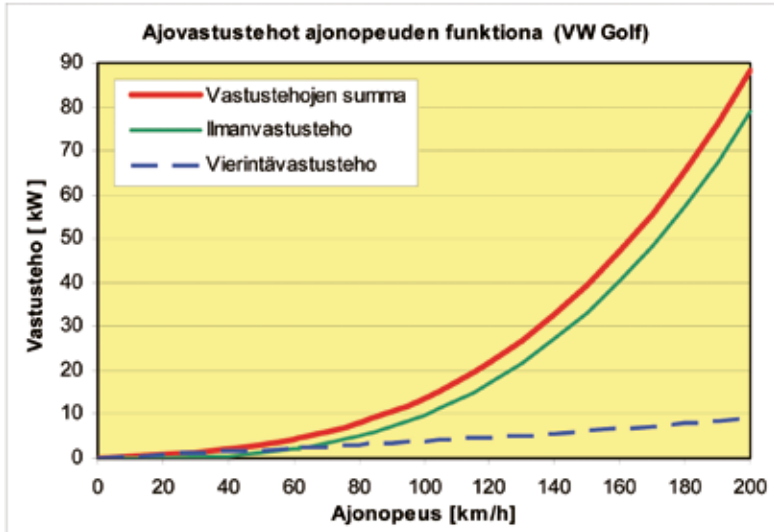
Kuvassa 4.6 on esitetty samalle autolle ajovastusvoimien voittamiseksi tarvittavat vetopyörätehot



Kuva 4.5 VW Golfin (korimalli V) ilman- ja vierintävastusvoimat vs. ajonopeus.

eri ajonopeuksilla. Teho on vastusvoiman ja ajonopeuden tulo, joten ilmanvastuksen voittamiseksi tarvittava teho kasvaa nopeuden kolmannessa potenssissa. Ilmanvastusteho on ajonopeudella 100 km/h noin 10 kW, mutta kaksinkertaisella nopeudella (200 km/h) se on noin 80 kW eli 8-kertainen.

Kuvan 4.6 pohjana olevasta laskennasta selviää myös se, että ajonopeudella noin 62 km/h, jolloin vierintä- ja ilmanvastusvoimat ovat yhtä suuret, kummankin voittamiseksi tarvitaan vetopyöriltä tehoa runsas 2.3 kW. Yhteensä vetopyörätehoa tarvitaan siis tällä nopeudella noin 4.7 kW. Samoin havaitaan esimerkiksi se, että 100 km/h nopeudella vierintävastusteho on noin 4 kW ja ilmanvastusteho noin 10 kW, eli yhteensä vetopyörätehoa tarvitaan tällä nopeudella jo noin 14 kW.



Kuva 4.6 VW Golfin (korimalli V) ilman- ja vierintävastustehot ajonopeuden funktiona.

Vetopyörätehoja tarkasteltaessa on syytä muistaa, että moottorista tarvitaan tehoa jonkin verran enemmän kuin mitä vetopyöriltä pitää tehoa saada ulos. Tämä on seurausta voimansiirron aiheuttamista häviöistä sekä tarpeesta pyörittää apulaitteita (laturi, ilmastoinnin kompressori jne.).

Ilman- ja vierintävastuksen välistä suhdetta, voimansiirtohäviöitä sekä laturin vaatimaa tehoa havainnollistavat kuvat 4.7 ja 4.8. Kuva 4.7 esittää moottoritehon jakaumaa VW Golfilla 80 km/h ajonopeudella, ja kuva 4.8 esittää samaa 120 km/h ajonopeudella.

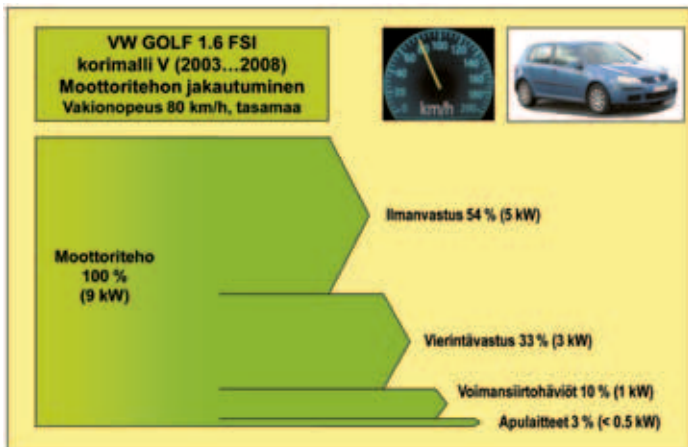
Molemmissa tapauksissa voimansiirron hyötysuhteeksi on oletettu 0.90, ja apulaitteiden kam-

piakselilta ottamaksi tehoksi on valittu alle 0.5 kW. Oletuksena on, että vain välttämättömät sähkölaitteet, kuten ajovalot, polttoainepumppu ja sytytysjärjestelmä, ovat käytössä, ja esimerkiksi ilmastointia ei käytetä. Kuvissa 4.7 ja 4.8 esiintyvät numeroarvot on esitetty edellä taulukossa 4.1.

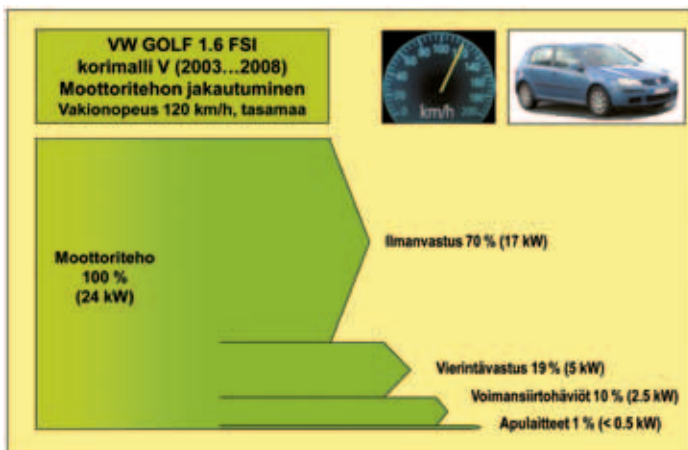
Kuvista 4.7 ja 4.8 havaitaan, että moottoritehon tarve kasvaa 9 kW:sta 24 kW:iin ajonopeuden noustessa 80 km/h:sta 120 km/h:iin. Ilmanvastuksen osuus kasvaa samalla nopeusvälillä 54 %:sta 70 %:iin moottoritehosta, ja samalla vierintävastuksen osuus pienenee 33 %:sta 19 %:iin.

4.5 KIIHDYTYSVASTUS

Auton kiihdyttämiseen tarvittava energia riippuu massasta sekä kiihdyttävästä nopeusvälistä. Se voidaan määrittää suoraan liike-energian peruskaavan $E = \frac{1}{2} * m * v^2$ avulla. Jos esimerkki-Golf (massa 1375 kg) kiihdytetään pysähdyksistä ajonopeuteen 100 km/h, sen liike-energia kasvaa kiihdytyksen seurauksena nolasta arvoon, joka vallitsee tarkasteltavan tilanteen loppunopeudessa 100 km/h. Loppu-tulos on noin 530 kilojoulea eli 147 Wh. Jos tämä energiamäärä muutettaisiin jarruissa nopeasti lämmöksi, sillä kiehauttaisi noin 1.6 litraa vettä. Jos kiihdytys lähtee muusta kuin nollanopeudes-



Kuva 4.7 VW Golfin (korimalli V) moottoritehon jakautuma 80 km/h ajonopeudella.



Kuva 4.8 VW Golfin (korimalli V) moottoritehon jakautuma 120 km/h ajonopeudella.

ta, kiihdyttämiseen tarvittava energia on kiihdytyksen jälkeisen liike-energian ja kiihdytystä edeltäneen liike-energian erotus.

Edellä esitetty liike-energiälaskenta ottaa huomioon ainoastaan massan kiihdyttämiseen tarvittavan energian, eikä mukana ole kiihdytysjakson aikaisia ajovastuksia. Niiden suuruus riippuu kiihdytysnopeudesta. Mitä nopeammin kiihdytetään, sitä vähemmän ehtii vierintä- ja ilmanvastuksen voittamiseen vaadittavaa energiantarvetta kertyä kiihdytyksen aikana. Erityisesti nopeassa kiihdytyksessä ajovastusten merkitys on melko vähäinen, Golfin tapauksessa vain noin 20 Wh eli noin 14 % massan kiihdyttämiseen tarvittavasta energiasta. Tästä aiheesta on tarkempaa tarkastelua luvussa 5.

Kiihdytyksen vaatimaa polttoainetarvetta arvioitaessa on todettava, että ei riitä, että moottoriin syötettäisiin polttoainetta vain edellä lasketun 147 + 20 Wh:n verran, koska auton voimalinjan hyötysuhde on vain 20–30 %:n luokkaa. Jos oletetaan, että moottorin hyötysuhde kiihdytyksen aikana on noin 28 %, ja voimansiirron hyötysuhde on 90 %, voimalinjan kokonaishyötysuhteeksi saadaan noin 25 %. Polttoainetta tarvitaan siis 167 Wh / 0.25 eli nelinkertainen määrä, noin 670 Wh.

Energiamäärä 670 Wh vastaa edellisessä kohdassa esitetyllä bensiinin energiasisällöllä (8.8 kWh/l) laskettuna lähes 0.08 litran bensiiniannosta. Tästä on helppo laskea, että jos 100 km:n ajomatalla nopeudella 100 km/h tehdään 10 pysähdystä ja uudelleen kiihdytystä vakionopeudella ajamisen sijaan, polttoaineenkulutus

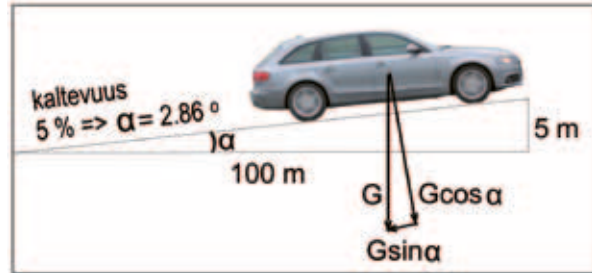
kasvaa tarkastellun kaltaisella autolla lähes 0.8 litralla / 100 km. Samoin on laskettavissa, että kulutus kiihdytyksen aikana on noin 38 l/100 km, jos kiihdytys suoritetaan mahdollisimman nopeasti noin 200 metrin matkalla.

Aikaisemmin on jo todettu, että polttomoottorin hyötysuhde vaihtelee runsaasti kuormitus-tilanteiden mukaan. Tämän takia onkin aiheellista painottaa, että kiihdyttäminen kannattaa tehdä käyttäen sitä moottorin toiminta-alueetta, jossa hyötysuhde on parhaimmillaan. Tämä tarkoittaa korkeata kuormaa ja pieniä pyörintänopeuksia eli kiihdyttämistä melko nopeasti, kuitenkin siten, että vaihdot suuremmille vaihteille tehdään aikaisin.

4.6 NOUSUVASTUS

Nousuvastusvoima riippuu *auton massasta* sekä *nousukulman jyrkkyydestä*. Se pysyy siis vakiona ajonopeudesta riippumatta. Mäkien jyrkkyys maanteillä ilmoitetaan yleensä pituuskaltevuusprosentteina eikä asteina. Esimerkiksi 5 %:n kaltevuus tarkoittaa, että mäki nousee 5 m 100 m:n matkalla.

Kuva 4.9 havainnollistaa tilannetta. Pituuskaltevuus voidaan laskea trigonometrian avulla kallistuskulmaksi. Kun kaltevuus on esimerkiksi 5 %, kallistuskulma on $\arctan(5/100)$ eli noin 2.86 astetta. Perussääntönä kannattaa muistaa, että kaltevuus on asteina aina pienempi luku kuin prosentteina (45 astetta on 100 prosenttia).



Kuva 4.9 Tien pituuskaltevuusprosentin määrittely.

Suomen sekaliikenneteillä tavoitteena on pitää maksimikaltevuus 5–6 prosentissa, ja moottoreilla vastaava tavoite on 4–5 %. Joissakin tilanteissa tämä ei suurten korkeuserojen takia ole ollut mahdollista toteuttaa. Kustannukset nousisivat liian korkeiksi, jos erittäin suuria korkeuseroja lähdetäisiin pienentämään täyttämällä laaksoja ja/tai madaltamalla mäkiä.

Nousuvastuksen suuruutta muihin ajovastuksiin nähden sekä sen aiheuttamaa polttoaineenkulutusta voidaan arvioida laskennallisesti. Taulukossa 4.2 on esitetty nousuvastuksen laskennallinen vaikutus tehon- ja energiantarpeeseen sekä polttoaineenkulutukseen eri kaltevuuksilla.

Taulukon 4.2 tulokset on laskettu esimerkki-autoksi valitulle VW Golfin viidennelle mallisukupolvelle (2003–2008). Ajovastukset on määritetty vakioajonopeudella 80 km/h. Nousuvastuksen vaikutuksen arviointia varten taulukossa ovat vertailun vuoksi mukana myös ilmanvastuksen ja vierintävastuksen voittamiseen tarvittavat tehot. Pituuskaltevuudet on esitetty taulukossa välillä

1–10 % prosenttiyksikön välein. Taulukon oikeassa reunassa olevat eroprocentit esittävät kulutuksen kasvua tasamaahan nähden.

Taulukon 4.2 mukaan ilmanvastusteho kyseisellä automallilla ajonopeudella 80 km/h on 5.0 kW. Vierintävastusteho puolestaan on 3.0 kW. Nämä säilyvät tietysti vakiona tien kaltevuudesta riippumatta. Havaitaan, että jo 1 prosentin nousu aiheuttaa tehontarpeeseen 3.0 kW:n eli vierintävastustehon suuruisen lisäyksen. Kahden prosentin kaltevuus aiheuttaa jo suuremman tehontarpeen lisäyksen (6.0 kW) tasamaahan verrattuna kuin ilmanvastus (5.0 kW).

Taulukon 4.2 mukaan kulutus suunnilleen kaksinkertaistuu jo runsaan 4 %:n vastamäessä. Kulutus on tällä kaltevuudella 11.3 l/100 km, kun se tasamaalla on 5.7 l/100 km. Taulukon viimeisen ri-

vin mukaan 10 prosentin kaltevuus aiheuttaa jo yli 200 prosentin kasvun kulutukseen, joka on siis kolminkertainen tasamaahan nähden.

Maantiellä vastamäkeä seuraa usein myötämäki. Myötämässä nousuvastusvoima on samansuuruinen mutta vastakkaisuuntainen kuin vastamäessä. Myötämässä ”negatiivinen nousuvastus” vähentää moottorista tarvittavaa tehoa saman verran kuin se vastamäessä sitä lisää. Polttoaineenkulutus ei kuitenkaan yleensä alene myötämässä samassa suhteessa kuin se samansuuruisessa vastamäessä kasvaa, koska myötämässä moottorin kuormituksen keventyessä myös sen hyötysuhde yleensä alenee selvästi enemmän kuin se vastamäessä kasvaa. Tämän takia myötämäen antama hyöty ei usein ainakaan kokonaan kompensoi vastämäen aiheuttamaa kulutuslisää.

Taulukko 4.2 Nousuvastuksen aiheuttama tehontarve ja kulutus VW Golfilla, 80 km/h.

Kaltevuusprosentti	Ilmanvastusteho kW	Vier. vastusteho kW	Nousuvastusteho kW	Veto-pyörä-teho yht. kW	Moott. teho pyörille kW	Kok.teho moottorista kW	Energia moottorista kWh/100km	Moott. arv. hyötysuhde	Tarvitt. p-aine-energia kWh/100km	Poltto-aineen-kulutus l/100 km	Ero-% tasamaahan nähden
0.0	5.0	3.0	0.0	8.1	9.0	9.3	11.6	0.230	50.4	5.7	0
1.0	5.0	3.0	3.0	11.1	12.3	12.6	15.7	0.250	63.0	7.2	25
2.0	5.0	3.0	6.0	14.1	15.6	15.9	19.9	0.265	75.1	8.5	49
3.0	5.0	3.0	9.0	17.1	18.9	19.2	24.1	0.274	87.7	10.0	74
4.0	5.0	3.0	12.0	20.0	22.3	22.6	28.2	0.284	99.4	11.3	97
5.0	5.0	3.0	15.0	23.0	25.6	25.9	32.4	0.293	110.4	12.5	119
6.0	5.0	3.0	17.9	26.0	28.9	29.2	36.5	0.303	120.7	13.7	140
7.0	5.0	3.0	20.9	29.0	32.2	32.5	40.6	0.312	130.3	14.8	159
8.0	5.0	3.0	23.9	32.0	35.5	35.8	44.8	0.321	139.4	15.8	177
9.0	5.0	3.0	26.9	34.9	38.8	39.1	48.9	0.331	147.9	16.8	194
10.0	5.0	3.0	29.8	37.9	42.1	42.4	53.0	0.340	155.9	17.7	210

Luku 4: Polttoaine-energian jakautuminen

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Polttoaine kuluu moottori- ja voimansiirtohäviöihin, apulaitteisiin sekä ilman-, vierintä-, kiihdytys- ja nousuvastuksen voittamiseen.
- ☛ Ilmanvastusvoima kasvaa jyrkästi nopeuden kasvaessa. Pitkäperäisten korimallien ilmanvastus on usein pienempi kuin lyhytperäisten.
- ☛ Vierintävastus riippuu auton massasta, renkaista sekä tien pinnasta. Se pysyy Suomessa sallituilla ajonopeuksilla lähes vakiona nopeudesta riippumatta.
- ☛ Modernit pienen vierintävastuksen renkaat voivat pienentää kulutusta hitaila nopeuksilla jopa 0.3–0.4 l/100 km, jos kiihdytyksiä on vähän.
- ☛ Vajaa rengaspaine on suurin vierintävastusta kasvattava tekijä. Rengaspaineet kannattaa tarkistaa esim. joka toisen tankkauksen yhteydessä. Painetta kannattaa nostaa 10–20 % suositeltua korkeammaksi.
- ☛ Kiihdyttämiseen tarvittava energia riippuu auton massasta ja nopeusvälistä.
- ☛ Esimerkkiautolla noin 4 %:n (n. 2.3 astetta) vastamäki kaksinkertaistaa kulutuksen 80 km/h nopeudessa.

5 AUTON KIIHDYTTÄMINEN

Oikea tapa kiihdyttää ja kiihdytysten määrän minimointi ovat tehokkaita tapoja alentaa kulutusta. Olennaista on ennakointi: jos nopeutta ei voida ylläpitää, ei kannata kiihdyttää.

5 AUTON KIIHDYTTÄMINEN

Ajoneuvon kiihdyttäminen mahdollisimman taloudellisesti on monisäikeinen asia, ja siihen sisältyy paljon harhakäsityksiä. Tässä luvussa esitetään taustat ja tekniset perustelut oikeanlaiselle kiihdyttämiselle. Tiivistetyt käytännön ajo-ohjeet ajoneuvon kiihdyttämiseksi energiatehokkaasti ovat jäljempänä luvussa 8.4.

5.1 KIIHDYTTÄMISEEN TARVITTAVA ENERGIA

Päinvastoin kuin usein kuvitellaan, *kiihdytysnopeudella ei ole merkitystä massan kiihdyttämiseen tarvittavaan energiamäärään*. Energia muodostuu tehon ja ajan välisen kertolaskun tuloksena. On siis samantekevää, kiihdytetäänkö pienellä teholla pitkän ajan kuluessa vai suurella teholla lyhyessä ajassa. Lopputulos on auton vetopyöriltä vaadittavan energiamäärän kannalta molemmissa tapauksissa sama.

Myös energiaperiaatteen mukainen tarkastelu päättyy samaan lopputuloksen: kiihdyttämiseen tarvittava energia riippuu ainoastaan kiihdyttävästä massasta sekä kiihdytyksen nopeuserosta. Kun auto kiihdytetään paikaltaan nopeuteen v , sen liike-energia täytyy kasvattaa nolasta arvoon $E = \frac{1}{2} * m * v^2$, jossa m on auton massa, (ks. luku 4.5). Kiihdytysnopeudella ei siis tämänkään perusteella ole vaikutusta vetopyöriltä tarvittavaan energiaan.

5.2 MOOTTORIN HYÖTYSUHTEENVAIHTELU

Polttoaineenkulutuksen kannalta ei kuitenkaan ole yhdentekevää, miten liike-energiaa kerrytetään eli ajoneuvoa kiihdytetään. Tämä aiheutuu polttomoottorin ominaisuuksista eli sen *hyötysuhteen vaihtelusta* eri tavoin kiihdytettäessä.

Polttomoottorin hyötysuhde vaihtelee *moottorin kuormituksen ja pyörintänopeuden* mukaan. Eri tavoilla kiihdytettäessä moottorin kuormitus ja pyörintänopeudet vaihtelevat, jolloin myös moottorin hyötysuhde ja siihen kääntäen verrannollinen ominaiskulutus vaihtelevat. Kun hyötysuhde kasvaa, ominaiskulutus pienenee. Ominaiskulutus on kulutetun polttoaineen massa suhteutettuna moottorin tuottamaan energiaan eli sen tekemään työhön. Sen yksikkö on g/kWh, ja lukema alenee hyötysuhteen kasvaessa.

Polttoaineenkulutusta tarkasti mitattaessa se määritetään massana (grammoina) eikä tilavuutena (litroina), kuten arkielämässä, koska erilaatuisten polttoaineiden tiheys (massa tilavuusyksikköä kohti) vaihtelee, jolloin myös litrassa oleva energiamäärä vaihtelee.

Polttoaineenkulutus tietyn ajosuoritteen aikana määräytyy moottorista otettavan energian (kWh) ja kyseisen energiamäärän tuottamisen aikana moottorissa vallinneen ominaiskulutuksen



”Kiihdyttämiseen tarvittava energia riippuu ainoastaan kiihdytettävästä massasta sekä kiihdytyksen nopeuserosta.”

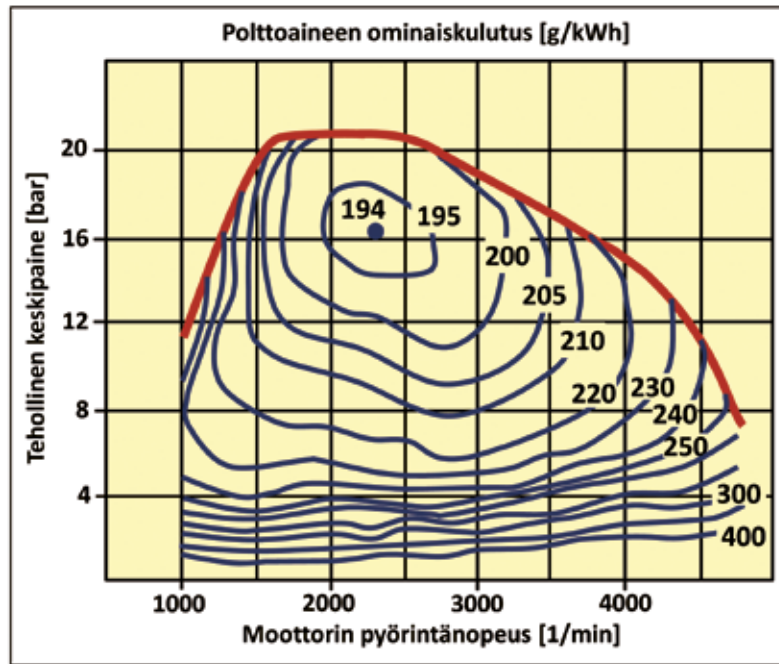
(g/kWh) välisen kertolaskun tuloksena ($\text{kWh} \cdot \text{g/kWh} = \text{g}$). Kuten edellä todettiin (luku 5.1), kiihdytykseen tarvittava energia eli kWh-määrä ei riipu kiihdytysnopeudesta, sen sijaan ominaiskulutus g/kWh riippuu. Kuljettajan tulisikin valita kiihdytystapa yksinomaan moottorin ominaisuuksien perusteella, eli hänen tulisi käyttää moottorin siten, että sen ominaiskulutus säilyisi koko kiihdytyksen ajan mahdollisimman pienenä, toisin sanoen hyötysuhde mahdollisimman suurena.

Polttomoottorin ominaiskulutus on yleensä alimmillaan korkeilla kuormatavoilla, mutta matalilla moottorin pyörintänopeuksilla. Pienimmän ominaiskulutuksen kuormataso on tyypillisesti kullakin pyörintänopeudella suunnilleen 80–90 prosentissa maksimimomentista, käytännössä siis kaasupoljinta melko syvään painettaessa. Optimaalinen pyörintänopeusalue taas on yleensä suurimman vääntömomentin kierrosluvun vaiheilla tai hieman sen alapuolella, yleensä kuitenkin käyttökelpoisen pyörintänopeusalueen puolivälin alapuolella.

Tarkka tieto moottorin ominaiskulutuksen minimikohdan kuormatasosta ja pyörintänopeudesta selviää kunkin moottorityypin ominaiskulutuskäyrästä. Tällaiset ovat

harvoin tavallisen kuluttajan käytettävissä, joten optimaalista ajotapa etsittäessä on usein käytännössä tyydyttävä polttomoottorin toimintaperiaatteisiin perustuviin yleistyksiin. Kuvassa 5.1 on esitetty VW Golfin viidennen sukupolven markkinoille tullessa (syksy 2003) käyttöön otetun 103 kW:n 2.0 TDI -dieselmootorin ominaiskulutuskäyrästä.

Kuvan 5.1 vaaka-akselilla on moottorin pyörintänopeus ja pystyakselilla tehollinen keskipaine, joka on suoraan vääntömomentista ja moottorin mi-



Kuva 5.1 VW Golfin (korimalli V) 2.0 TDI-mootorin (103 kW) ominaiskulutuskäyrästä (Mukaihen:ATZ/MTZ 2003, 64).

toista riippuvainen. Kuvan yläreunan käyrä on siis moottorin vääntömomenttikäyrän muotoinen.

Kuvan mukaan kyseisen moottorin pienin ominaiskulutusarvo on 194 g/kWh, joka on ajoneuvokoluokan polttomoottorille hyvä arvo. Vain dieselmoottorit voivat saavuttaa alle 200 g/kWh arvoja. Bensiinimoottorien pienimmät ominaiskulutukset ovat nykyään joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta suuruusluokassa 220–230 g/kWh.

Kuvassa näkyvä pienin ominaiskulutusarvo saavutetaan noin 2 300 l/min pyörintänopeudella, joka on hieman alle puolivälin kohdalla moottorin käyttökelpoisesta pyörintänopeusalueesta (1000–4500 l/min). Koska tässä vääntökäyrä on turboahmisen ja ahtopaineen rajoittamisen takia ”tasapäinen”, pienimmän ominaiskulutuksen pyörintänopeus osuu maksimivääntömomenttialueen keskivaiheille.

Pienin ominaiskulutus saavutetaan noin 16.5 barin tehollisella keskipaineella, joka on noin 80 % maksimiarvosta kyseisellä pyörintänopeudella, joka on noin 21 bar. Moottorin kuormatason sanotaan siis tässä pisteessä olevan 80 %.

Kuormatasaista puhuttaessa tarkoitetaan kutakin prosenttiosuutta siitä vääntömomentista ja tehosta, jonka moottori maksimissaan pystyy tarkasteltavalla pyörintänopeudella tuottamaan. Se ei siis tarkoita prosenttiosuutta moottorille ilmoitettavasta maksimitehosta, ellei tarkasteltavana ole nimenomaan kyseisen moottorin maksimitehon tuottama pyörintänopeus, joka kyseisellä VW:n TDI-moottorilla on 4000 l/min.

Henkilöautojen dieselmoottoreissa, joiden suurimman teho pyörintänopeus osuu tyypillisesti alueelle 3500–4500 l/min, ominaiskulutuksen minimi sijaitsee todennäköisesti pyörintänopeusalueella 1500–2500 l/min. Sen sijaan bensiinimoottoreissa, joiden suurimman tehon pyörintänopeus on tyypillisesti korkeampi, 5000–6000 l/min, ominaiskulutuksen minimalue sijaitsee yleensä suunnilleen pyörintänopeusalueella 2000–3000 l/min.

Kulutuksen kannalta optimaalisen toiminta-alueen käyttöä moottorissa rajoittaa se, että kyseinen alue tuottaa yleensä *aivan liian paljon tehoa* useimpia ajotilanteita ajatellen. Esimerkiksi kuvan 5.1 TDI-moottori tuottaa minimiominaiskulutuksen toimintapisteessä tehoa yli 60 kW, joka VW Golfin ajovastuksilla laskettuna riittää noin 170 km/h vakioajonopeuteen. Optimaalista moottorin toiminta-aluetta voidaan siis hyödyntää käytännössä vain lyhyesti kiihdytyksissä sekä kenties noustaessa jyrkkiä mäkiä maantienopeuksilla.

Olennainen osa oikeaoppista kiihdyttämistä on ennakoimalla aikaansaatu kiihdytysten määrän minimointi. On muistettava, että taloudellisinkin kiihdytystapa valuu hukkaan, jos saavutettu nopeus on pian kiihdytyksen jälkeen jarrutettava pois.

LUKU 5: Auton kiihdyttäminen

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Kiihdytyksessä vetopyöriltä tarvittava energia (kWh) määräytyy auton massan ja kiihdytettävän nopeuseron perusteella, eikä kiihdytysnopeus vaikuta siihen.
- ☛ Polttoaineenkulutus sen sijaan vaihtelee eri tavoin kiihdytettäessä.
- ☛ Eri kiihdytystapojen kulutuserot aiheutuvat moottorin hyötysuhteen vaihtelusta eri tavoin kiihdytettäessä.
- ☛ Kiihdytykset tulisi tehdä käyttäen niitä moottorin toiminta-alueita, joissa hyötysuhde on parhaimmillaan eli suurella kuormituksella, mutta pienillä kierroksilla.

6 POLTTOAINEENKULUTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Autoa on helppo syyttää suuresta kulutuksesta. Kuitenkin ajotavalla ja -olosuhteilla voi olla jopa suurempi vaikutus kulutukseen kuin autolla.

6 POLTTOAINEENKULUTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

6.1 AUTO, KULJETTAJA JA OLOSUHTEET

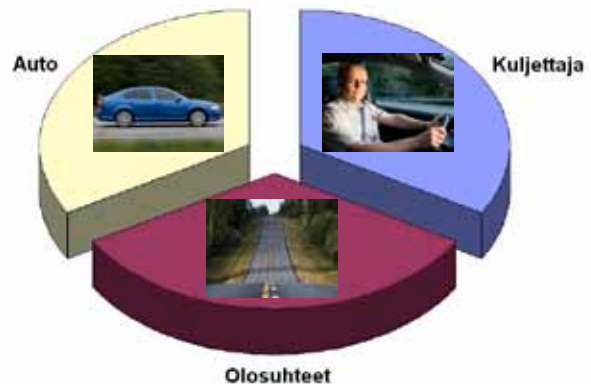
Polttoaineenkulutus muodostuu tietyn ajomatkan aikana *moottorista otettavan energian eli työn (kWh) ja moottorin ominaiskulutuksen (g/kWh)* välisen kerrotaskun tuloksena. Pienimpään polttoaineenkulutukseen päädytään tietysti silloin, kun moottori joutuu tekemään mahdollisimman vähän työtä ajomatkan suorittamiseksi ja kun se tekee työssä mahdollisimman matalalla ominaiskulutuksella eli korkealla hyötysuhteella. Toisin sanoen pieni kWh-määrä kerrottuna pienillä g/kWh-arvoilla antaa tulokseksi pienimmän määrän matkaan tarvittavia polttoainegrammoja.

Jos polttoaineenkulutus on korkeampi kuin haluttaisiin, arkisessa keskustelussa syytetään usein *autoa*. Tietenkin on totta, että auton koko, muoto ja massa vaikuttavat tietyn matkan ajamiseksi tarvittavaan kWh-määrään ja että moottorin ominaisuudet vaikuttavat ajon aikana vallitseviin g/kWh-lukemiin. *Auto* ei kuitenkaan ole *ainoa* kulutukseen vaikuttava tekijä.

Valitettavan usein jää huomaamatta, että *kuljettajan toiminnalla on suuri vaikutus* siihen, kuinka paljon työtä eli mekaanista energiaa otetaan moottorista ulos tietyn ajomatkan suorittamiseksi. Samoin saatetaan helposti unohtaa, että kuljettaja voi vaikuttaa siihen, kuinka suurella ominaiskulutuksella moottori mekaanista energiaa tuottaa. Kaikkiaan

kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen on useissa tilanteissa merkitykseltään karkeasti ottaen yhtä suuri kuin itse autonkin.

Lisäksi kulutukseen vaikuttaa voimakkaasti *ajotehtävän luonne eli ajamisen aikana vallitsevat olosuhteet*. Kulutus syntyy siis kolmen tekijän yhteisvaikutuksesta. Kyseiset kolme päätekijää on esitetty kuvassa 6.1.



Kuva 6.1 Polttoaineenkulutuksen kolme päätekijää.

Päätekijöiden välinen painoarvo eli merkityksellisyys toisiinsa nähden riippuu useista seikoista. Joissakin tilanteissa auton osuus on merkityksellinen, joissakin toisissa taas kuljettajan tai olosuhteiden. Tekijöiden keskimääräinen painoarvo on usein yhtä suuri.



*”...jo kuljettajasta riippuvien
tekijöiden runsas määrä osoittaa, että
kuljettajan osuus polttoainekulutuksen
muodostumisessa on erittäin merkittävä...”*

Auton osuus hallitsee polttoaineenkulutusta esimerkiksi lämpimällä säällä ajettavassa tasavauhtisessa pitkäkestoisessa matka-ajossa, jossa käytetään suurinta vaihdetta ja jolloin muun liikenteen runsaus pakottaa ajonopeudet maltillisiksi. Tällöin kuljettaja lähinnä ohjaa autoa, eikä vaikuta toimillaan kulutukseen kovinkaan merkittävästi. Lisäksi ajo-olosuhteet ovat kulutuksen kannalta ihanteelliset.

Kuljettajan osuus kulutuksen muodostumiseen korostuu esimerkiksi kesäolosuhteissa tapahtuvassa pitkäkestoisessa kaupunkiajossa, jolloin kylmäkäynnistyksiä ei esiinny. Tällöin kulutukseen ja ennen kaikkea sen minimointiin vaikuttavina yksittäistekijöinä ovat oikeanlainen vaihteiden käyttö, oikealla tavalla suoritettut kiihdytykset ja hidastukset, joutokäynnin poisjättäminen sekä erityisesti jarrutusten ja pysähdysten välttäminen eli kiihdytystarpeen minimointi ennakoimalla liikennetilanteet.

Olosuhteiden osuus kulutukseen puolestaan korostuu esimerkiksi silloin, kun kyse on talviaikaisesta työmatkatyypisistä lyhytkestoisista kaupunkiajosta ruuhkassa. Tällöin kulutusta lisäävät alhainen käynnistyslämpötila, tiheät kylmäkäynnistykset, moottorin käyminen alilämpöisenä, ruuhkan aiheuttamien pysähdysten aikaansaamat uudelleen kiihdyttämiset sekä tien pinnalla oleva vierintävastusta kasvattava lumi ja sohjo.

Auton vaikutusta on jo käsitelty luvussa 4, ja moottorin hyötysuhteen vaihtelua luvussa 5.2. Auton merkitystä tarkastellaan vielä jäljempänä luvussa 7. *Kuljettajan* vaikutusmahdollisuuksia kulutukseen

käsitellään yksityiskohdittain luvussa 8, ja *olosuhteiden* vaikutusta luvussa 9.

6.2 YKSITTÄISTEKIJÄT PÄÄTEKIJÖITTÄIN

Polttoaineenkulutukseen vaikuttavia seikkoja voidaan ryhmitellä monella tavalla. Esimerkiksi rengaspaine voidaan luokitella joko autosta tai kuljettajan toiminnasta riippuvaksi. Taulukkoon 6.1 on listattu 28 kulutukseen vaikuttavaa yksittäistä tekijää sen mukaan, riippuuko asia autosta, kuljettajasta vai olosuhteista.

Taulukon kulutukseen vaikuttavista seikoista ylimpänä ovat autosta riippuvat, joita on kaikkiaan 5. Seuraavana ovat kuljettajasta riippuvat, joita on peräti 15. Alimpana ovat olosuhdetekijät, joita on 8. Kuljettajasta riippuvia on siis enemmän kuin autosta ja olosuhteista riippuvia yhteensä.

Kaikki tekijät eivät ole painoarvoltaan yhtä merkittäviä, ja niiden merkittävyys toisiinsa nähden vaihtelee erilaisissa autoissa ja ajotilanteissa. Kuitenkin jo kuljettajasta riippuvien tekijöiden runsas määrä osoittaa, että kuljettajan osuus polttoaineenkulutuksen muodostumisessa on erittäin merkittävä, vaikka se usein aliarvioidaan tai jopa kokonaan unohdetaan.

Sekä auton, kuljettajan että olosuhteiden alle sijoituvien yksittäistekijöiden järjestys on taulukossa pyritty valitsemaan karkeasti tärkeysjärjestyksen mukaan siten, että tärkeimmät on mainittu ensin. Järjestys ei ole yksiselitteinen, koska eri tekijöiden painoarvo toisiinsa nähden ei välttämättä pysy samana erilaisissa autoissa ja ajotilanteissa.

Taulukko 6.1 Kulutukseen vaikuttavat yksittäistekijät päätekijöittäin.

Autosta riippuvat	Vaikutusmekanismi *)
Massa	kv, nv, vv
Korin koko ja muoto	iv
Moottorin hyötysuhde	hs
Voimansiirron hyötysuhde	hs
Renkaat	vv
Kuljettajasta riippuvat	Vaikutusmekanismi *)
Liikennetilanteiden ennakointi	kv
Ajonopeus	iv
Vaihteiden käyttö	hs
Kiihdytystapa	hs
Hidastustapa	kv
Vierintävastukseen vaikuttaminen	vv
Reitin valinta	kv
Ajoajankohdan valinta	kv
Joutokäynti	hs
Kylmäkäynnistykset	hs
Auton liikkeen hyödyntäminen	nv
Tuulen huomioonottaminen	iv
Moottorilämmittimen käyttö	hs
Auton apulaitteiden käyttö	mt
Auton lämmityslaitteen käyttö	mt
Olosuhteista riippuvat	Vaikutusmekanismi *)
Ajoreitin pysähtymistarpeet	kv
Tuulenoisuus ja -suunta	iv
Kyydissä oleva kuorma	vv, kv, nv
Maanpinnan korkeuserot	nv
Tien pinta	vv
Kylmäkäynnistyslämpötila	hs
Liikenneympäristön suunnittelu	kv
Ilman lämpötila ja -paine	iv

*) iv: ilmanvastus, vv: vier.vastus, kv: kiihd.vastus, nv: nousuvastus, hs: hyötysuhteet, mt: muut tekijät

Taulukossa 6.1 on kunkin tekijän kohdalle merkitty myös mekanismi, jonka kautta se kulutukseen vaikuttaa. Mekanismeja on 6 erilaista, ja ne ovat luvussa 4 käsitellyt ajovastuslajit (ilmanvastus, vierintävastus, kiihdytysvastus, nousuvastus), hyötysuhdetekijät sekä muut tekijät. Mekanismin ”muut tekijät” alle on listattu kaksi kuljettajasta riippuvaa tekijää.

Taulukosta ilmenee, että auton massa sekä siihen liittyen kyydissä oleva kuorma erottuvat selvästi muista kulutustekijöistä, koska niihin molempiin liittyviä vaikutusmekanismeja on peräti kolme, kun kaikkiin muihin seikkoihin liittyy vain yksi mekanismi. Massa on polttoaineenkulutuksen kannalta merkittävä, koska se vaikuttaa kulutukseen sekä kiihdytys-, nousu- että vierintävastuksen kautta.

6.3 YKSITTÄISTEKIJÄT VAIKUTUSMEKANISMEITTAIN

Edellisessä taulukossa esitetyt pääteki-
jöittäin jaotellut 28 polttoaineenkulu-
tukseen vaikuttavaa yksittäistekijää on
esitetty taulukossa 6.2 vaikutusmekani-
smiensa mukaisesti jaoteltuina. Jaot-
teluperusteena ovat kuusi vaikutus-
mekanismia eli neljä ajovastuslajia, hyö-
tysuhdetekijät sekä muut tekijät. Kun-

Taulukko 6.2 Kulutukseen vaikuttavat yksittäistekijät vaikutusmekanismeittain.

Ilmanvastus	Päätekijä *)
Auton korin koko ja muoto	A, (K)
Ajonopeus	K
Tuulenoisuus ja -suunta	O
Tuulen huomioonottaminen	K
Ilman lämpötila ja -paine	O
Vierintävastus	Päätekijä *)
Auton massa	A, (K)
Rengaspaine	K
Renkaat	A, (K)
Kyydissä oleva kuorma	O, (K)
Tien pinta	O, (K)
Kiihdytysvastus	Päätekijä *)
Auton massa	A, (K)
Ajoreitin pysähtymistarpeet	O
Liikennetilanteiden ennakointi	K
Kyydissä oleva kuorma	O, (K)
Hidastustapa	K
Liikenneympäristön suunnittelu	O
Reitin valinta	K
Ajoajankohdan valinta	K
Nousuvastus	Päätekijä *)
Auton massa	A, (K)
Maanpinnan topografia	O
Kyydissä oleva kuorma	O, (K)
Auton liikkeen hyödyntäminen	K
Voimalinjan hyötysuhde	Päätekijä *)
Moottorin hyötysuhde	A, (K)
Voimansiirron hyötysuhde	A, (K)
Vaihteiden käyttö	K
Kiihdytystapa	K
Joutokäynti	K
Kylmäkäynnistyksen	K
Kylmäkäynnistyslämpötila	O
Moottorilämmittimen käyttö	K
Muut tekijät	Päätekijä *)
Auton apulaitteiden käyttö	K
Auton lämmityslaitteen käyttö	K

*) A: aubo, K: kuljettaja, O: olosuhteet

kin vaikutusmekanismin alle listattujen tekijöiden järjestys on jälleen osapuilleen tärkeysjärjestys.

Taulukon 6.2 kuhunkin yksittäistekijään on liitetty maininta siitä, mihin kuvan 6.1 kolmesta päätekijästä (auto, olosuhteet, kuljettaja) kukin tekijä liittyy. Merkintä A viittaa autoon, O olosuhteisiin ja K kuljettajaan. Autosta riippuviin tekijöihin on merkitty sulkuihin K-kirjain, koska kuljettajalla on usein ollut mahdollisuus valita auto, jolla hän ajaa, eli hänellä on ollut mahdollisuus vaikuttaa välillisesti autosta riippuviin kulutustekijöihin.

Kyydissä oleva kuorma on kirjattu taulukkoon olosuhdetekijäksi, mutta sen yhteyteen on sulkuihin lisätty myös kuljettajaa osoittava kirjain, koska kuljettajalla on mahdollisuus vaikuttaa ainakin siihen, että turhaa kuormaa ei autossa kuljetettaisi. Samoin tien pinta on merkitty olosuhdetekijäksi, mutta K-kirjain on lisätty, koska kuljettaja voi kulumisurissa ajamista välttämällä alentaa vierintävastusta.

Taulukkoon 6.2 listattuja yksittäistekijöitä on kaikkiaan 32 kpl eli neljä enemmän kuin taulukossa 6.1. Tämä johtuu siitä, että auton massa sekä kyydissä oleva kuorma vaikuttavat kumpikin kolmen mekanismin eli vierintä- kiihdytys- ja nousuvastuksen kautta. Nämä kaksi yksittäistekijää on siis listattu taulukossa 6.2 kolmeen kertaan.

Taulukosta 6.2 ilmenee, että listatut 32 polttoaineenkulutustekijää jakaantuvat kuuden vaikutusmekanismin mukaisesti jaoteltuna seuraavasti:

• Ilmanvastukseen liittyvät	5 kpl
• Vierintävastukseen liittyvät	5 kpl
• Kiihdytysvastukseen liittyvät	8 kpl
• Nousuvastukseen liittyvät	4 kpl
• Hyötysuhteeseen liittyvät	8 kpl
• Muihin tekijöihin liittyvät	2 kpl
YHTEENSÄ	32 kpl

Eri vaikutusmekanismeihin liittyvien tekijöiden kappalemäärät eivät välttämättä kuvaa mekanismien välisiä painoarvoeroja. Eri mekanismien merkittävyys toisiinsa nähden vaihtelee runsaasti ajotilanteiden mukaan. Esimerkiksi taulukon 6.2 voimalinjan hyötysuhteeseen liittyvistä kahdeksasta tekijästä ainoastaan kaksi ensimmäistä vallitsee silloin, kun ajetaan vakionopeudella suurimmalla vaihteella matka-ajoa lämpimällä moottorilla.



LUKU 6: Polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Kulutukseen vaikuttavat päätekijät ovat auto, kuljettaja ja olosuhteet.
- ☛ Jokaisella näistä on merkittävä vaikutus, eikä haluttua suuremmasta kulutuksesta voida syyttää yksin autoa.
- ☛ Päätekijöiden painoarvo vaihtelee ajotilanteiden mukaan: toisinaan auton osuus on merkittävin, joskus taas kuljettajan tai olosuhteiden.
- ☛ Autosta riippuvat tekijät ovat välillisesti myös kuljettajasta riippuvaisia: kuljettajalla on usein ollut mahdollisuus valita auto, jolla hän ajaa.
- ☛ Kunkin päätekijän alla on lukuisia kulutukseen vaikuttavia yksittäistekijöitä.
- ☛ Kuljettajasta riippuvia yksittäistekijöitä on enemmän kuin autosta ja olosuhteista riippuvia yhteensä.
- ☛ Kulutukseen vaikuttavat mekanismit ovat: eri ajovastuslajit (luku 4), hyötysuhteet sekä muut tekijät.
- ☛ Auton massa ja kyydissä oleva kuorma vaikuttavat kulutukseen kolmen vastusmekanismin kautta, eli niillä on siihen suuri vaikutus.

7 AUTON VAIKUTUS POLTTOAINEENKULUTUKSEEN

Kulutusta pyritään alentamaan minimoimalla ajovastukset ja maksimoimalla hyötysuhteet. Autoilijoiden tottumukset ja asenteet saattavat hidastaa tätä kehitystä.

7 AUTON VAIKUTUS POLTTOAINEENKULUTUKSEEN

Autosta riippuvat kulutukseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa *ajovastustekijöihin ja hyötysuhdetekijöihin*. Minimikulutusta tavoiteltaessa *ajovastukset pyritään minimoimaan ja hyötysuhteet maksimoimaan*. Kun ajovastukset on minimoitu, auto tarvitsee liikkuaan mahdollisimman vähän tehoa ja energiaa, ja kun hyötysuhteet on maksimoitu, tarvittava minimoitu teho ja energia pystytään tuottamaan vetopyörille mahdollisimman pienin häviöin. Lopputuloksena on pienin mahdollinen polttoainekulutus.

7.1 AJOVASTUKSET

Ajovastukset vakionopeudella ovat ilmanvastus ja vierintävastus (luku 4). Ilmanvastaus kasvaa voimakkaasti ajonopeuden noustessa, mutta vierintävastus säilyy (lähes) vakiona. Ajovastuksia pystytään teknisesti vähentämään mm. pienentämällä ja keventämällä autoja, mutta kaikki ostajat eivät ole valmiita tätä hyväksymään.

Kun auton nopeutta kiihdytetään, moottoriteho on voitettava ilman- ja vierintävastuksen lisäksi *kiihdytysvastus*. Ja jos auto ajaa vastamäkeen, tehoa on löydettävä *nousuvastuksen* voittamiseen. Korkeimmillaan tehontarve on vastamäkeen kiihdytettäessä. Sekä kiihdytys- että nousuvastukseen vaikuttavista tekijöistä tärkein on auton massa. Massan kasvu kasvattaa sekä kiihdytys- että nou-

suvastusta, mutta jonkin verran myös vierintävastusta.

Autojen massa on kasvanut viime vuosikymmeninä. Syynä ovat olleet lähinnä kolariturvallisuuden sekä auton mukavuusvarusteluun liittyvät tekijät. Lisäksi autojen koko on useimmiten kasvanut: yleensä uusi malli on ollut suurempi kuin samaniminen edeltäjänsä. Joissakin tapauksissa saman valmistajan nykyinen pienin malli on jopa suurempi kuin toiseksi pienin malli oli takavuosina.

Esimerkiksi 2010-luvun VW Polo on suurempi ja selvästi painavampi kuin isomman sisarensa Golfin ensimmäinen sukupolvi, joka tuli markkinoille 1974. Nykyisen Polon ja ensimmäisen Golfin pituudet ovat 3970 mm / 3705 mm, akselivälit 2456 mm / 2400 mm sekä omamassat 1067 kg / 780 kg. Kokoluokkien muutos ja erityisesti massan kasvu on selvästi havaittavissa.

Autojen keventäminen onkin yksi tämän päivän autonsuunnittelun tärkeimmistä haasteista. Trendinä on uusien materiaalien, kuten suurlujuusterästen, alumiinin ja komposiittien käyttö, sekä tietokoneavusteisen suunnittelun hyödyntäminen. Aivan viime vuosina markkinoille onkin tullut automalleja, jotka ovat olleet kevyempiä kuin edeltäjänsä. On todennäköistä, että kevennystavoitteiden takia autojen koko pienenee ja ehkä myös varustelun määrä pienenee tulevaisuudessa.

”Autojen massa on kasvanut viime vuosikymmeninä. Syyinä ovat olleet lähinnä kolariturvallisuuden sekä auton mukavuusvarusteluun liittyvät tekijät.”



7.2 HYÖTYSUHTEET

Hyötysuhdetekijöihin kuuluvat moottorin, voimansiirron sekä apulaitteiden hyötysuhteet. Moottorin hyötysuhde (ks. tarkemmin luku 5.2) on parhaimmillaan korkeilla kuormilla ja pienillä pyörintänopeuksilla. Tämän takia erityisesti kiihdytettäessä on mahdollisuus valita, millaisella hyötysuhteella moottori toimii. Ripeä kiihdytys aikaisin suurempiin vaihteisiin vaihtoen saa moottorin toimimaan parhaalla hyötysuhteella ja antamaan pienimmän kulutuksen.

Vakionopeuksilla ei moottorin parasta hyötysuhdealuetta pystytä yleensä käyttämään, koska silloin tehontuotto on niin suuri, että ajonopeudet nousisivat selvästi korkeammiksi kuin nopeusrajoitukset sallivat. Tulisimme toimeen nykyistä selvästi pienempitehoisilla moottoreilla, joiden hyötysuhde käytännön ajossa olisi nykyisiä moottoreita parempi.

Voimansiirron hyötysuhteen parantaminen on lähinnä autonsuunnittelijoiden tehtävä, eikä kuljettaja voi siihen vaikuttaa. Voimansiirron hyötysuhde on yleensä 90 prosentin suuruusluokkaa. Käsivalintainen mekaaninen vaihteisto on hyötysuhteeltaan parempi kuin perinteinen hydraulista momentinmuunninta käyttävä automaattivaihteisto.

Vaihteistojen suunnittelussa pyritäänkin yhdistämään käsivalintaisen vaihteiston korkea hyötysuhde automaatin käytön vaivattomuuteen. Ratkaisuna näihin vaatimuksiin on markkinoille tullut muun muassa ns. kaksoiskytkinvaihteistoja (esim.

VW:n DSG, saks. Direktschaltgetriebe, engl. Direct Shift Gearbox) sekä robotisoituja käsivalintaisen tyyppisiä vaihteistoja, jossa kytkimen käyttö sekä vaihteensiirto on automatisoitu.

Myös portaattomia vaihteistoja (CVT, continuous variable transmission) käytetään jossain määrin. Niissä on parhaat mahdollisuudet valita kuhunkin ajotilanteeseen sopivin moottorin pyörintänopeus. Toisaalta niiden mekaaninen hyötysuhde saattaa olla pienempi ja luotettavuus kenties huonompi kuin käsivalintaisissa vaihteistoissa. Perinteisen automaattivaihteistonkaan kehitys ei ole polkenut paikallaan: momentinmuuntimen luisto on vähentynyt, ja entistä useammassa ajotilanteissa vaihteistoon lukittuu kiinteä yhteys moottorin ja veto- pyörien välille.

Vaihteiden lukumäärä on viime vuosina lisääntynyt: käsivaihteisissa 6-vaihteiset ovat yleistyneet ja automaattivaihteistoja on 8-vaihteisia. Suurempi määrä vaihteita lisää mahdollisuuksia käyttää optimaalisia moottorin pyörintänopeuksia eri ajotilanteissa.

Voimansiirron komponenttien valmistustarkkuus sekä pinnankarheudet ovat kehittyneet hyötysuhdetta parantavaan suuntaan. Osa voimansiirron hyötysuhteesta muodostuu vaihteistossa ja veto- pyörästössä käytettävän voiteluöljyn ominaisuuksien perusteella. Uusin valmistustarkkuus sekä öljyteknologia mahdollistavat viskositeetiltaan aikaisempia matalampien (ohuempien) öljyjen käytön voitelukyvyyn säilyessä ennallaan. Ohuet öljyt parantavat voimansiirron hyötysuhdetta. Uusis-

ta öljyistä huolimatta voimansiirron häviöt ovat kuitenkin kylmänä edelleen korkeammat kuin normaalissa käyttölämpötilassa.

Apulaitteiden hyötysuhteen kasvattamista on alettu pitää tärkeänä vasta viime vuosina. Uusimmissa autoissa monet apulaitteet ovat nykyisin sähkökäyttöisiä, kun ne aiemmin saivat käyttövoimansa moottorilta, usein hihnavedon välityksellä. Nykyisin usein sähkökäyttöiseksi muuttuneita apulaitteita ovat esimerkiksi ohjaustehostin, moottorin vesi- ja öljypumppu sekä toisinaan myös ilmastointilaite.

Sähkökäyttöinen ohjaustehostus kuluttaa tehoa vain silloin, kun tehostusta tarvitaan, eli pyöriä käännettäessä pienillä ajonopeuksilla. Aikaisemmat, mekaanisesti pyöritettyyn hydraulipumppuun perustuneet järjestelmät, kuluttavat hieman tehoa myös suoraan ajettaessa, mikä on täysin turhaa. Ensimmäisten sähköisten ohjaustehostinten antama ohjaustuntumaa on moitittu keinotekoiseksi, mutta uusimmat järjestelmät alkavat saavuttaa ominaisuuksiltaan aikaisempia, pitkän kokemuksen myötä hyviksi hioutuneita hydraulisia tehostimia. Käytössä on myös sähkömoottorilla pyöritettäviä mutta muutoin perinteisen tyyppisiä hydraulisia tehostintyyppisiä.

Perinteisesti moottorin jäähdytysnesteen kiertämisestä huolehtiva vesipumppu on ollut mekaaninen. Mekaaninen pumppu pyörii täydellä tehollaan riippumatta siitä, kuinka suurta jäähdytystehoa kussakin ajotilanteessa tarvitaan. Uusimmat pumput ovat sähkökäyttöisiä ja elektronisesti

ohjattuja, jolloin tehoa kulutetaan vain silloin, kun sitä tarvitaan. Kun moottori on kylmä, voidaan pumpun tehoa rajoittamalla samalla nopeuttaa moottorin lämpenemistä, mikä osaltaan pienentää polttoaineenkulutusta.

Myös moottorin voitelusta huolehtiva öljypumppu voidaan toteuttaa sähköisenä ja elektronisesti ohjattuna. Tällä ratkaisulla aikaansaattava hyötysuhteen paraneminen syntyy saman periaatteen mukaisesti kuin sähköisessä vesipumpussakin.

Apulaitteiden hyötysuhdetta kasvattaviksi tekijöiksi voidaan laskea myös ns. mikrohybridiratkaisut, joissa aktivoidaan normaalia suurempi-tehoinen laturi hidastamaan auton nopeutta jarrutusten aikana ja tuottamaan sähköä normaalin starttiakun lataamiseksi. Useissa ns. start-stop-järjestelmissä, jotka sammuttavat ja käynnistävät moottorin automaattisesti liikennevaloissa, laturia käytetään myös käynnistinmoottorina

Käyttöön on tulossa myös ns. ISG-järjestelmiä (integrated starter-generator). Näissä käytetään moottorin kylkeen asennetun laturin asemesta polttomoottorin ja vaihteiston väliin sijoitettua sähkökonetta, jolla hoidetaan sekä laturin että startin tehtävät. Siitä myös saadaan lisätehoa kiihdytystilanteisiin, ja sillä voidaan ottaa talteen jarrutusenergiaa. Kyseessä on siis eräänlainen kevythybridi. Energianmuuntoprosessin hyötysuhteen kasvattamiseen tähtäävästä hybriditekniikasta kerrotaan lisää luvussa 10.

7.3 ECO-MOODI JA SEN KÄYTTÖ

Monissa uusissa ja uudehkoissa automalleissa kuljettajalla on valittavanaan auton toimintoihin vaikuttavat esimerkiksi Economy- ja Sport-moodit tai vastaavat. Joissakin autoissa valinnanmahdollisuuksia on jopa kolme (esim. Eco, Normal ja Power).

Ensimmäiset autoihin ilmestyneet tämäntyyppiset valintamoodit liittyivät automaattivaihteistoon toimintaan eli lähinnä siihen, millä kierrosluvuilla ja kuormatasoilla vaihteisto vaihtaa suuremmille vaihteille. Myöhemmin, elektronisten ohjaustoimintojen kehittyttyä, mukaan tulivat myös vaikuttaminen kaasupolkimen vasteeseen sekä ilmastointilaitteen toimintaan.

Jos autossa on pelkästään automaattivaihteistoon vaikuttava Eco-moodi, sitä kannattaa käyttää. Tällöin suuremmille vaihteille vaihdetaan jo pienillä ajonopeuksilla, eikä pienemmille vaihdeta kovin helposti kuormituksen kasvaessa. Tällöin moottorin pyörintänopeus säilyy matalana, mikä on eduksi taloudellisuudelle (ks. luvut 8.3 ja 8.4).

Tilanne sen sijaan tilanne muuttuu, jos auton toimintamoodit vaikuttavat kaasupolkimen vasteeseen. Eco-moodia käytettäessä, kun kaasupoljinta painetaan normaalisti, moottorin kuormitus jää normaalimoodia matalammaksi, ja *kiihdyttäminen tapahtuu helposti liian pienellä kuormituksella* moottorin parhaan hyötysuhteen antavaan kuormitustasoon nähden (ks. luvut 5.1, 5.2 ja 8.4).

Lisäksi Eco-moodin aikaansaama autoa ”laiskista-va” eli reagointia kaasupolkimeen lieventävä vaikutus antaa helposti kuljettajalle väärän signaalin siitä, että taloudellisen ajamisen tulisi muka olla hidastelua, ja että kiihdyttämisen tulisi tapahtua mahdollisimman verkkaisesti. Lisäksi, jos Eco- ja normaalimoodia käytetään vaihdellen, kuljettaja hämääntyy, koska kaasupolkimen käytön vaikutus auton etenemiseen vaihtelee. Tällöin sopivan kaasupolkimen painamisen määrän opettelu eri ajotilanteissa vaikeutuu.

Kun kirjoittaja osallistui Autoliiton EcoTour 2011 -taloudellisuusajokilpailuun Toyota Priuksella, mis- sään vaiheessa Eco-moodin käyttö ei ollut edes harkinnan kohteena ollut vaihtoehto. Lopputulok- sena oli kuitenkin keskikokoisten sarjavalmisteis- ten bensiiniautojen pienin kulutus kovavauhtisessa kilpailussa tuloksella noin 4.4 l/100 km.

Eco-moodien olemassaolon tarpeellisuus voidaan kaiken kaikkiaan kyseenalaistaa. Ne on ilmeisesti tarkoitettu kuljettajille, joilla ei ole minkäänlaista käsitystä auton kulutukseen vaikuttavista tekijöis- tä. Epävarmaa on, saavatko tällaisetkaan kuljet- tajat etua sen käytöstä. Hyödyllisempää olisi, jos Eco-moodi vaikuttaisi auton jarru- eikä kaasupol- jinta turruttavasti. Tällöin kuljettajan olisi pakko sopeuttaa kaasupolkimen käyttönsä siten, että jarrutusten tarve vähenisi. Näin saataisiin aikaan todellista polttoaineensäästöä.

Lisäksi, jos Eco-moodissa auto ei tunnu kulke- van halutulla tavalla, kuljettaja helposti turhautuu. Hän ilmeisesti vaihtaa normaalimoodiin ja kenties

ikään kuin ”kostaa” autolle sen tehottomuuden ajamalla ehkä jonkin aikaa tavanomaista aggressiivisemmin, jolloin seurauksena on korkeita kierroksia, turhaa jarruttelua ja polttoaineen tuhlausta.

Auton ilmastointi- ja lämmityslaitteen käyttämiseksi mahdollisimman taloudellisesti *ei välttämät-*

tä tarvita erityistä Eco-moodia, olipa kyse sitten pelkkään ilmastointiin tai useampiin auton toimintoihin (myös ilmastointiin) vaikuttavasta Eco-moodista. Edellytyksenä tosin on, että kuljettaja on perehtynyt ilmastointi- ja lämmityslaitteen aiheuttaman energiankulutuksen muodostumiseen (ks. luku 8.15). Lisäksi kuljettajan tulee tuntea autonsa kyseisten laitteiden toiminta.



TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Autosta riippuvat kulutustekijät jakaantuvat ajovastus- ja hyötysuhdetekijöihin.
- ☛ Minimikulutukseen pyrittäessä ajovastukset minimoidaan ja hyötysuhteet maksimoidaan.
- ☛ Autojen keventäminen pienentää vastuksia ja on yksi tärkeimmistä nykyisistä suunnittelutavoitteista.
- ☛ Hyötysuhteisiin kuuluvat moottorin, voimansiirron sekä apulaitteiden hyötysuhteet.
- ☛ Moottorin paras hyötysuhde saavutetaan suurilla kuormilla ja pienillä pyörintänopeuksilla.
- ☛ Moottorin parasta hyötysuhdealuetta voidaan yleensä käyttää laillisesti vain kiihdytettäessä.
- ☛ Vaihteistojen suunnittelussa mekaanisen vaihteiston hyvä hyötysuhde pyritään yhdistämään automaatin vaivattomuuteen.
- ☛ Sähköisesti käytettävät apulaitteet (esim. ilmastointi, ohjaustehostin, vesi- ja öljypumppu) ovat energiatehokkaampia kuin perinteiset mekaaniset apulaitteet.
- ☛ Monentyyppiset hybridijärjestelmät yleistynevät tulevaisuudessa. Niiden tavoitteena on parantaa energiamuunnosten hyötysuhdetta.
- ☛ Jos autossa on automaattivaihteistoon vaikuttava Eco-moodi, sitä kannattaa käyttää.
- ☛ Sen sijaan kaasupolkimen vasteeseen vaikuttavan Eco-moodin antama hyöty on kyseenalainen.

8 KULJETTAJAN VAIKUTUS POLTTOAINEENKULUTUKSEEN

Kuljettaja voi vaikuttaa kulutukseen monilla ajotapaan liittyvillä keinoilla. Lisäksi hän voi vaikuttaa siihen jo ennen ajoon lähtöä mm. ajoreitin ja -ajankohdan valinnalla sekä talvisaikaan moottorin esilämmityksellä. Pitkällä tähtäimellä hän voi pienentää kulutustaan valitsemalla taloudellisen auton.

8 KULJETTAJAN VAIKUTUS POLTTOAINEENKULUTUKSEEN

Seuraavassa on esitetty kuljettajan toiminnan ja valintamahdollisuuksien piirissä olevien polttoaineenkulutukseen vaikuttavien tekijöiden vaikutusmekanismia ja säästöpotentiaalia. Tekijöitä on listattu 15 kpl, ja ne selostetaan kukin omassa alaluvussaan taulukon 6.1 mukaisessa järjestyksessä.

8.1 LIKENNETILANTEIDEN ENNAKOINTI

Liike-energia riippuu auton massasta ja nopeuden toisesta potenssista. Joka kerta, kun nopeutta nostetaan, tarvitaan ylimääräistä energiaa verrattuna siihen, että ajettaisiin vakionopeudella. Liikkeessä olevalla massalla on siis suuri arvo sinänsä.

Kiihdyttämiseen kuluva lisäenergiatarpeen voi minimoida minimoimalla ajon aikana tapahtuvat hidastukset ja pysähtymiset. Mitä vähemmän täytyy ajonopeutta liikenne-esteiden takia hidastaa, sitä pienempi on tilanteen jälkeinen uudelleen kiihdyttämisen tarve ja sitä pienemmäksi jää polttoaineenkulutus.


Kaikkein epäedullisinta polttoaineenkulutukselle on jarrujen käyttö. Silloin kalliilla polttoaineella aikaansaatu liike-energiaa muunnetaan kitkan avulla lämmöksi, joka päättyy hukkaan. Periaatteessa jarrujen käyttäminen on taloudellisuuden kannalta ajateltuna järjetöntä, vaikka onkin toisinaan välttämätöntä. Usein jarrutuksilta voidaan kuitenkin

kin välttyä tarkkailemalla edessä olevaa liikennettä mahdollisimman kaukana ja reagoimalla havaintoihin ajoissa oikealla tavalla.

Lukijan mieleen saattaa nousta kysymys, että jos kerran jarrutuksia pitää välttää, onko jarrupolkimen painaminen sitten pahin virhe, minkä kuljettaja voi nopeutta säädellessään tehdä? Vastaus kuuluu, että tavallaan vain kyseistä hetkeä ajatellen kyllä, koska juuri jarrun painaminen muuntaa auton liikettä lämmöksi.

Mutta mikä saakaan yleensä aikaan jarrutuksen tarpeen? Se on tietenkin kaasupolkimen vääranlainen käyttö jarrutustarvetta edeltäneessä tilanteessa. Käytännössä kyse on liiallisesta ja/tai liian pitkään jatkuneesta kaasupolkimen painamisesta. Tulevaan hidastustarpeeseen ei siis ole reagoitu ajoissa. Monia kuljettajia vaivaa valitettavasti eräänlainen ”levottoman jalan” oireyhtymä: kaasua ja jarrua pumpataan vuoron perään, mikä on erittäin ajattelematonta ja epätaloudellista ajonopeuden säätelyä.

Hidastuksia voidaan minimoida ja pysähdyksiä välttää seuraamalla katseella liikennettä mahdollisimman kaukana edessä ja tekemällä tarvittava ajonopeuden vähentäminen mahdollisimman ajoissa. Mitä aikaisemmin hidastaminen tehdään, sen pienemmällä hidastuksella tullaan toimeen ja sitä pienemmäksi jäävät sekä uudelleen kiihdyttämisen tarve että kiihdyttämisestä aiheutuva lisäkulutus.

A photograph taken from the driver's perspective inside a car. The driver is a man with short brown hair, wearing sunglasses and a blue polo shirt with a yellow stripe on the sleeve. He is holding the steering wheel with both hands. The car's dashboard and center console are visible. In the background, a road with a yellow and red striped barrier is visible. The rearview mirror shows the driver's reflection. A quote is overlaid on the bottom left of the image.

”Mitä vähemmän täytyy ajonopeutta liikenne-esteiden takia hidastaa, sitä pienempi on tilanteen jälkeinen uudelleen kiihdyttämisen tarve ja sitä pienemmäksi jää polttoainenkulutus.”

Tyypiesimerkki ennakoinnista on punaisen liikennevalon lähestyminen. Kenenkään perillepääsyä ei nopeuta sekunnillakaan, jos ajetaan täydellä nopeudella kohti punaista valoa ja jarrutetaan nopeus nollaan vasta viime tingassa. Seurauksena on kiihdyttämisen tarve nollanopeudesta alkaen, eli auton liike-energian kerryttäminen uudelleen tyhjistä haluttuun loppunopeuteen saakka. Viime hetken jarrutuksissa *kulutetaan lisäksi renkaita sekä jarrupaloja* täysin turhaan.

Toinen, älykkäämpi vaihtoehto on hidastaa nopeutta ajoissa, jolloin punainen valo ehtii todennäköisesti vaihtua vihreäksi. Tällöin tilanteesta selvittää vain pienellä nopeuden pudotuksella, eli vain pienellä osalla siitä uudelleen kiihdyttämisen tarpeesta, joka olisi seurannut täydellisestä pysähtymisestä. Valojen vaihtumisajankohtaa voi joissakin risteyksissä ennakoida havainnoimalla risteävän tien ja lankulkuvalojen vaihtumista.

Ennakoiden ajavan kuljettajan matkanteko on leppoisa ja jouheaa. Lisäksi hän saattaa liikennevaloristeyksen saavutettuaan ajautua luonnostaan viehisellä kaistalla paikaltaan lähtien epätoivoisesti kiihdyttävän ”kuuma-Kallen” edelle, joka itsevarmasti – kenties vain muutamia kymmeniä metrejä ennen risteystä – oli ohittanut ennakoivaa ajotapaa noudattavan kuljettajan, ja kenties vielä osoittanut tälle paheksuvia elkeitä.

Ennakoiva ajotapa ei hidasta perille pääsyä, pikeminkin päinvastoin. Lisäksi auton jarrupalat ja renkaat kestävät pitempään, muikin auton huollon tarve ja käytössä kuluminen pysyy vähäisempänä,

ja myös kuljettajan ja matkustajien mieliala säilyy rauhallisena ja leppoisana stressikiikhotilan asemesta. Täten myös turvallisuus paranee.

Ennakoimattomassa ajotavassa on kysymys lähinnä vääränlaisesta asenteesta, joka panee ihmiset luulottelemaan itselleen, että aggressiivinen ajotyyli veisi heidät aikaisemmin perille. Toistaiseksi tämän kirjoittaja ei ole vielä tavannut autoilijaa, jonka ajomatkan lopullinen määränpää olisi ollut ”se liikennevalotolppa siinä Keskus- ja Kauppakadun kulmassa”.

Itselleen kannattaakin esittää kysymys: ”Hyödyttääkö tosiaan, jos olen autollani *muutamaa sekuntia aikaisemmin tienvarressa törröttävän liikennevalotolpan kohdalla*, koska en kuitenkaan pääse jatkaamaan matkaa ennen kuin valo vaihtuu?”

Joskus väitetään, että ennakoiva ajotapa haittaisi liikenteen sujumista. Tämä ei yleisesti ottaen pidä paikkaansa. Tarkastellaanpa tilannetta, jossa paikallaan seisova autojono lähtee liikkeelle risteyksestä. Tällöin yleensä ainakin osa kuljettajista reagoi liian hitaasti edessä olevan auton liikkeellelähtöön, jolloin jonoon saattaa muodostua useankin auton mittainen tyhjä tila.

Seurauksena on se, että yhden vihreän valon aikana risteyksestä ehtii vähemmän autoja läpi kuin siinä tilanteessa, jossa autojen välimatka ei kasva liian pitkäksi. Välimatkat eivät venähdä silloin, kun autojono pysyy koko ajan liikkeessä, vaikka hitaasakin. Ennakoivasti ajaen useampi auto ehtii siis ajaa risteyksen läpi yksillä vihreillä valoilla.

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen

8.1 Liikennetilanteiden ennakointi

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Liikkeessä olevalla massalla on suuri arvo sinänsä. Tavoitteena tulisi olla liikkeen ylläpitäminen eli hidastusten välttäminen, jolloin uudelleen kiihdyttämisten tarve minimoituu.
- ☛ Jarrujen käyttö on periaatteessa aina energiantuhlausta.
- ☛ Jarrituksen tarve syntyy liikaa tai liian pitkään jatkuneesta kaasupolkimen painamisesta jarrutustarvetta edeltäneessä tilanteessa.
- ☛ Ennakoimalla liikenne-esteet eli hidastamalla mahdollisimman aikaisin selvittää usein pienellä hidastuksella voimakkaan jarrituksen tai täydellisen pysähtymisen asemesta.
- ☛ Ennakoiva ajotapa vähentää auton kulumista, huollontarvetta ja ajamisen stressaavuutta sekä lisää turvallisuutta.
- ☛ Ennakoiva ajotapa ei hidasta perille pääsyä.
- ☛ Usein ennakointi edistää myös liikenteen sujumista: kun autojono pysyy liikkeessä, useampi auto ehtii risteyksestä läpi yhdellä vihreällä.

8.2 AJONOPEUS

Ilmanvastusteho kasvaa nopeuden kolmannessa potenssissa. On selvää, että nopeuden lisääminen kasvattaa tehontarvetta ja polttoaineenkulutusta jyrkästi. Kulutuksen kasvu on kuitenkin usein vähäisempää kuin tehontarpeen kasvu, koska moottorin kuormituksen lisääntyessä sen hyötysuhde yleensä paranee.

Kulutus kasvaa ilmanvastustehon kasvua loivemmin myös siksi, että ilmanvastus on vain osa ajovastuksista: vierintävastus säilyy käytännössä vakiona nopeuden muuttuessakin. Silti kulutuksen riippuvuus ajonopeudesta on merkittävä: maantienopeuksilla samalla vaihteella ajettaessa kulutus kasvaa suunnilleen *samassa suhteessa kuin ajonopeus*. Nopeuden puolitoistakertaistaminen (esim. 80 km/h => 120 km/h) karkeasti ottaen puolitoistakertaistaa polttoaineenkulutuksen (esim. 6 l/100 km => 9 l/100 km). Taloudellisuuteen pyrittäessä onkin hyvä muistaa, että mikään ei pakota ajamaan suurinta sallittua nopeutta varsinkaan moottoreilla, jossa suurin sallittu nopeus on suuri, ja jossa ohittaminen on helppoa.

Kaupunkikulutus on yleensä selvästi suurempi kuin maantiekulutus, vaikka ajonopeudet ovat pieniä. Tärkein syy tähän ovat tiheät kiihdytykset, joiden aiheuttama energiantarpeen lisäys on selvästi suurempi kuin pienistä ajonopeuksista aiheutuva ilmanvastuksen voittamiseen kuluvan energian väheneminen. Tosin hybridiauton ollessa kyseessä maantiekulutus saattaa ainakin moottoritienopeuksilla nousta helposti kaupunkikulutusta suurem-

maksi, koska hybrideillä saavutetaan taitavasti ajon poikkeuksellisen pieniä kulutuslukemia erityisesti kaupunkiajossa.

Taloudellisin ajonopeus

Usein esitetään kysymys siitä, mikä olisi *kaikkein taloudellisin ajonopeus*. Yleensä se on ainakin teoreettisesti ottaen pienin nopeus, jolla moottori jaksaa autoa vaivattomasti liikuttaa suurimmalla vaihteella. Tämän nopeuden määräytymisessä ratkaisevassa asemassa ovat moottorin vääntöominaisuudet, vaihteiston välityssuhteet sekä ajovastukset. Usein tämä ajonopeus osuu alueelle 50–60 km/h.

Käytännössä näin pientä ajonopeutta on turvallista ajaa jatkuvasti vain teillä, joiden nopeusrajoitus 60 km/h. Näin matala rajoitus on usein valittu sellaisille tieosuuksille, joiden varrella on asutusta ja risteyksiä. Risteyksissä ajovuoroja jaetaan usein liikennevalojen avulla, joten ajoon tulee helposti pysähtelyä ja uudelleen kiihdyttämisen tarvetta, mikä kasvattaa kulutusta. Käytännössä näin matalalla nopeusrajoitusalueella ei kulutusminimiä useinkaan saavuteta muutoin kuin hetkellisesti pysähdysten välillä.

Edellä kuvatuista syistä edullisin polttoaineenkulutus saavutetaan käytännössä hieman suuremmilla ajonopeuksilla, noin 70–80 km/h. Tämänäsuuruisia jatkuvia nopeuksia pystytään turvallisimmin käyttämään tieosuuksilla, joiden nopeusrajoitus on 70 tai 80 km/h. Tällaisilla teillä on liikenne-esteitä harvemmin kuin edellä mainituilla alempien nopeusrajoitusten osuuksilla, joten kertaalleen saavutettua nopeutta voidaan helpommin pitää yllä.

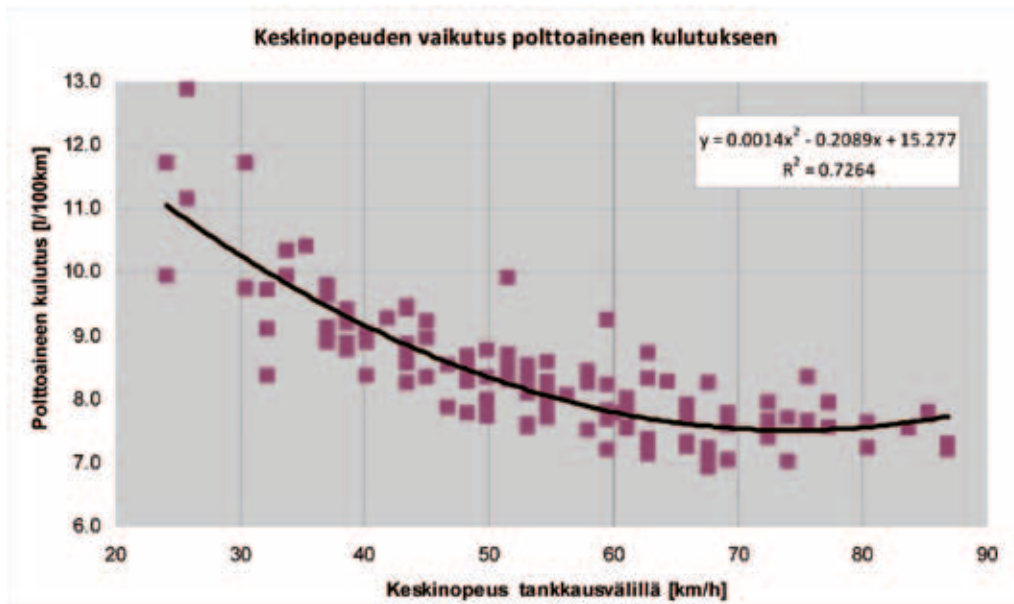
Keskinopeuden vaikutus kulutukseen

Keskinopeuden vaikutusta kulutukseen voidaan seurata tankkausvälikohtaisista kulutuslukemista, joiden yhteyteen on kirjattu auton ajotietokoneen määrittämä keskinopeus samalta matkalta.

Kirjoittajan kirjanpidon mukaan pienin tankkausvälikohtainen kulutus on osunut keskinopeuksille 70–75 km/h (kuva 8.1). Tätä pienemmillä nopeuksilla ajo on ollut kaupunkivoittoisempaa sisältäen pysähtelyitä ja uudelleen kiihdyttämisen tarvetta,

mikä on kasvattanut kulutusta. Kulutusminimin antanutta keskinopeusaluetta suuremmilla nopeuksilla kulutusta on puolestaan lisännyt ilmanvaihdon kasvu nopeuden mukana.

Tankkausvälikohtaisia keskinopeuksia tarkasteltaessa on muistettava, että sama keskinopeus voidaan saavuttaa ajamalla suunnilleen vakionopeutta tai nopeuksia vaihdellen. Sekalaisessa auton käytössä tankkausvälille osuu yleensä monenlaista ajoa, eli nopeusvaihteluita sekä pysähtymistarpeita, jotka kasvattavat kulutusta.



Kuva 8.1 Kirjoittajan kirjanpitoon perustuvat kulutukset kunkin tankkausvälin keskinopeuden mukaan. VW Passat 1.8T bens. vm. 1998, 5-vaiht. manuaali, n. 68 000 km, 118 tankkausta, keskimääräinen tankkausväli 570 km.

Edellä kuvatusta seuraa, että tankkausvälin keskinopeuden kulutus on yleensä *suurempi kuin vastaavan vakionopeuden kulutus*. Tämän osoittaa esimerkiksi Tekniikan Maailma -lehdessä (6/1997) julkaistut vakionopeuskulutukset kuvan 8.1 automallille. TM:n kulutustulos vakionopeudella 70 km/h on 6.1 l/100 km, kun kuvan 8.1 osoittama lukema sekalaisessa ajossa tällä keskinopeudella on ollut 7.5 l/100 km. Sekalaisen ajon kulutus on ollut 23 % suurempi kuin vastaavan vakionopeuden.

Keskinopeuden alentuessa kulutusero vakio- ja keskinopeuskulutusten välillä kasvaa, koska pienillä nopeuksilla ajoon sisältyy enemmän kulutusta kasvattavia pysähdyksiä ja kiihdytyksiä. Esimerkiksi

nopeudella 50 km/h TM:n mittaama vakionopeuskulutus on 5.7 l/100 km, kun keskinopeuskulutus (kuva 8.1) on 8.4 l/100km (47 % korkeampi).

VW Golfin tehontarve ja kulutus eri ajonopeuksilla

Taulukossa 8.1 on esitetty tässä kirjassa käytetyn esimerkkiauton (VW Golf, mallisukupolvi V) tehontarpeet sekä polttoaineenkulutukset 1.6 FSI -moottorilla eri vakioajonopeuksilla. Taulukko perustuu kirjoittajan suorittamaan laskentaan, joka pohjautuu auton ajovastusparametreihin sekä moottorin ja voimansiirron ominaisuuksiin, sekä Tekniikan Maailma -lehden (9/2004) tekemiin mittauksiin.

Taulukko 8.1 Ajonopeuden vaikutus polttoaineenkulutukseen VW Golf, viides mallisukupolvi, 1.6 FSI -bensiinimoottori.

Ajonopeus [km/h]	Kokonais- teho moottorista [kW]	Poltto- aineen kulutus [l/100 km]	Kulutusero 100 km/h nähdän [l/100 km]	Kulutusero 100 km/h nähdän [%]	Nopeusero 100 km/h nähdän [%]
60	5.2	5.2	-1.5	-23	-40
70	7.0	5.4	-1.3	-19	-30
80	9.3	5.7	-0.9	-14	-20
90	12.1	6.2	-0.5	-7	-10
100	15.5	6.7	0.0	0.0	0
110	19.6	7.3	0.6	10	10
120	24.5	8.0	1.3	20	20
130	30.1	8.6	2.0	30	30
140	36.7	9.4	2.8	42	40
152	45.7	10.5	3.9	58	52
160	52.6	11.2	4.5	68	60
170	62.2	12.2	5.6	84	70
180	73.0	13.6	7.0	105	80
190	85.0	15.6	9.0	135	90
200	98.3	18.3	11.6	175	100

Taulukoitu kokonaisteho sisältää ajovastuksiin, voimansiirtohäviöihin sekä apulaitteisiin kuluvaan tehon. Apulaitteiden arvioitaessa on oletettu vain välttämättömien sähkökuluttajien olevan käytössä.

Taulukkoon 8.1 on laskettu kulutuksen absoluuttinen sekä suhteellinen muutos ajonopeuden 100 km/h kulutukseen nähden. Havaitaan, että ajonopeuden alentaminen nopeudesta 100 km/h nopeuteen 80 km/h alentaa kulutusta 0.9 litralla 100 kilometriä kohti eli 14 prosentilla. Nopeuden nostaminen 100 km/h:sta 120 km/h:iin puolestaan kasvattaa kulutusta 1.3 litralla 100 kilometriä kohti eli 20 prosentilla. Kulutuksen kasvuprosentti on siis täsmälleen sama kuin nopeuden kasvuprosentti. Sama pätee myös verrattaessa toisiinsa kulutuksia nopeuksilla 100 km/h ja 130 km/h.

Autoilla, jotka kuluttavat esimerkkitapauksena käytettyä VW Golfia enemmän, myös kulutuksen absoluuttiset muutokset ovat taulukon esimerkkiä suurempia. Kuitenkin jo edellä puheena ollut 1.3 litran kulutuslisä sataa kilometriä kohti (nopeuden nostolla 100 km/h:sta 120 km/h:iin) aiheuttaa esimerkiksi jo 450 km:n matkalla noin 10 euron lisäkustannuksen bensiinin hinnalla 1.70 €/l.

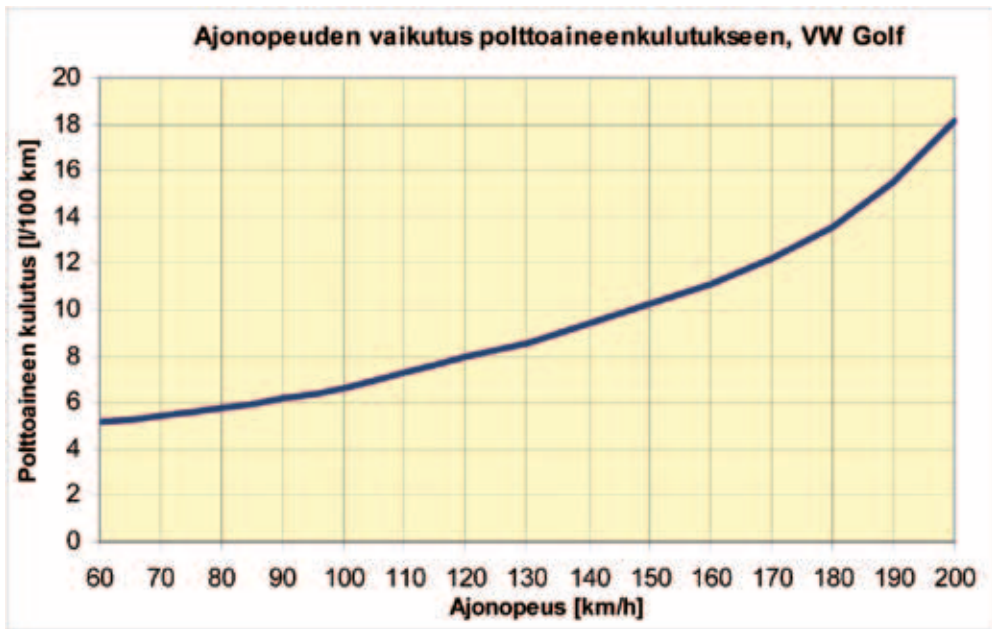
Nopeuden alentaminen moottoritiellä 120 km/h:stä 90 km/h:iin tuottaisi taulukon 8.1 mukaan kulutusvähenemän 1.8 l/100 km (-22.5 %). Tästä aiheutuu noin 3 euron säästö 100 kilometriä kohti. Säästö esimerkiksi Helsingin ja Tampereen tai H:gin ja Turun välisellä matkalla (n. 170 km) olisi yli 5 euroa, ja edestakaisella matkalla yli 10 euroa.

Edestakaisella matkalla (2 * 170 km) polttoainetta tarvittaisiin noin 27 litraa, jos nopeus olisi 120 km/h. Nopeudella 90 km/h polttoainetarve jäisi noin 21 litraan. Vähennyistä olisi noin 6 litraa. Tällöin ilmastonmuutokseen vaikuttava hiilidioksidipäästö vähenisi noin 14 kg:lla, koska jokainen bensiinilitra tuottaa palaessaan noin 2.35 kg hiilidioksidia.

Taulukossa 8.1 on esitetty myös tarvittava moottoriteho eri ajonopeuksilla. Tehossa ovat mukana ilman- ja vierintävastus, voimansiirtohäviöt sekä apulaitteisiin, käytännössä laturiin kuuluva teho, kun vain välttämättömät sähkökuluttajat ovat käytössä.

Taulukon 8.1 mukaan moottorista tarvittava teho kasvaa 15.5 kW:sta 24.5 kW:iin eli lähes 1.6-kertaiseksi nopeuden kasvaessa 100 km/h:sta 120 km/h:iin. Kuitenkin kulutus kasvaa muutoksen seurauksena vain 1.2-kertaiseksi. Kulutuksen kasvua tehontarpeen kasvuun verrattuna hillitsee se, että tehontarpeen eli kuormituksen kasvaessa myös moottorin hyötysuhde kasvaa, eli sen ominaiskulutus alenee.

Taulukossa 8.1 esitetyt kulutusarvot on esitetty havainnollistamisen vuoksi myös graafisessa muodossa kuvassa 8.2. Kuvasta näkyy selvästi ajonopeuden lisääntymisestä aiheutuva kulutuksen kasvu sekä kasvun jyrkkeneminen nopeuden lisääntyessä.



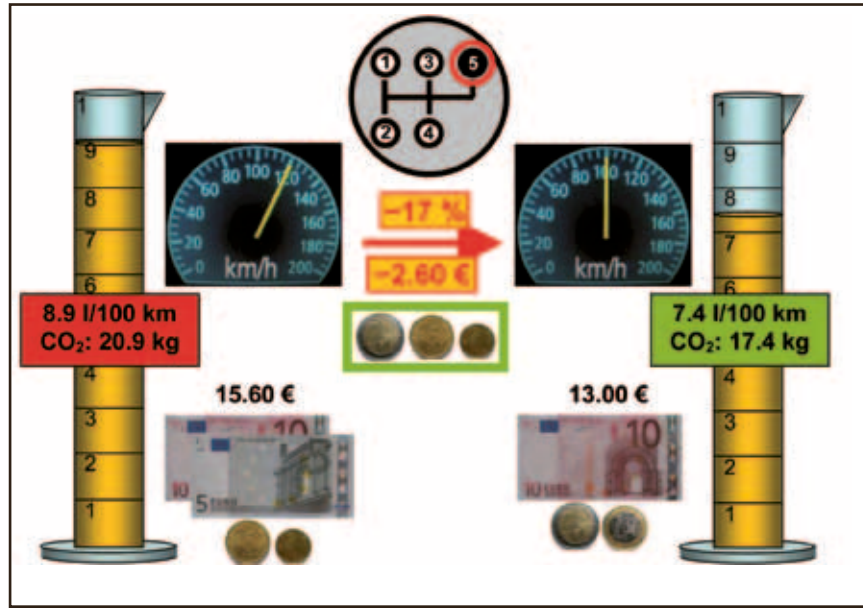
Kuva 8.2 Graafinen esitys ajonopeuden vaikutuksesta polttoaineenkulutukseen, VW Golf, viides mallisukupolvi, 1.6 FSI -bensiinimoottori.

Pienimpään maantiekulutukseen kullakin ajonopeudella päästään yleensä vakionopeutta ajamalla. Jos vertailukohtina olisivat vakioajonopeus 100 km/h tai nopeuksien 80 km/h ja 120 km/h vaihtelu siten, että keskinopeudeksi muodostuu sama 100 km/h, vakionopeuden kulutus olisi pienempi, koska nopeuden kasvattaminen 120 km/h:iin nostaa kulutusta enemmän kuin nopeuden alentaminen 80 km/h:iin sitä alentaa. Vakionopeuskulutus nopeudella 100 km/h on 6.7 l/100 km, kun nopeuksien 80 km/h ja 120 km/h keskiarvokulutus olisi noin 6.9 l/100 km.

Nopeusmuutoksen vaikutus kulutukseen Saab 9-5:llä

VW Golfin lisäksi ajonopeustarkastelun kohteena on ollut toinen esimerkkiauto, 2-litraisella bensiinikäyttöisellä turbomoottorilla varustettu Saab 9-5 -farmari. Kyseisen auton polttoaineenkulutukset 5-vaihteella ajonopeuksilla 120 km/h ja 100 km/h on esitetty kuvassa 8.3. Kyseessä ovat Turun ammattikorkeakoulun autoinsinööriopiskelijoiden laboratorioharjoituksissaan tuottamat mittaustulokset.

Kuvan mukaan nopeuden vähentyessä 120 km/h:stä 100 km/h:iin kulutus alenee lukemasta 8.9 l/100 km lukemaan 7.4 l/100 km. Vähennyksen on 17 %, ja rahallinen säästö on 2.60 €/100 km. Laskelma on tehty bensiinin huippuhinnalla 1.75 €/l (syyskuun lopulla 2012). Käytännössä nopeuden alentamisella saavutettava säästö tarkoittaa esimerkiksi sitä, että kuljettaja ansaitsee vähintäänkin ilmaiset kahvit 100 km:n välein.



Kuva 8.3 Saab 9-5 -farmarin (2.0-litrainen bensiiniturbo) kulutukset vakionopeuksilla 120 ja 100 km/h. (Lähde: Turun AMK:n opisk. lab. harjoitukset).

Kuvaan 8.3 on laskettu myös hiilidioksidituotto 100 ajokilometriä kohti. Ajonopeudella 120 km/h CO₂-tuotto kyseisellä autolla olisi 20.9 kg/100 km (= 209 g/km) ja ajonopeudella 100 km/h se olisi 17.4 kg/100 km (= 174 g/km).

Ajonopeuksien valinta mäkisessä maastossa

Paljon käydään myös keskustelua siitä, olisiko maantieajossa polttoainekulutukselle eduksi, jos ajonopeuden annettaisiin vaihdella maaston mukaan, eli antaa nopeuden pudota vastamaissa ja kasvaa myötämässä. Tähän on vaikeaa antaa kaikki autot ja tilanteet kattavaa yksiselitteistä vastausta.

Liike-energian kerryttäminen massalle eli ajonopeuden lisääminen tarvitsee saman energiamäärän, tehtiinpä nopeuden nosto hitaasti tai nopeasti. Sama pätee mäennousuun eli potentiaalienergian (asemaenergian) kerryttämiseen. Siihen vaikuttavat vain auton massa ja nousukorkeus. Nopeuden vähentäminen vastamaissa ei siis vähennä mäennousuun vetopyöriltä tarvittavan energian määrää. Se kyllä vähentää nousuun tarvittavaa tehoa, mutta samalla lisää kiipeämiseen tarvittavaa aikaa, joten tarvittava energiamäärä ei muutu.

Nopeuden vähentäminen sen sijaan vähentää ilmanvastusta ja sen voittamiseen tarvittavaa tehoa ja energiaa. Toisaalta, jos nopeutta vastamäessä vähennetään, moottorin kuormitus laskee ja sen ominaiskulutus todennäköisesti kasvaa. Polttoaineensäästöä syntyy vain, jos ilmanvastustehon pieneneminen vaikuttaa kulutukseen enemmän kuin kuormituksen vähenemisestä aiheutuva ominaiskulutuksen kasvu.

Mahdollinen kulutusmuutos vastamäessä hidastettaessa on varsin pieni, ellei nopeutta vähennetä niin runsaasti, että ilmanvastus vähenee olennaisesti. Tällöin aikaansaatava polttoaineensäästö olisi periaatteessa sama, joka aiheutuisi tasamaallakin nopeutta ja ilmanvastusta vähennettäessä. Vastamäellä ei siis olisi siihen osuutta.

Jos moottoriteho on niin pieni, että vastamäessä kaasu olisi pidettävä pohjassa, nopeutta kannattaa vähentää. Nopeuden kannattaa antaa hidastua myös vastamäissä, joiden jälkeen seuraa myötämäki. Jos auton nopeus on myötämäen alkaessa suurin sallittu, mäkeä laskettaessa voi syntyä jarrutustarve ylinopeuden välttämiseksi. Sama pätee tasamaaltakin alkaville myötämäkiosuuksille. Taloudellisuuden kannalta *myötämäessäkin ei kannata jarruttaa*, ei pyöräjarruilla eikä moottorilla. Sen sijaan myötämäessä annetaan nopeuden hieman kasvaa.

Myötä- ja vastamäkiajon problematiikkaa on käsitelty myös jäljempänä luvussa 8.11.



Vakionopeussäätimen vaikutus kulutukseen

Vakionopeussäätimen vaikutus kulutukseen *ei ole yksiselitteinen*. Jos vertailukohtana on levottomasti kaasu- ja jarrupoljinta käyttävä kuljettaja, säädin voi tuoda säästöä ainakin silloin, jos maasto on tasainen. Sen sijaan mäkisessä maastossa, jossa säädin yrittää väkisin pitää nopeuden yllä vastamäessä, eikä salli sen kasvavan myötämäessä, säädin todennäköisesti kasvattaa kulutusta tarkkaan kuljettajaan nähden.

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen

8.2 Ajonopeus

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Maantienopeuksilla kulutusta kasvattaa ilmanvastuksen kasvu nopeuden noustessa.
- ☛ Kulutus kasvaa suunnilleen samassa suhteessa kuin ajonopeus. Esim. nopeuden nosto 80 km/h:sta 120 km/h:iin puolitoistakertaistaa kulutuksen.
- ☛ Kaupunkikulutus on suuri kiihdytysten takia, vaikka nopeudet ja ilmanvastus ovat pieniä.
- ☛ Taloudellisin ajonopeus on (lähes) pienin nopeus, jota voidaan ajaa suurimmalla vaihteella, käytännössä n. 70–80 km/h.
- ☛ Vaihtelevan ajon kulutus tietyllä keskinopeudella on yleensä suurempi kuin vastaavalla vakionopeudella.
- ☛ Pienimpään maantiekulutukseen päästään vakionopeutta ajamalla.
- ☛ Ajonopeuden pieni alentaminen vastamäessä ja vastaavasti pieni nopeudenlisäys myötämässä saattavat alentaa kulutusta. Nopeuden alentaminen vastamäessä on tarpeen, jos on vaara, että muutoin jouduttaisiin myötämässä jarruttamaan (jarruilla tai moottorilla).
- ☛ Vakionopeussäädin saattaa pienentää kulutusta tasaisessa maastossa, mutta saattaa kasvattaa sitä mäkisessä maastossa.

8.3 VAIHTEIDEN KÄYTTÖ

Vaihteiden käyttö vaikuttaa suoraan moottorin käyttämiin pyörintänopeuksiin ja sitä kautta moottorin kuormitusasteeseen, hyötysuhteeseen sekä polttoaineenkulutukseen. Samalla ajonopeudella käytettävä suurempi vaihde alentaa moottorin pyörintänopeutta, useimmiten kasvattaa moottorin suhteellista kuormitusta, yleensä parantaa hyötysuhdetta ja alentaa kulutusta.

Periaatteessa taloudellisin vaihde on yleensä *suurin vaihde, jolla moottori vetää tasaisesti eikä aiheuta ylimääräisiä ääniä eikä värähtelyitä*. Moottorin pyörintänopeus tulisi siis pyrkiä pitämään matalana. Pieniin pyörintänopeuksiin pyrittäessä on syytä muistaa, että kulloinenkin tehon tarve vaikuttaa: pienellä teholla eli *vakionopeudella tai myötämässä voidaan yleensä käyttää suurempaa vaihdetta* kuin samalla nopeudella kiihdytettäessä tai vastamässä.

Tämä tarkoittaa käytännössä esimerkiksi sitä, että autolla voidaan ehkä hyvinkin käyttää suurinta vaihdetta jo nopeudella 60 km/h loivaa myötämää ajettaessa, vaikka tasamaalla tai ainakin vastamässä havaittaisiin kuulo- tai tuntoaistilla epämiellyttävää ääntä tai tärinää, joka on merkinä tarpeesta vaihtaa pienemmälle vaihteelle. Jollakin toisella automallilla sama pätee ehkä jo 50 km/h tai ehkä vasta 70 km/h nopeudessa. Kullakin vaihteella ajettavissa oleva pienin ajonopeus riippuu moottorin ominaisuuksista sekä autonvalmistajan valitsemista vaihteiston välityssuhteista.

Tehontarve vaihtelee maanpinnan muotojen lisäksi myös nopeusmuutosten mukaan: pienellä teholla eli vakionopeudella tai nopeutta hidastettaessa voidaan usein käyttää suurempaa vaihdetta eli pienempää moottorin pyörintänopeutta kuin kiihdytettäessä.

Tarkkoja ohjeita siihen, milloin tulisi vaihtaa kullekin vaihteelle, ei voida antaa, koska kyseessä on automallikohtainen asia, johon vaikuttavat moottorin ominaisuudet, välityssuhteet, auton massa ja kuormitus, ajovastukset, ajotilanne ja -olosuhteet jne.

Oikeat vaihtamiskohdat sekä pienimmät kullakin vaihteella ajettavissa olevat ajonopeudet oppii *kokeilemalla, kuuntelemalla ja tunnustelemalla*. Nykyiset, erityisesti ahdetut, moottorit on suunniteltu ja osattu saada antamaan riittävästi tehoa huomattavasti matalammilla pyörintänopeuksilla kuin takavuosisikymmenten moottorit, joten erityisesti iäkkäämmillä kuljettajilla saattaa olla tarvetta uudelleenasennoitumiseen, jotta matalien pyörintänopeuksien hyödyntämisestä tulisi automaattista ja luontevaa.

Matalien käyntinopeuksien käyttö on kuitenkin syytä rajoittaa lähes tai täysin käyntilämpimään moottoriin. Moottorin ollessa kylmä on yleensä järkevää käyttää hieman korkeampia pyörintänopeuksia eli vedättää kullakin vaihteella hieman suurempiin nopeuksiin kuin lämpimällä moottorilla. Näin toimiminen on järkevää moottorin hyvinvoinnin kannalta, ja lisäksi tämä nopeuttaa hieman moottorin lämpenemistä.

Erityisesti vuosikymmeniä sitten oli tapana ajatella, että moottori karstoittuu, jos sitä käytetään jatkuvasti pienillä pyörintänopeuksilla. Nykyisten kehittyneiden poltto- ja voiteluaineiden aikana karstoittumisvaara on pienempi. Toisinaan voi silti olla hyvä antaa moottorille vaihtelua nostamalla kierroslukua ja kuormaa tavanomaista korkeammalle. Usein tämä tapahtuu luonnostaan, koska silloin tällöin saattaa normaaliajossakin tulla tarvetta kiihdyttää autoa lähes maksimaalisesti.

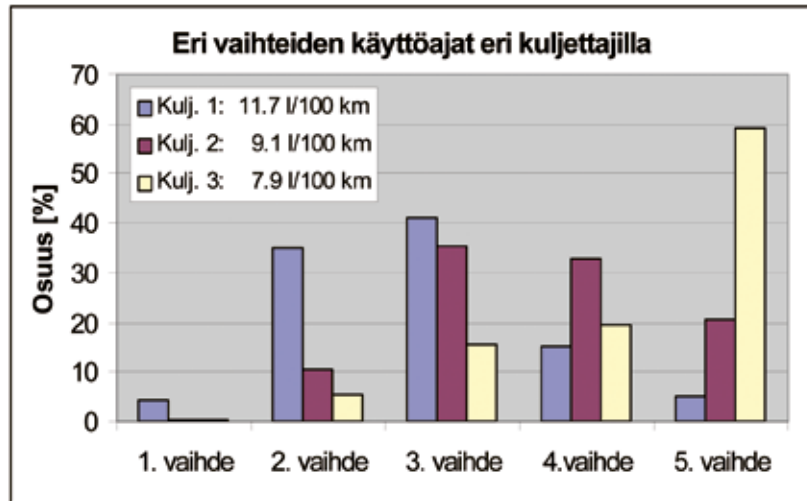
Takavuosina saattoi joissakin autoissa myös ilmetä ongelmia vaihteiston kestävyudessa, jos autoa vedettiin voimakkaasti suurimman osan aikaa suurilla vaihteilla ja pienillä kierroksilla. Nämäkin ongelmat ovat tekniikan kehittyessä vähentyneet. Toisaalta, järjen käyttäminen ja kohtuullisuuden mielessä pitäminen on aina sallittua. Jos tiedät ajavasi autolla, jonka vaihteisto on kestävyydeltään huonomainen, ole herkkänä vaihtamaan pienemmälle, kun moottorin kuormitus kasvaa.

Viime vuosina yleistyneiden dieselmoottorien käyttökelpoinen pyörintänopeusalue on yleensä hieman ottomoottoria alhaisempi ja kapeampi. Tämän ovat autonvalmistajat tosin ottaneet huomioon välityssuhteita valitessaan. Kuitenkin kuljettajan, joka siirtyy bensiinimoottorista dieseliin, tulee pitää mielessä, että totuttua pienemmät pyörintänopeudet riittä-

vät auton liikuttamiseen. Esimerkiksi ajotilanteessa, jossa ainakin ei-ahdettu bensiinimoottori vaatisi pyörintänopeuden 3000 I/min käyttöä, dieselille useimmiten riittää 2000 I/min. Tosin uudet turboahdetut bensiinimoottorit toimivat jouheasti yhtä pienillä kierroksilla kuin dieselitkin.

Kuvassa 8.4 on esitetty Tuulilasi-lehden aikanaan julkaisemat Audi AG:n mittaamat kolmen eri kuljettajan kulutustulokset samalta ajoreitiltä. Kukin kuljettajista käytti vaihteita hyvin eri tavalla, vaikka ajoi reitin läpi samassa ajassa.

Kuvasta ilmenee, että kuljettaja n:o 3 (vaaleat pylväät oikealla) käytti suuria vaihteita selvästi enemmän kuin kaksi muuta kuljettajaa. Hänen ajosuoritteestaan lähes 60 % tapahtui 5-vaihteella, kun



Kuva 8.4 Audi AG:n mittaamat kolmen eri tavalla vaihteita käyttäneen kuljettajan kulutustulokset samalta ajoreitiltä.

taas kuljettaja n:o 1 käytti 5-vaihdetta vain noin 5 %:n verran ajosuoritteesta.

Eniten suurimpia vaihteita käyttäneen kuljettajan kulutustulos oli 7.9 l/100 km, kun taas eniten pikkuvaihteita käyttäneen tulos oli peräti 11.7 l/100

km. Eniten keskimmäisiä vaihteita käyttäneen kuljettajan kulutustulos oli 9.1 l/100 km osuen kahden äärikuljettajan väliin. Tulokset ovat selvät, eikä eniten pikkuvaihteilla ajaneen kuljettajan 48 %:n kulutuslisä taloudellisimpaan kuljettajaan nähden jatkoselittelyä kaipaa.

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen

8.3 Vaihteiden käyttö

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Periaatteessa taloudellisin vaihde on suurin vaihde, jolla moottori vetää tasaisesti eikä aiheuta ylimääräisiä ääniä eikä värähtelyitä.
- ☛ Tarvittava moottorin pyörintänopeus riippuu tehontarpeesta: tasamaalla tai myötämäessä, voidaan käyttää suurempaa vaihdetta kuin samalla nopeudella vastamäessä tai kiihdytettäessä.
- ☛ Pienimmät nopeudet, joilla voidaan kullakin vaihteella ajaa, ovat automallikohtaisia. Ne selviävät kokeilemalla, kuuntelemalla ja tunnustelemalla.
- ☛ Nykyiset, erityisesti ahdetut, moottorit toimivat jouheasti huomattavasti pienemmillä pyörintänopeuksilla eli suuremmilla vaihteilla kuin vanhemmat.
- ☛ Kylmällä moottorilla on syytä käyttää hieman korkeampia pyörintänopeuksia kuin lämpimällä. Moottorin hyvinvointi lisääntyy ja sen lämpeneminen nopeutuu.
- ☛ Nykyisillä poltto- ja voiteluaineilla moottorin karstoittumisen riski on pienempi kuin ennen, vaikka pyörintänopeudet pidetään matalina.
- ☛ Dieselmoottorin pyörintänopeusalue on matalampi ja kapeampi kuin ottomoottorin.
- ☛ Dieseliä tarvitsee harvoin kierrättää kiihdytettäessä yli 2000 l/min, kun taas ainakin ahtamatonta ottomoottoria saatetaan joutua vedättämään hieman korkeammalle.

8.4 KIIHDYTYSTAPA

Polttoaineenkulutuksen kannalta oikeaa kiihdytystapa on ruodittu teoreettiselta kannalta luvussa 5. Kulutuksen kannalta optimaalisen kiihdytystavan omaksumisessa on tärkeää ymmärtää, että *nopeuden kiihdyttämiseksi auton vetopyöriltä tarvittava energia riippuu vain auton massasta sekä kiihdyttävän nopeusvälin suuruudesta* (loppu- ja alkunopeuksien erotuksesta). Kiihdytysnopeudella ei ole tähän vaikutusta.

Hidas kiihdyttäminen ei siis vähennä vetopyöriltä tarvittavaa energiaa nopeampaan kiihdyttämiseen nähden. Hidas kiihdytys tarkoittaa pienen tehon käyttöä, jolloin kiihdytysaika kasvaa. Kiihdyttämiseen tarvittava energia (teho kerrottuna ajalla) on sama kuin suurella teholla lyhyessä ajassa kiihdytettäessä.

Vaikka vetopyöraenergian tarve pysyy samana, polttoaineenkulutus kuitenkin vaihtelee eri tavoin kiihdytettäessä. Kulutuserot aiheutuvat siitä, että moottorin kyky muuntaa polttoaineen kemiallista energiaa mekaaniseksi tehoksi vaihtelee eri tavoin kiihdytettäessä. Kyse on moottorin hyötysuhdeeroista moottoria eri tavoin kuormitettaessa.

Kiihdytystavan kulutusminimointiin pyrittäessä ajotapavalinnat pitääkin tehdä, *ei miettien vetopyöriltä vaadittavaa energiamäärää, vaan etsimällä moottorin parasta hyötysuhdealuetta*. Pyrkimyksenä on muuttaa polttoaineen kemiallista energiaa auton liike-energiaksi mahdollisimman pienin häviöin.

Polttomoottorin hyötysuhde on parhaimmillaan kohtalaisen pienillä pyörintänopeuksilla, mutta suurilla kuormilla (yleensä noin 80–90 %), kuten luvussa 5 on selitetty. Näin ollen kulutuksen kannalta optimaalinen kiihdytystapa on päinvastainen kuin usein kuvitellaan: kannattaa kiihdyttää kohtalaisen ripeästi, koska näin kiihdytettäessä moottorin kuormitus on korkea, jolloin se pystyy tuottamaan tehoa vetopyörille vähäisemmin häviöin kuin pienillä kuormilla operoitaessa.

Pääperiaatteena kiihdyttämisessä tulee olla, että moottoria *kuormitetaan kohtalaisen runsaasti, mutta muistetaan vaihtaa mahdollisimman aikaisin suuremmille vaihteille*, jotta käytettävät moottorin pyörintänopeudet säilyvät matalina.

Vaihteen valinta

Kullakin vaihteella on taloudellisinta vedättää vain suunnilleen sellaiseen ajonopeuteen, jolla pystytään vaihtamaan suuremmalle vaihteelle ilman, että moottori tuottaa sivuääniä ja ylimääräisiä värähtelyitä, kun kiihdyttämistä suuremmalla vaihteella jatketaan. Kohtuullisuutta on kuitenkin syytä noudattaa, eikä pyrkiä kuormittamaan moottoria väkisin liian pienillä kierrosluvuilla. Tämä pätee erityisesti, kun moottori on kylmä.

Kylmää moottoria on muistettava käsitellä varoen, koska voitelu ei kylmänä toimi parhaalla mahdollisella tavalla. Kiihdyttäminen on siis syytä tehdä hieman matalammilla kuormatasoilla ja vaihtamiskohtia hieman myöhäistäen, jotta moottori ei kylmänä joutuisi toimimaan aivan vetoalu-

eensa alareunalla. Hieman korkeampien pyörintänopeuksien käyttö myös nopeuttaa moottorin lämpenemistä.

Käsivalintaisella vaihteistolla varustetussa autossa kuljettaja voi vapaasti päättää, millä nopeudella hän vaihtaa millekin vaihteelle. Sen sijaan *automaattivaihteinen* vaihtaa itse. Automaattivaihteista autoa kiihdyttäessään kuljettaja kuitenkin pystyy *kaasupoljinta sopivasti hetkellisesti keventämällä* saamaan vaihteiston vaihtamaan suuremmalle aikaisemmin kuin kaasupoljinta paikallaan pitämällä. Taloudellisesti kiihdytettäessä kaasun keventäminen vaihtamisen aikaistamiseksi on automaattiautoissa usein välttämätöntä, koska oikeaoppinen ripeä kiihdyttäminen edellyttää kaasupolkimen painamista niin syväälle, että vaihtamiset tapahtuisivat ilman keventämistä liian myöhään.

Automaattivaihteisen auton vaihteiston toimintaa havainnoimalla voi oppia, mitkä ovat pienimmät ajonopeudet ja moottorin pyörintänopeudet, joilla vaihteisto suostuu vaihtamaan suuremmalle kaasupoljinta eri tavoin käytettäessä. Tällä tavoin löydettävissä olevia mahdollisimman varhaisia vaihtamiskohtia kannattaa kiihdytettäessä hyödyntää.

Kaasupolkimen käsittely

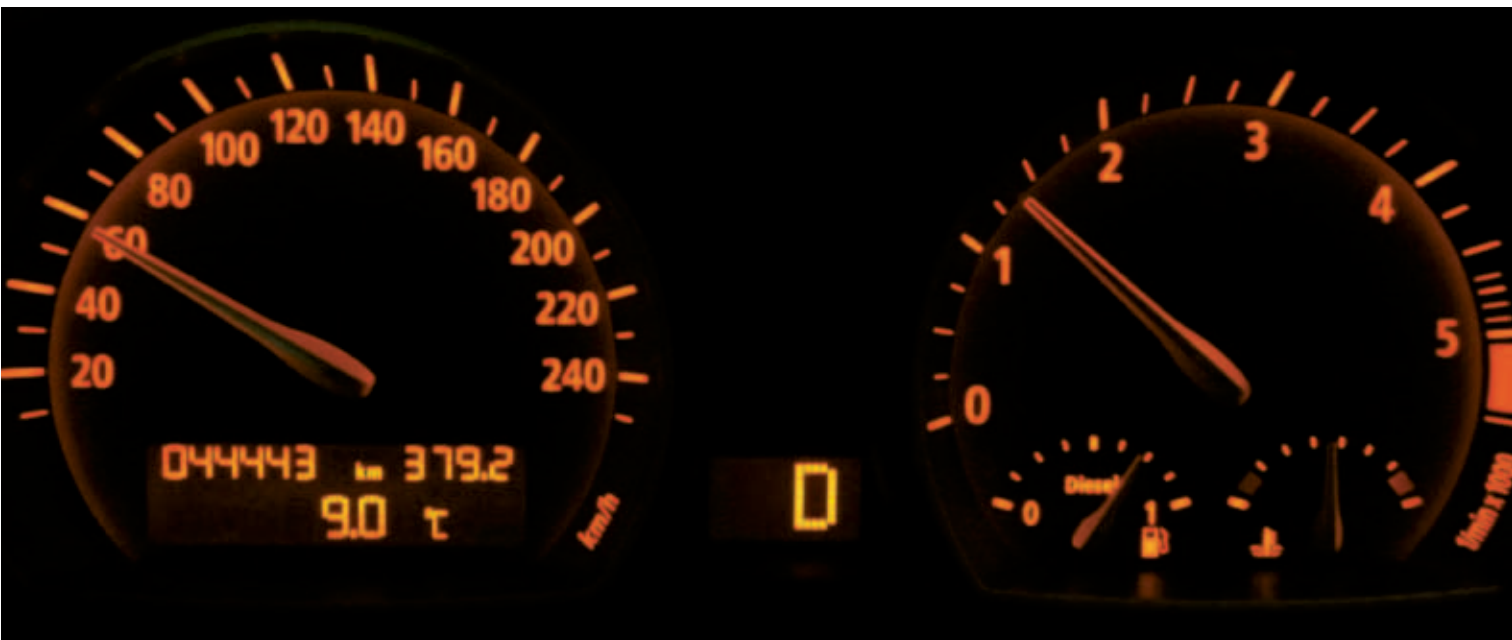
Kohtalaisen ripeästi kiihdyttäminen tarkoittaa *kaasupolkimen painamista melko syväälle, mutta ei liikaa*, jotta ei ajauduttaisi täystehokiihdytykseen, jolloin moottorin hyötysuhde on huonompi kuin täystehoa hieman alempana. On hyvä muistaa, että

vaikka kaasupoljin ei olisikaan täysin pohjaan saakka painettuna, moottori saattaa silti tehdä töitä jo täydellä tehollaan.

Valtaosassa ellei jopa kaikissa uusissa automalleisissa tieto kaasupolkimen asennosta välitetään elektronisesti moottorinohjausyksikölle. Mekaaninen kaasuvaijeri on siis historiaa. Erityisesti tällaisissa autoissa kaasupolkimen painaminen esimerkiksi puoliväliin ei välttämättä tarkoita, että moottori tekisi töitä vain puolella kuormituksella. Usein todellinen kuormitustaso on tätä korkeampi.

Jos nimittäin kaasupoljinta painetaan runsaasti, vaikka ei läheskään pohjaan saakka, moottorinohjaus saattaa tulkita, että kuljettaja haluaa maksimaalista kiihtyvyyttä ja säätää moottorin toimimaan täydellä teholla. Tällöin kaasupolkimen liikematkan loppuosa on ikään kuin merkityksetöntä ”tyhjää välystä”. Polttoaineenkulutus on tällaisessa tilanteessa suurempi kuin moottoria optimaalisesti ”melkein täysillä” kuormitettaessa.

Kaasupolkimen painamissyvyys ja -nopeus onkin valittava siten, että auto kiihtyy kullakin moottorin pyörintänopeudella lähes, mutta ei täysin maksimaalisella nopeudella. Kuljettajan tulisi tutustua autoonsa ja sen moottorin ja kaasupolkimen käyttäytymiseen, jotta sopiva kaasupolkimen painamissyvyys löytyy. Tavoitteena on oppia painamaan poljinta kiihdytyksissä siten, että kulloinkin käytettävää kaasupolkimen asentoa hieman syvempään painamalla *kiihtyvyyttä lisääntyisi vielä vähän*, mutta vain vähän.



Todella huolellisesti kiihdyttävä kuljettaja kiinnittää erityishuomiota kaasupolkimen painamisen ja moottorin pyörintänopeuden väliseen yhteyteen kiihdytyksen aikana. Liikkeelle lähdettäessä ja aina vaihtamisten jälkeen kaasupoljinta ei pidä painaa heti lopulliseen syvyyteensä ja sen jälkeen pitää paikallaan odotellen nopeuden kasvua ja seuraavaa vaihtokohtaa. Sen sijaan useimmissa tilanteissa saattaa olla edullista painaa kaasupoljinta aluksi hieman vähemmän ja lisätä sen painamista moottorin pyörintänopeuden kasvaessa ikään kuin hieman moottorin ”edellä kulkien”.

Kaasupolkimen painumamatkaa kullakin vaihteella vähitellen lisäämällä vältetään se, että moottori

toimisi liian korkealla kuormatasolla heti vaihtamisen jälkeen, kuten saattaa tapahtua, jos kaasua painetaan liian syvälle heti vaihtamisen jälkeen. Ja kun kaasun painamista lisäten ajonopeus on kasvanut siihen saakka, että moottori jaksaa kiihdyttää autoa seuraavallakin vaihteella, on aika ottaa suurempi vaihde käyttöön.

Nopeaa kiihdyttämistä vaativat tilanteet

Joskus kiihdyttäminen täytyy tehdä erityisen nopeasti. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi risteävän tien ruuhkaisessa liikennevirrassa olevaan ahtaaseen rakoon pyrkiminen risteyksestä lähdettäessä. Tällöin vaihtamiskohtia on tietysti myöhäistettävä

ja kiihdytettävä suuremmilla pyörintänopeuksilla, koska näin saavutetaan nopeampi kiihtyvyys. Samalla myös moottori saa vaihtelua toimintaansa: silloin tällöin on hyvä antaa sen käydä hetkellisesti myös taloudellisia pyörintänopeuksia korkeammilla kierroksilla.

Nopean kiihdytyksen jälkeisissä tilanteissa *voidaan myös jättää vaihteita väliin*: jos tavoitenopeus on esimerkiksi 80 km/h, ja tämä on saavutettu 3-vaihteella, ei välivaihteita tarvita, vaan voidaan *vaihtaa suoraan suurimmalle vaihteelle*. Vakionopeudellahan voidaan pienemmän tehontarpeen takia käyttää matalampia moottorin pyörintänopeuksia kuin kiihdytettäessä.

Ajotietokone kiihdytettäessä

Ajotietokone hetkellisine kulutusnäyttöineen saattaa johtaa kuljettajaa harhaan kiihdytyksissä. Jos hetkellinen kulutuslukema pyritään pitämään matalana, kiihdytetään liian pienellä teholla eli epätaloudellisesti. Hitaammin kiihdytettäessä kulutuslukemat ovat matalammat, mutta ne vallitsevat pidemmällä matkalla kuin ripeästi kiihdytettäessä. Lopputuloksena on suurempi kiihdytyskulutus.

Kiihdytysten aikana, varsinkin pian liikkeellelähdön jälkeen, hetkellisen kulutusnäytön *täytyy näyttää korkeita lukemia*, jopa kymmeniä litroja per 100 km, jotta moottorin kuormitustaso olisi riittävän korkea taloudellisen kiihtyvyyden aikaansaamiseksi. Samalla kiihdytysvaiheen matka minimoituu.

Kulutushan ilmoitetaan matkaa eikä aikaa kohti. Tästä seuraa, että erityisesti heti paikaltaan lähdettyä ajotietokoneessa lyhytaikaisesti näkyvät korkeat lukemat eivät merkittävästi vaikuta keski-kulutukseen, koska ajonopeus on vielä matala eli korkeat lukemat vallitsevat vain lyhyellä matkalla. Ajomatkaahan kertyy heti liikkeellelähdön jälkeen samassa ajassa paljon vähemmän kuin myöhemmässä vaiheessa kiihdytystä, kun nopeus on jo ehtinyt kasvaa. Ratkaisevaa on korkeiden kulutuslukemien aikana ajettava matka eikä ajallinen kesto.

Hetkellistä kulutusta onkin syytä tarkkailla lähinnä vain silloin, kun ei olla kiihdytystilanteissa. Kiihdytyksen jälkeen on tietenkin järkevää pyrkiä pitämään ajotietokoneen kulutusnäyttö mahdollisimman matalana ja välttää kaasupolkimen turhaa liikuttamista.

Nopeuden ylläpitämisen tärkeys

Ei voi liikaa painottaa, että vaikka kiihdytys olisi tehty kuinka taloudellisesti tahansa, *koko ponnistelu valuu hukkaan, jos kiihdytystä seuraa tarve jarruttaa*. Tällöin kalliilla polttoaineella aikaansaatu liike-energia hukataan jarruissa lämmöksi. Ennen kiihdytystä on siis varmistuttava siitä, että kiihdyttämällä aikaansaata nopeutta voidaan myös ylläpitää eli ajoa voidaan jatkaa saavutetulla nopeudella. Varmistuminen onnistuu ennakoimalla eli katsomalla mahdollisimman kauas. Jos havaitaan, että nopeutta ei voitaisi ylläpitää, ei pidä lainkaan kiihdyttää.

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen

8.4 Kiihdytystapa

TÄSTÄ ON KYSYMYKSIÄ

- ☛ Kiihdyttämiseen tarvittava energia riippuu vain massasta sekä kiihdytettävästä nopeusvälistä, joten hitaaseen ja nopeaan kiihdytykseen tarvitaan sama määrä energiaa.
- ☛ Vaikka tarvittava vetopyöräenergia ei muutu, kulutus kuitenkin vaihtelee eri tavoin kiihdytettäessä, koska moottorin hyötysuhde vaihtelee sitä eri tavoin kuormitettaessa.
- ☛ Kiihdytettäessä moottoria on kuormitettava runsaasti, mutta vaihdettava mahdollisimman aikaisin suuremmille vaihteille.
- ☛ Vaihtamiskohtien valinnassa on noudatettava kohtuullisuutta: väkisin ei kannata vaihtaa liian aikaisin ja vedättää liian pienillä kierroksilla, varsinkaan kylmällä moottorilla.
- ☛ Automaattivaihteistoa pitää ”narrata” vaihtamaan aiemmin suuremmalle keventämällä kaasupoljinta hetkellisesti.
- ☛ Kaasupoljinta ei pidä painaa liian syvään, koska moottori saattaa tehdä työtä täydellä teholla, vaikka kaasu ei olisikaan täysin pohjassa. Täydellä teholla moottorin hyötysuhde huononee.
- ☛ Erityisen huolellinen kuljettaja painaa kaasupoljinta kullakin vaihteella aluksi varovasti, mutta lisää painamista kierrosten kasvaessa ikään kuin ”moottorin edellä” kulkien.
- ☛ Kiihdytyksen jälkeen ei tarvitse käyttää kaikkia vaihteita: esim. 3-vaihteelta voidaan usein siirtyä suoraan suurimmalle vaihteelle, jos kiihdyttämistä ei enää ole tarpeen jatkaa.
- ☛ Ajotietokoneen hetkelliset kulutuslukemat ovat kiihdytyksen aikana korkeat, erityisesti pienillä nopeuksilla. Näin tuleekin olla, eikä niitä pidä pelästyä.
- ☛ Pyrkimys taloudelliseen kiihdyttämiseen valuu hukkaan, jos nopeutta ei voida ylläpitää. Ennen kuin kiihdytät, katso kauas ja varmista, että voit myös jatkaa ajoa saavuttamallasi nopeudella. Muutoin: Älä kiihdytä!

8.5 HIDASTUSTAPA

Suurimmassa osassa nykyisiä ajoneuvomoottoreita on toiminto, joka katkaisee polttoaineen syötön moottorijarrutusten aikana. Perinteisesti on opetettu, että nopeutta hidastettaessa tulisi hyödyntää moottorijarrutusta eli polttoaineensyötön katkaisua. *Ohje ei kuitenkaan ole yksiselitteinen eikä päde kaikissa tilanteissa.*

Polttoaineensyötön katkaisu

Syötönkatkaisutoiminto on käytössä kaikissa uusissa manuaalivaihteisissa bensiini- ja dieselautoissa sekä myös uusimmissa automaattivaihteisissa autoissa. Vanhemman ikäluokan autoista se löytyy todennäköisimmin bensiinikäyttöisistä manuaalivaihteistolla varustetuista. Perinteisen automaattivaihteiston yhteydessä ei syötönkatkaisua ole aina käytetty. Koska tällaisessa tapauksessa moottorin ja vaihteiston välillä ei ole mekaanista yhteyttä, moottorin pysähtymisen riski on suurempi kuin manuaalivaihteisessa autossa.

Kaasupolkimen vapauttaminen aktivoi polttoaineensyötön katkaisun. Toiminnon kytketykselle on kuitenkin ehtoja. Yleensä kaasupolkimen pitää olla täysin vapautettu, moottorin pyörintänopeuden tulee olla riittävän korkea sekä usein myös moottorin lämpötilan korkeampi kuin ennalta valittu kynnyсарvo. Vaihde tulee tietysti pitää kytkettynä. Myös muita ehtoja saattaa tapauskohtaisesti olla.

Kun kaasupoljin vapautetaan, ajonopeus ja samalla tietysti moottorin pyörintänopeus alkavat laskea,

ellei auto satu olemaan jyrkässä myötämässä. Kun moottorin pyörintänopeus on laskenut ennalta valittuun polttoaineensyötön ohjaukseen ohjelmoituun kynnyсарvoon, syötönkatkaisu deaktivoidaan ja syöttö alkaa jälleen. Syötönkatkaisun deaktivoinnin pyörintänopeus on yleensä jonkin verran joutokäyntipyörintänopeutta korkeampi. Kun polttoainejärjestelmä deaktivoi syötönkatkaisun riittävän korkealla pyörintänopeudella, välttyään moottorin pysähtymisen riskiltä.

Jos hidastustilanteessa, jossa moottorin pyörintänopeus laskee lähelle joutokäyntinopeutta, ja nopeutta haluttaisiin edelleen hidastaa syötönkatkaisua hyödyntäen, on manuaalivaihteisella autolla ajettaessa vaihdettava pienemmälle. Pienimpään kulutukseen tietysti päästään, jos tämä tehdään ennen kuin pyörintänopeus on alentunut niin paljon, että syötönkatkaisu ehtii deaktivoitua.

Vaihteen vaihtamisen ajaksi polttoaineen syöttö kytketty tietysti hetkellisesti toimintaan, jotta moottori ei pysähtyisi kytkinpolkimen painamisen seurauksena. Syötönkatkaisu kuitenkin aktivoituu uudelleen heti pienemmän vaihteen kytkemisen ja kytkinpolkimen noston jälkeen, kun moottorin kierrosluku jälleen kasvaa. Hidastamista voidaan siis jatkaa polttoaineenkulutuksen pysyessä edelleen nollassa.

Syötönkatkaisun ongelmia

Jos hidastaminen aloitetaan suurimmalla vaihteella, ja jos sitä on tarpeen jatkaa pysähtymiseen saakka,

kaikki vaihteet olisi kelattava läpi yksi kerrallaan alaspäin vaihtaen. Vain näin toimien syötönkatkaisu olisi aktivoituneena vaihtamishetkiä lukuun ottamatta koko hidastuksen ajan. Tällainen tiheä vaihtaminen aiheuttaa kuljettajalle lisätyötä, jonka tekemiseen kaikki eivät välttämättä ole motivoituneita. Jos kuljettaja kuitenkin toimii näin, hän säävuttaa polttoaineensäästöä verrattuna siihen, että polttoainetta syötettäisiin moottoriin nopeuden hidastamisen aikana.

Syötönkatkaisu ei kuitenkaan säästä polttoainetta kaikissa hidastustilanteissa. Moottorijarrutuksen ja polttoaineensyötön katkaisun ollessa toiminnassa *ajonopeus alenee nopeammin kuin vaihde vapaalla rullattaessa*. Kun ajonopeus alenee, myös auton liikenopeudesta ja massasta riippuvainen liikeenergia vähenee. Jos hidastamisen jälkeen nopeus halutaan jälleen nostaa hidastamista edeltäneelle tasolle, moottorijarrutuksen aikana hävitetty liikeenergia on jälleen kasvatettava hidastusta edeltäneelle tasolle. Tämä tapahtuu polttoainetta polttamalla.

Edellä esitettyyn perustuen voidaan sanoa, että moottorijarrutuksen ja sen aikana vallitsevan lyhytaikaisen polttoaineensyötön katkaisun käyttäminen ei ole kaikissa ajotilanteissa kulutuksen kannalta edullista, koska se aiheuttaa runsaan uudelleen kiihdyttämisen tarpeen. *Uudelleen kiihdyttäminen saattaa kuluttaa polttoainetta enemmän kuin syötönkatkaisu sitä säästi*.

Syötönkatkaisun hyödyntämisen voidaan varmasti sanoa olevan kulutuksen kannalta edullista aino-

astaan sellaisissa ajotilanteissa, joissa jo *hidastuksen alussa voidaan olla varmoja, että auton nopeutta on hidastettava nopeasti, jalka tai nopeus on pakko hidastaa (lähes) pysähdyksiin saakka*.

Vapaalla rullaaminen verrattuna syötönkatkaisuun

Varsinkin sellaisissa ajotilanteissa, joissa hidastuksen aloitusnopeus on kohtalainen tai suuri ja joissa nopeutta ei ole pakko hidastaa pysähdyksiin saakka, *vapaalla rullaaminen on yleensä taloudellisempi hidastusvaihtoehto*. Tämä tosin edellyttää, että kuljettaja aloittaa hidastamisen eli rullaamisen ajoissa. Hänen tulee toimia ennakoiden eli havainnoida aktiivisesti liikennettä riittävän kaukana edessään ja tehdä ratkaisu hidastuksen aloittamisesta eli vaihtaa vapaalle *mahdollisimman aikaisin*.

Kun hidastaminen aloitetaan ajoissa, nopeutta ei useinkaan tarvitse alentaa nopeammin kuin mitä se vapaalla rullaamalla luonnostaan hidastuu, joten moottori- tai pyöräjarrutusta ei tarvitse käyttää. Tällöin auton *liike-energia säilyy parhaiten* ja uudelleen kiihdyttämisen tarve ja siihen kuluva polttoainemäärä minimoituu.

Moottorijarrutusvaihtoehtoa käytettäessä hidastaminen aloitettaisiin todennäköisesti myöhemmin kuin jos alettaisiin rullata ennakoivasti. Tällöin polttoaineenkulutus säilyisi aluksi rullausvaihtoehtoa pitempään vakionopeuskulutuksena, joka on joutokäyntikulutusta korkeampi. Moottorijarrutusvaiheen alettua kulutus kyllä putoaisi nolnaan,

mutta samalla auton liike-energia vähenisi nopeammin kuin rullattaessa tapahtuisi.

Lopputuloksena useissa tapauksissa, että moottorijarrutuksesta aiheutuvan hetkellisen syötönkatkaisun aiheuttama säästö jää vähäisemmäksi kuin mikä on vakionopeuden pitempään ylläpitämiseen ja hidastuksen jälkeiseen suurempaan uudelleen kiihdyttämiseen tarvittava polttoainemäärä. Myöhään aloitettu moottorijarrutus olisi siis monissa tilanteissa epätaloudellisempi vaihtoehto.

Myöhään aloitettu moottorijarrutus verrattuna aikaisin aloitettuun rullaukseen aiheuttaa myös sen, että auto etenee ainakin aluksi nopeammin kohti hidastuksen tarpeen aiheuttajaa eli liikennestettä. Tällöin on todennäköisempää, että este ei ehdi poistua ennen kuin nopeus on alentunut varsin runsaasti. Mitä enemmän nopeutta joudutaan alentamaan, sitä suurempi on uudelleen kiihdyttämisen tarve sekä polttoaineenkulutus.

Kaikissa ajotilanteissa ei takana tulevan liikenteen takia ole välttämättä helppoa hidastaa jarruttamatta (moottorilla tai pyöräjarruilla) riittävän aikaisin, vaikka jarruttamattomuus olisi kulutuksen kannalta optimaalista. Toisaalta, voidaan myös ajatella, että aikaisin aloitettu hidastus vähentää, paitsi omia, myös mahdollisen aggressiivisen perässätulijan polttoainekuluja.

Polttoaineenkulutus rullattaessa

Vapaalla rullaaminen on edullisempaa kuin syötönkatkaisun käyttö *sitä todennäköisemmin, mitä*

suuremmasta nopeudesta hidastetaan. Koska joutokäyntikulutus on ajan suhteen vakio, rullauksen aikaisen joutokäyntikulutuksen vaikutus ajomatkan suhteen laskettuun kulutukseen on sitä pienempi, mitä enemmän auto aikayksikössä liikkuu.

Ajonopeuden lisäksi vapaalla rullaamisen aikaiseen polttoaineenkulutukseen vaikuttaa tietysti auton joutokäyntikulutus. Suurimmalla osalla henkilöautoista tämä osuu välille 0.5–1.2 l/h. Bensiinimoottorien litramääräinen kulutus on tyypillisesti hieman dieselaita korkeampi jo siitäkin syystä, että tiheyseron vuoksi litrassa dieselpolttoainetta on noin 13 % enemmän massaa ja energiaa kuin litrassa bensiiniä.

Esimerkiksi Mercedes Benzin E-sarjan 2.2-litrainen dieselmoottori kuluttaa joutokäynnillä auton oman tietoväylän mukaan 0.8 l/h. Pienimpien modernien dieselmoottorien joutokäyntikulutus voi painua lähelle puolta litraa tunnissa. Vuoden 2012 Audi A4:n 1.8-litrainen TFSI-bensiinimoottori (125 kW) kuluttaa ilman sähkölaitteita noin 0.9 l/h ja ajovalojen sekä lämmityspuhaltimen kanssa noin litran tunnissa. Pienemmät bensiinimoottorit kuluttavat tätä vähemmän ja suuremmat todennäköisesti enemmän. Menetelmä joutokäyntikulutuksen määrittämiseksi on selostettu liitteessä 2.

Joutokäynnillä rullattaessa aiheutuva polttoaineenkulutus ajomatkaa kohti eri rullausnopeuksilla ja eri joutokäyntikulutuksen arvoilla on helposti laskettavissa. Kulutukset eri rullausnopeuksilla on laskettu alla olevaan taulukkoon 8.2 joutokäyntikulutusten vaihteluvälillä 0.50–1.20 l/h.

Taulukko 8.2. Polttoaineenkulutus [l/100 km] eri rullausnopeuksilla eri joutokäyntikulutuksen [l/h] arvoilla. Alle 1.0 l/100 km arvot kursivoitu ja lihavoitu.

Joutokäyntikulutus [l/h]	POLTTOAINEENKULUTUS AUTON RULLATESSA JOUTOKÄYNNILLÄ ERI RULLAUSNOPEUKSILLA JA ERI JOUTOKÄYNTIKULUTUKSILLA [l/100 km]											
	Ajonopeus [km/h]											
-	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0.50	5.00	2.50	1.67	1.25	1.00	0.83	0.71	0.63	0.56	0.50	0.45	0.42
0.55	5.50	2.75	1.83	1.38	1.10	0.92	0.79	0.69	0.61	0.55	0.50	0.46
0.60	6.00	3.00	2.00	1.50	1.20	1.00	0.86	0.75	0.67	0.60	0.55	0.50
0.65	6.50	3.25	2.17	1.63	1.30	1.08	0.93	0.81	0.72	0.65	0.59	0.54
0.70	7.00	3.50	2.33	1.75	1.40	1.17	1.00	0.88	0.78	0.70	0.64	0.58
0.75	7.50	3.75	2.50	1.88	1.50	1.25	1.07	0.94	0.83	0.75	0.68	0.63
0.80	8.00	4.00	2.67	2.00	1.60	1.33	1.14	1.00	0.89	0.80	0.73	0.67
0.85	8.50	4.25	2.83	2.13	1.70	1.42	1.21	1.06	0.94	0.85	0.77	0.71
0.90	9.00	4.50	3.00	2.25	1.80	1.50	1.29	1.13	1.00	0.90	0.82	0.75
0.95	9.50	4.75	3.17	2.38	1.90	1.58	1.36	1.19	1.06	0.95	0.86	0.79
1.00	10.00	5.00	3.33	2.50	2.00	1.67	1.43	1.25	1.11	1.00	0.91	0.83
1.05	10.50	5.25	3.50	2.63	2.10	1.75	1.50	1.31	1.17	1.05	0.95	0.88
1.10	11.00	5.50	3.67	2.75	2.20	1.83	1.57	1.38	1.22	1.10	1.00	0.92
1.15	11.50	5.75	3.83	2.88	2.30	1.92	1.64	1.44	1.28	1.15	1.05	0.96
1.20	12.00	6.00	4.00	3.00	2.40	2.00	1.71	1.50	1.33	1.20	1.09	1.00

Taulukosta havaitaan esimerkiksi, että joutokäyntikulutuksella 0.60 l/h ajomatkaa kohti laskettu kulutus 80 km/h ajonopeudella on 0.75 l/100 km. Samoin havaitaan, että matkaa kohti laskettu kulutus pysyy arvon 1.0 l/100 km alapuolella aina, kun nopeus [km/h] on suurempi kuin joutokäyntikulutus [l/h] satakertaisena.

Useissa tapauksissa joutokäynnin aiheuttama matkaa kohti laskettu polttoaineenkulutus jää siis alle arvon 1.0 l/100 km, kun kyse on maantienopeuksilla tapahtuvasta rullauksesta. Alle litran kulutus 100 kilometriä kohti rullauksen aikana on useissa tapauksissa edullisempi vaihtoehto kuin lyhytaikainen täysi kulutuksettomuus. Kulutuksettomuuden



aikaansaavasta moottorijarrutuksesta seuraa yleensä rullausvaihtoehtoa suurempi liike-energian menetys ja uudelleen kiihdyttämisen tarve, jonka aikana kulutus voi olla jopa kymmeniä litroja sataa kilometriä kohti.

Kirjoittajan laskelmien mukaan VW Golf 1.6 FSI:n polttoaineenkulutus on kohtalaisen ripeän eli 20 sekunnissa suoritettavan 0–100 km/h kiihdytyksen aikana keskimäärin 18.6 l/100 km. Kiihdytysmatka on tällöin noin 380 m ja kiihdyttämiseen tarvittava kokonaispolttoainemäärä on 0.070 l.

Jos kyseisen Golfin joutokäyntikulutukseksi oletetaan 0.80 l/h, ja kiihdytykseen tarvittava polttoaineannos 0.070 l jaetaan tällä, havaitaan, että joutokäynnillä voidaan rullata peräti 0.0875 tuntia eli 5 min 15 s, ennen kuin polttoainetta on kulunut 0.070 litraa eli yhteen 0–100 km/h kiihdytykseen kuluvan polttoaineannoksen verran. Yli 5 minuutissa voidaan rullata, tietenkin ajonopeudesta riippuen, jo varsin pitkälle.

Yhteenveto ja vertailua

Hidastustilanteita *kannattaa ennakoida, aloittaa hidastus ajoissa, rullata vapaalla ja näin menetellen minimoida uudelleen kiihdyttämisen tarve.* Tämä on taloudellisin tapa vähentää nopeutta ainakin niissä ajotilanteissa, joissa ajonopeus on kohtalaisen suuri, hidastuvuuden ei tarvitse olla suuri, ja on oletettavaa, että ainakaan kokonaan ei autoa jouduta pysäyttämään. Jos sen sijaan nopeutta on hidastettava nopeammin kuin rullaamalla auto itseksensä hidastuu (eli hidastustarve tulee yllättäen tai hidastusta ei ole aloitettu ajoissa), ja varsinkin jos joudutaan auto pysäyttämään kokonaan, *kannattaa hyödyntää moottorijarrutusta* eli polttoaineensyötön katkaisua hidastuksen aikana.

Vapaalla rullaamisen edullisuutta puoltaa myös autonvalmistajien toiminta: uusimmissa automaattivaihteistoissa on otettu käyttöön vapaa-kytkintoiminto, joka useissa ajotilanteissa irrottaa moottorin voimansiirrosta kaasupolkimen noston seurauksena.

Vertailun vuoksi todettakoon, että ns. täys-hybriditekniikkaa hyödyntävissä autoissa taloudellisuusajattelu on viety joutokäyntirullaustakin pidemmälle. Polttomoottori pyritään nimittäin sammuttamaan aina, kun sitä ei tarvita. Näin tapahtuu auton liikkuessakin, kun tehoa ei tarvita, siis esimerkiksi nopeutta vähennettäessä (ks. luku 8.11.2).

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen
8.5 Hidastustapa

TÄSTÄ ON KYSYMYKSIÄ

- ☛ Nykyautoissa polttoaineen syöttäminen moottoriin katkaistaan moottorijarrutuksen ajaksi.
- ☛ Perinteinen ohje hyödyntää moottorijarrutuksen aikaista polttoaineensyötön katkaisua hidastuksissa ei johda kaikissa tilanteissa pienimpään polttoaineenkulutukseen.
- ☛ Aikaisin aloitettu vapaalla rullaaminen erityisesti maantienopeuksissa tuottaa usein säästöä moottorijarrutuksen ja polttoaineensyötön katkaisun käyttämiseen nähden.
- ☛ Syötönkatkaisua käytettäessä moottorijarrutus vähentää auton liike-energiaa ja lisää uudelleen kiihdyttämisen tarvetta. Lyhytaikainen syötönkatkaisu ei välttämättä ehdi säästää riittävästi, jotta sen käyttö muodostuisi edullisemmaksi.
- ☛ Ajoissa aloitetun rullauksen aikana liikenne-este saattaa ehtiä poistua, jolloin tilanteesta selvitään pienemmällä nopeuden pudotuksella ja vähäisemmällä uudelleen kiihdyttämisellä kuin myöhäistä moottorijarrutusta käytettäessä.
- ☛ Vapaalla rullattaessa joutokäyntikulutuksen vaikutus on sitä pienempi, mitä nopeammin auto liikkuu, koska suuremmalla nopeudella matkaa taittuu samassa ajassa enemmän.
- ☛ Ajonopeuksilla yli 80 km/h joutokäynnin vaikutus rullauksenaikaiseen kuluutukseen on suurella osalla henkilöautoja vähemmän kuin 1 l/100 km.
- ☛ Kompaktilla henkilöautolla 0–100 km/h kiihdytykseen kuuluva polttoainemäärä riittää yli 5 minuutin joutokäyntiin.

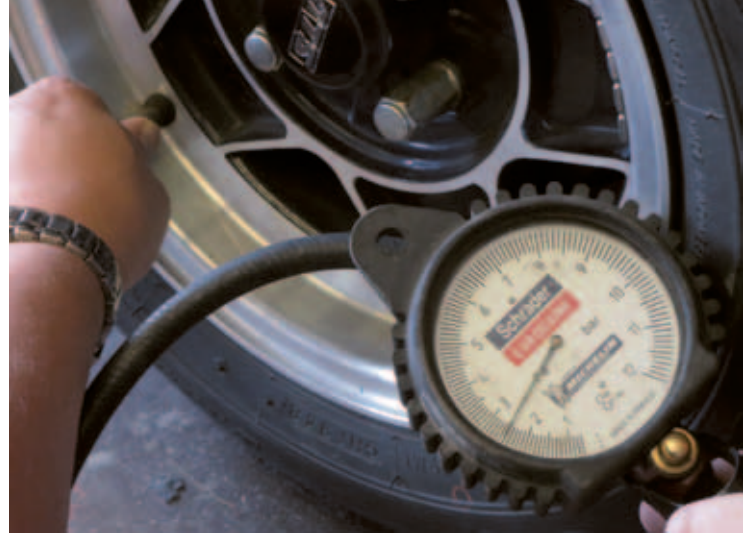
8.6 VIERINTÄVASTUKSEEN VAIKUTTAMINEN

Renkaiden vierintävastusta on käsitelty myös luvussa 4.3. Yhteenvetona tästä todettakoon, että vierintävastukseen vaikuttavat renkaan ja tien pinnan ominaisuudet, rengaspaine sekä auton massa.

Koska vierintävastus on lähes nopeudesta riippumaton, kun taas ilmanvastus kasvaa jyrkästi nopeuden lisääntyessä, vierintävastuksen osuus auton kokonaisvastuksista on suurimmillaan pienillä ajonopeuksilla. Ajettaessa pienillä nopeuksilla sellaisissa olosuhteissa, joissa pysähdyksiä on harvoin, eli jolloin energiaa ei tarvita kiihdytyksiin, vajaapaineiset renkaat voivat kasvattaa kulutusta jopa 20 %:lla.

Myös kuljettajalla on mahdollisuus vaikuttaa vierintävastukseen esimerkiksi valitsemalla *pienen vierintävastuksen renkaat* (ks. luku 4.3). Tärkein vaikuttamiskeino on kuitenkin *rengaspaine*. Matala rengaspaine lisää vierintävastusta, mikä on helppo todeta esimerkiksi vertaamalla polkupyörällä ajoa puolityhjiällä ja täyteen pumpatuilla renkailla.

Rengaspainesuositukset tehdään ottaen huomioon renkaan kantavuus, ohjautuvuusominaisuudet sekä mukavuustekijät. Koska mukavuutta usein painotetaan, painesuosituksilla on taipumus olla vierintävastuksen minimoinnin kannalta liian matalat. Kulutuksen kannalta kannattaisikin *nostaa paineita 10–20 % yli tavanomaisen suosituksen*. Kun paineita lisätään suositellusta, lisäys tulee tehdä kummallekin akselille samassa suhteessa, jotta auton ohjautuvuus ei muuttuisi suunnitellusta.



Rengaspaine kasvaa renkaassa olevan ilman lämpötilan noustessa ja pienenee lämpötilan laskiessa. Karkeasti ottaen 10 celsiusasteen muutos vaikuttaa paineeseen 0.1 barin verran. Jos rengaspaine mitataan huoneenlämmössä säilytetystä autosta ja auto viedään ulos pakkaseen, jossa lämpötila voi olla jopa yli 40 astetta matalampi, paine voi alentua yli 0.4 barilla. Tämä täytyy ottaa huomioon nostamalla paine huoneenlämpötilassa tämän verran lopullista tavoitetasoa korkeammaksi.

Toisaalta ajossa lämmennyt tai auringon paahteesta lämpöä absorboinut rengas antaa mitattaessa neutraalitulannetta korkeamman painearvon. Tällöin painetta ei pidä alentaa. Neutraalitulanne, jossa paine olisi mahdollisuuksien mukaan pyrittävä mittaamaan, vallitsee silloin, kun renkaassa olevan ilman ja ulkoilman lämpötilat ovat samat.

Vajaapaineisuus renkaassa ei näy kovinkaan selvästi päällepäin. Vaikka kuljettaja auton luo saapuessaan vilkaisisi renkaita, vajaapaineisuus olisi pikavilkaisulla havaittavissa vasta, kun rengas on lähes tyhjä. Toisaalta renkaan alle osuva muhkura tien pinnassa saattaa joskus saada täyspaineisenkin renkaan ulkosyrjän pullistumaan siten, että se näyttää pikavilkaisulla vajaapaineiselta.

Kuvassa 8.5 on esitetty havainnollistus siitä, kuinka vaikeata vajaan rengaspaineen visuaalinen havaitseminen on erityisesti silloin, jos asiaan ei kiinnitetä erityishuomiota, ja renkaita vilkaistaan vain ohimennen autoon astuttaessa. Kuvassa on esitetty rengaspaineet välillä 0.5–3.0 bar, porrastus on 0.5 barin välein. Matalin paine (0.5 bar) on vasemmalla ylhäällä, paine kasvaa oikealle ja sen jälkeen alariviin siirryttäessä. Korkein paine (3.0 bar) on oikealla alhaalla.

Vajaapaineisuutta ei välttämättä havaitse myöskään auton käyttäytymisestä, koska se muuttuu vähitellen ja hitaasti. Pitkään vajaapaineisilla renkailla ajanut huomaa ajettavuuteen hivuttautuneet muutokset vasta sitten, kun renkaat on täytetty ja ajo jatkuu. Vajaapaineisuus aiheuttaa kulutuksen kasvun lisäksi turvallisuusriskin.



Kuva 8.5 Havainnollistus vajaan rengaspaineen visuaalisen havainnoinnin vaikeudesta. Rengaspaineet vasemmalta oikealle ylärivissä välillä 0.5–1.5 bar ja alarivissä välillä 2.0–3.0 bar 0.5 barin portain.

Ainoa varma tapa varmistua rengaspaineiden oikeellisuudesta on *mitata ne riittävän usein*. Suositeltava minimi on noin kerran kuukaudessa, ja toinen yleisesti käytetty perussääntö on tarkistaa paineet joka toisella tankkauskerralla.

Vierintävastus yleensä kasvaa myös tien ollessa märkä. Voimakkainta kasvu on tien kulumaurissa, joihin on kertynyt vesikerros. Veden aiheuttama lisävastus auton etenemiselle on merkittävä, koska rengas joutuu koko ajan työntämään vettä pois edestään saadakseen otteen tien pinnasta. Tämä lisää vierintävastusta. Mitä syvemmissä vedessä auto kulkee ja mitä suurempi on ajonope-



Kuva 8.6 Polttoainetta tuhlataan ajamalla urissa ja lennättämällä vettä.

us, sitä korkeammalle auto nostaa vettä ilmaan, ja sitä enemmän polttoainetta tuhlataan. Samalla vesiliirtovaara kasvaa eli ajoturvallisuus huononee (kuva 8.6).

Veden nouseminen ilmaan ei ole mahdollista ilman, että vesipisaroihin vaikuttaa jokin ulkopuolinen voima. Ulkopuolinen voima, joka vettä lennättää, on peräisin auton liikkeestä, joka taas on peräisin tankissa olevasta polttoaineesta.

Niinpä valistunut kuljettaja välttää urissa ajamista erityisesti märällä tiellä, koska näin minimoidaan veden jarruttavan vaikutuksen aiheuttama vierintävastuksen kasvu. Kulumauria välttämällä minimoidaan myös vesiliirtoriski ja tasataan tien kulumista. Myös kuivalla kelillä kannattaa välttää urissa ajamista, kuten jäljempänä (luku 9.5) todetaan.

Tiestä kannattaa etsiä korkeimmat harjanteet eli ne kohdat, joissa on vähiten vettä, ja ajaa niitä pitkin. Joskus harjanteiden paikka tiessä saattaa vaihdella,



Kuva 8.7 Esimerkillinen ajolinja tiessä oleviin vesiuriiin nähden.

jolloin niiden kohdalla ajamisesta voi olla tarpeen luopua, jotta ajolinja säilyisi turvallisesti omalla kaistalla. Jos joutuu yllättäen muuttamaan ajolinjaa ja sukeltamaan harjanteen päältä syvänteeseen eli vesikerrokseen, vesiliirron vaara on syytä pitää mielessä. Nopeuden vähentäminen saattaa olla tarpeen.

Usein turvallisin ratkaisu on pyrkiä ajamaan kulumaurien oikealla puolella eli kauempana vastaan tulevasta liikenteestä kuin missä urat sijaitsevat. Näin meneteltäessä täytyy kuitenkin muistaa antaa kevyelle liikenteelle riittävästi tilaa.

Kuvassa 8.7 on esimerkki vesiurien välttämisestä. Kuvan tapauksessa urat ovat niin lähellä tien oikeaa reunaa, että urien oikealla puolella ajaminen ei ollut mahdollista. Vaikka urien vasen puoli on valittu, auto etenee kuitenkin turvallisesti omalla kaistallaan.

Tien pinnan vaikutusta vierintävastukseen on käsitelty myös jäljempänä luvussa 9.5.

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen

8.6 Vierintävastukseen vaikuttaminen

TÄSTÄ ON KYSYMYS

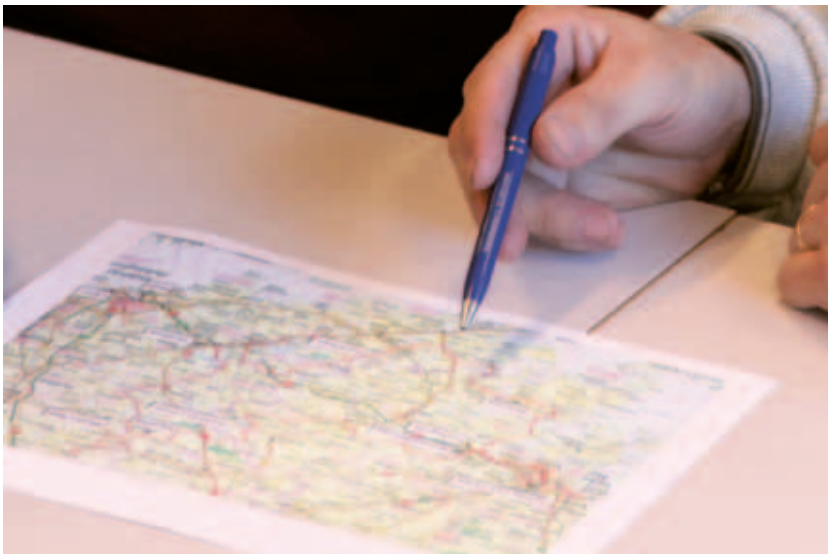
- ☛ Vierintävastuksen osuus ajovastuksista on suurimmillaan silloin, kun ajonepeudet ovat pieniä ja kun kiihdytyksiä on vähän.
- ☛ Enimmillään vajaa rengaspaine voi kasvattaa kulutusta jopa 20 %:lla.
- ☛ Kannattaa valita pienen vierintävastuksen renkaat, mutta tärkeintä on riittävä rengaspaine
- ☛ Rengaspainesuositukset tehdään ottaen huomioon renkaan kantavuus, auton ohjautuvuus sekä mukavuustekijät. Suosituksissa usein painotetaan mukavuustekijöitä.
- ☛ Kulutuksen minimoimiseksi paineita tulisi nostaa 10–20 % yli suositusten.
- ☛ Huoneenlämpötilassa säilytetyn auton renkaiden paine pitää talvipakkasella säätää jopa 0.4 baria tavoitepainetta korkeammaksi.
- ☛ Rengaspaineen vajaus on vaikeasti havaittavissa visuaalisesti tai auton käyttäytymisestä
- ☛ Vajaapaineinen rengas on myös turvallisuusriski.
- ☛ Paine on syytä mitata esim. kerran kuukaudessa tai joka toisen tankkauksen yhteydessä.
- ☛ Erityisesti vesikelillä tulee välttää kulumaurissa ajamista vierintävastuksen minimoimiseksi.
- ☛ Kulumauria vältettäessä turvallisinta on usein pyrkiä ajamaan urien oikealla puolella.
- ☛ Vesiuria vältettäessä kulutus sekä vesiliirtoriski minimoituvat ja tien kuluminen tasoittuu.

8.7 AJOREITIN VALINTA

Lyhin ajoreitti ei aina ole polttoainenkulutuksen kannalta edullisin. Pienimpään kulutukseen päästään, jos reitti valitaan siten, että *hidastus- ja pysähtymistarpeet ovat mahdollisimman vähäiset*. Tällöin kiihdytysten määrä minimoituu. Tästä aiheutuu polttoainensäästöä, koska kiihdytykset kuluttavat runsaasti polttoainetta. Taloudellisen reitin valinta tarkoittaa esimerkiksi etuajo-oikeutetun tai mahdollisimman vähän risteyksiä sisältävän reitin käyttöä, jos siihen on mahdollisuus ajomatkan kasvamatta liikaa.

Aina ei kuitenkaan ole helppo arvioida, minkä suoraisen kulutusvähenemän jouhevamman etenemisen mahdollistava reitti tuottaa. Tästä puolestaan seuraa vaikeus arvioida, kuinka paljon matka saisi olla pitempi, jotta jouhevamman reitin valinta kannattaisi. Jos matka pitenee liiaksi, säästöä ei tietenkään synny.

Esimerkiksi 10 km:n matka ruuhkaisen alueen läpi 9.0 l/100 km kulutuksella vaatii 0.90 litraa polttoainetta. Jos jouhevamman, kaupunkialueen kiertävän reitin kulutus olisi 6.0 l/100 km, matkan pitäisi jäädä alle 15 km:n, jotta selvittäisiin vähemmällä polttoainemäärällä. Matkan piteneminen saisi siis



olla enintään 50 %, eli saman verran kuin on kaupunkireitistä aiheutuva kulutuksen lisä taloudellisempaan reittiin verrattuna.

Kaupunkialueillakin voi reittivalinnoilla vaikuttaa kulutukseen. Suoraan risteyksen läpi ajava jouuu vähemmän todennäköisesti pysähtymään tai jarruttamaan kuin kääntyvä. Vasemmalle kääntyminen puolestaan aiheuttaa todennäköisemmin pysähtymistarpeen kuin oikealle kääntyminen. Vasemmalle kääntymisiä tulisi siis välttää. Jos reitillä on mäkiä, erityisesti myötämäen jälkeisessä risteyksessä olisi edullista päästä ajamaan suoraan, jotta painovoiman antamaa hyötyä ei jouduttaisi kääntymisen takia jarruttamalla hävittämään. Kannattaa myös miettiä, olisiko esimerkiksi työmatkalle edullista valita eri reitit meno- ja paluu-

suunnille. Jouhevamman työmatkareitin antama pienikin polttoaineensäästö muodostuu ajan mitaan merkittäväksi, koska reittiä ajetaan usein.

Olennaista on, että kuljettaja mieltää sen, että reittiä valittaessa on syytä aktiivisesti ottaa huomioon muutkin tekijät kuin reitin pituus. Perussääntö sanoo, että reitti, joka pystytään ajamaan läpi tasaisella nopeudella, voi olla taloudellisempi kuin jatkuvia pysähtelyitä sisältävä reitti, vaikka se olisi pituudeltaan jopa 1.5-kertainen.

Useissa käytännön valintatilanteissa päätökset ajoreitistä tehdään tyypillisemmin ajoajan kuin kulutuksen perusteella. Ajoajan minimoinnista seuraa usein myös kulutuksen minimoituminen. Jouhevan ajon mahdollistavan pitemmänkin reitin ajaminen vie usein vähemmän aikaa kuin runsaasti pysähtelyitä sisältävän lyhyen reitin koluaminen.

Pysähtymisten vaikutusta kulutukseen tarkastellaan myöhemmin ajo-olosuhteiden näkökulmasta luvussa 9.1.

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen

8.7 Ajoreitin valinta

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Lyhin ajoreitti ei aina ole taloudellisin. Reitti, joka on pitempi, mutta jossa on vähemmän pysähdyksiä, saattaa olla taloudellisempi.
- ☛ Jouhevamman ajon mahdollistava reitti voi olla taloudellisempi, vaikka se olisi jopa 1.5-kertainen runsaasti pysähdyksiä vaativaan nähden.
- ☛ Usein jouhevamman reitin valinta saa aikaan myös ajansäästöä.

8.8 AJOAJANKOHDANVALINTA

Jouhevimmin ja vähimmillä pysähdyksillä pystytään tietenkin ajamaan silloin, kun *liikenne on vähäisintä*. Näin on tietysti erityisesti yöaikaan. Usein käytännön syyt kuitenkin pakottavat valitsemaan ajoajankohdan jonkin muun seikan kuin vähäisen liikenteen perusteella. Ja vaikka ajoajankohta voitaisiinkin valita vapaasti, unirytmien häiriintymisen sekä pimeyden takia ei useinkaan ole miellyttävää ajaa yöllä varsinkaan syyspimeillä.

Vaikka yöaika jätettäisiin tarkastelun ulkopuolelle, silti eri kellonaikojen ja viikonpäivien välillä on eroja tyypillisessä liikenteen määrässä. Useissa tapauksissa kuljettaja voi valita ajoajankohdan vähintäänkin siten, ettei hän joudu ajamaan pahimpien työmatka- tai viikonloppuruuhkien aikaan. Työpäivien aikana liikenne on yleensä vähäisintä aamuruuhkan jälkeen aamupäivisin.

Lisäksi kannattaa muistaa, että pienen kulutuksen mahdollistavia ja muutoinkin stressittömiä liikene-



teeltään hiljaisia ajoajankohtia ovat myöhäisiltojen ja yöajan lisäksi varhaisaamut. Viikonloppuisin aamuliikenne on hiljaista myöhempään kellonaikaan saakka kuin työpäivinä.

Liikenteellisesti hiljaisen ajoajankohdan valinnan pohtiminen tulisi edellisessä kohdassa esitetyn reitin valinnan tapaan saattaa autoilijoiden aktiiviseen tietoisuuteen. Tavoitteena tulisi olla, että tämän vaihtoehdon hyödyntämisen mahdollisuus tulisi automaattisesti käydyksi läpi kuljettajan mielessä. Näin erityisesti sellaista ajorupeamaa suunniteltaessa, jota ei ole välttämätöntä toteuttaa juuri jonakin tietynä kellonlyömänä.

luvussa 8.12 tarkastellaan tuulen huomioon ottamista kuljettajan kannalta ja luvussa 9.2 ajoolosuhteisiin liittyvänä tekijänä. Ajoajankohdan valintaan tuulen nopeus ja suunta liittyvät siten, että jos tuuli on ennusteiden mukaan voimakas ja sen suunta on suunnitellulla ajoreitillä vastainen, ajoajankohta kannattaa mahdollisuuksien mukaan siirtää myöhäisiltaan, koska tuulen nopeus yleensä alenee yön lähestyessä.

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoainekulutukseen

8.8 Ajoajankohdan valinta

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Jos ajoajankohta on valittavissa, kannattaa suosia hiljaisen liikenteen aikaa.
- ☛ Erityisesti työmatka- ja viikonloppuliikenteen huippuaikoja kannattaa mahdollisuuksien mukaan välttää.
- ☛ Hiljaisen liikenteen ajankohtia ovat myöhäisilta- ja yöajan lisäksi myös varhaisaamut.
- ☛ Viikonloppuisin aamut ovat pitempään ruuhkattomia kuin arkipäivisin.
- ☛ Jos suunnitellulle ajoreitille ennustetaan vastatuulta, ajon ajoittaminen myöhäisiltaan saattaa vähentää ilmanvastusta, koska tuulen nopeus usein alenee yöksi.

8.9 JOUTOKÄYNTI

Polttoaineenkulutus joutokäynnillä osuu tavallisilla henkilöautoilla suuruusluokkaan 0.5–1.2 l/h. Minkä tahansa auton joutokäyntikulutus voidaan määrittää auton ajotietokoneen keski-kulutuspöytäkirjan avulla liitteessä 2 esitetyllä tavalla. Joutokäyntikulutuksen merkitystä usein aliarvioidaan, koska ei tulla ajatelleeksi, että suurimmissa kaupungeissa ruuhkaisena ajankohtana joutokäyntiaikaa voi kertyä enemmän kuin aikaa, jolloin auto liikkuu.

Lasketaan esimerkki joutokäyntikulutuksen vaikutuksesta. Jos ajettava matka kaupungissa on 5 km, ja ruuhkan takia auto seisoo paikallaan 500 metrin välein minuutin kerrallaan, paikallaanoloa kertyy 9 kpl eli joutokäyntiä yhteensä 9 min. Joutokäyntikulutuksella 0.8 l/h polttoainetta kuluu 9 minuutin joutokäynnin aikana 0.12 l.

Jos ko. auton kaupunkikulutus olisi lukuisine hidastuksineen ja kiihdytyksineen, mutta ilman joutokäyntiä esimerkiksi 7.0 l/100 km, 5 km:n matkaan tarvittaisiin polttoainetta 0.35 litraa. Kun tähän lisätään joutokäyntikulutus, tarvittavaksi polttoaineen kokonaismääräksi muodostuu 0.47 l. Koska tämä kulutetaan 5 km:n mat-

kalla, kulutukseksi joutokäynti mukaan lukien muodostuu 9.4 l/100 km.

Havaitaan siis, että joutokäynti kasvattaa polttoaineenkulutusta arvosta 7.0 l/100 km lukemaan 9.4 l/100 km eli lähes 35 prosentilla. Kuka vielä väit-



tää, että kyseessä on merkityksetön asia? Toisenkin esimerkki havainnollistaa asiaa: Virallisen EU-normisyklin (ks. liite 1) kaupunkiosuudessa joutokäynnin osuus virallisesta kaupunkikulutuksesta on n. 15 prosentin luokkaa.

Sanomattakin on selvää, että moottorin käyttäminen joutokäynnillä muulloin kuin liikenne-esteen takia tai muusta kuin pakottavasta syystä osoittaa täydellistä välinpitämättömyyttä sekä tervettä järkeä, ympäristöä, lainsäädäntöä että omaa kukkaroa kohtaan. Todellisuudessa näitä ”pakottavia syitä” on melkoisen vähän.

Tämän kirjoittaja on hybridi-auton monivuotisenä tyytyväisenä käyttäjänä pyrkinyt auton liikkuessakin pitämään polttomoottorin sammuksissa mahdollisimman suuren osan aikaa. Erityisesti tältä pohjalta asiaa tarkasteluna on erittäin vaikeaa löytää montakaan järjestäytyneitä syytä moottorin käynnissä pitämiselle silloin, kun auto ei edes liiku. Silloin kun auton matkamittari ei kelaa kilometrejä, mutta polttoainetta kuluu, kulutus litroina sataa kilometriä kohti on matemaattisesti määriteltynä ääretön!

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen

8.9 Joutokäynti

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Ruuhka-ajossa joutokäynti saattaa kasvattaa kulutusta jopa yli 30 %:lla.
- ☛ Virallisessa EU-kaupunkikulutuksessa joutokäynnin osuus on noin 15 prosenttia.
- ☛ Moottorin pitäminen käynnissä auton seisoessa muun syyn kuin liikenne-esteen takia on useimmissa tapauksissa täysin tarpeetonta.

8.10 KYLMÄKÄYNNISTYKSET

Kylmäkäynnistykset kasvattavat kulutusta. Kulutus kasvaa sitä runsammin, mitä tiheämmin moottori käynnistetään kylmänä ja mitä matalampi on käynnistyslämpötila. Jo $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$:n käynnistyslämpötila aiheuttaa 4 km:n ajomatalla kaupunkikulutukseen 25–100 % kasvun, kuten luvussa 9.6 myöhemmin todetaan.

Matalammissa lämpötiloissa ja lyhyemmillä ajo-ajomatkalla kulutuksen kasvu on tätäkin suurempi. Lisäksi kylmänä käynnistettäessä saattaa olla tarpeen käyttää moottoria hetki joutokäynnillä ennen ajoon lähtöä näkyvyyden varmistamiseksi, mikä sekin nostaa kulutusta. Joutokäynnin tarpeen tosin uskotaan usein olevan suurempi kuin se todellisuudessa on. Nykyisillä moottoreilla kannattaa lähteä kylmänäkin ajamaan varovasti mahdollisimman pian käynnistyneen jälkeen. Joutokäynti ennen lähtöä on yleensä tarpeen vain äärimmäisen matalissa lämpötiloissa.

Jos kylmäkäynnistysten välillä on vain lyhyitä moottorin käyttöjaksoja, moottori tuskin koskaan saavuttaa normaalia käyntilämpötilaansa. Tällöin kulutus on jatkuvasti suurempi kuin käyntilämpimällä moottorilla. On muistettava, että moottoriöljyn lämpeneminen kestää kauemmin kuin jäähdytysnesteen, joten öljy on normaalia kylmempää ja jähmeämpää vielä pitkään senkin jälkeen, kun jäähdytysnesteen lämpömittari on jo saavuttanut lopullisen näyttämänsä. Öljyn lämpömittaria tapaa nykyisin melko harvoin.



Erityisesti kylmän vuodenajan kaupunkikulutusta arvioitaessa on tärkeää pitää mielessä kylmäkäynnistysten kulutusta kasvattava vaikutus. Jos autolla ajetaan pakkaskautena vain muutaman minuutin lyhyttä työmatkaa ja kylmäkäynnistyiä on kaksi päivässä, kulutus voi olla kaksinkertainen vastaavaan kesälämpötiloissa suoritettavaan katkoajoon nähden. Ja katkokäynnisteinen kaupunkikulutus voi kylmänä vuodenaikana olla enemmän kuin kaksinkertainen verrattuna esimerkiksi jakeluajotyypistä tehtävää suorittavaan autoon, jolla ajetaan paljon jokaisen kylmäkäynnistyneen jälkeen.

Käsite "kaupunkikulutus" on siis erittäin väljä. Jos kaupunkikulutuksesta puhutaan, kylmäkäynnistystiheyden tulisi olla tiedossa, jotta puheena olevilla kulutuslukemilla olisi todellista informaatioarvoa.

Auton käynnistämistä pelkästään lyhyitä ajomatkoja varten tulisi kylmällä säällä välttää, tai ainakin moottorin esilämmitystä (luku 8.13) tulisi käyttää. Näin vältetään kulutushuipuilta sekä pakkaskäynnistysten aiheuttamilta häkä- ja hiilivety päästöiltä, jotka ovat moninkertaiset kesälämpötiloihin nähden. Samalla moottorin kuluminen vähenee.

Kylmäkäynnistysten määrää ja niistä aiheutuvaa kulutus- ja päästölisää voidaan vähentää suunnitelmalla usean asian hoitaminen samalle matkalle. Tällöin autolla ajetaan harvemmin, mutta suunnitellusti pitempi matka jokaisen kylmäkäynnistuksen jälkeen. Voidaan myös valita muita liikku- mismuotoja henkilöauton asemesta. Matkat kau- punkioloissa noin kilometrin pituuteen saakka su-

juvat kävellen ja noin kolmeen kilometriin saakka polkupyörällä samassa ajassa tai jopa nopeammin kuin autolla, kun otetaan huomioon ajon valmis- teluun kuten auton harjaamiseen ja ikkunoiden raapimiseen sekä pysäköintipaikan etsimiseen jne. kuluva aika. Ja kannattaa myös muistaa, että joukkoliikenteen käyttö voi olla varteenotettava valinta.

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen

8.10 Kylmäkäynnistykset

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Mitä kylmemmässä moottori käynnistetään ja mitä lyhyemmät ovat ajomat- kat kylmäkäynnistysten välillä, sitä korkeammaksi kulutus nousee.
- ☛ Jo -7 °C:n lämpötilassa käynnistettäessä kulutus voi muutaman kilometrin matkalla olla kaksinkertainen kesäkäynnistykseen nähden.
- ☛ Moottori on saavuttanut normaalin käyntilämpötilansa ja kulutuksensa vasta sitten, kun jäähdytysnesteen lisäksi myös sitä hitaammin lämpiävä moottori- öljy on lämmennyt.
- ☛ Talvella moottoriöljy saavuttaa normaalilämpötilansa ja moottori normaali- kulutuksensa vasta huomattavan pitkän ajomatkan jälkeen.
- ☛ Kaupunkikulutus on talvella yli kaksinkertainen sellaisessa autossa, jota aje- taan vain muutama kilometri kylmäkäynnistysten välillä verrattuna autoon, jolla ajetaan paljon jokaisen kylmäkäynnistuksen jälkeen.
- ☛ Moottori tulisi esilämmittää ennen kylmäkäynnistystä, jos se on mahdollista.
- ☛ Auton käyttöä lyhyillä matkoilla tulisi välttää kylmimpinä päivinä.

8.11 AUTON MASSAN JA LIIKKEEN HYÖDYNTÄMINEN

Luvussa 8.1 käsiteltiin liikennetilanteiden ennakoimista jarrutusten ja niistä aiheutuvien uudelleenkiikahdytysten minimoimiseksi. Tavoitteenahan on *auton liike-energian säilyttäminen*. Jarrutusten välttämisen lisäksi auton massasta ja liikkeestä muodostuvaa liike-energiaa kannattaa hyödyntää muillakin tavoin aina, kun se on mahdollista.

Erityisesti auton massan ja liikkeen hyödyntäminen ansaitsee pohdintaa mäkisessä maastossa ajettaessa. Vastamäessä auton massasta sekä mäen kaltevuudesta aiheutuu auton kulkusuuntaan nähden vastakkainen eli moottorin kuormitusta lisäävä, ja myötämässä vastaavasti auton kulkusuuntaan eli moottorin kuormitusta vähentävä voima. Nopeusvalintoja vasta- ja myötämässä on käsitelty edellä luvun 8.2 lopussa.

8.11.1 Tavanomaiset ajoneuvot

Tavanomaisilla polttomoottoriautoilla periaatteessa taloudellisinta olisi päästä ajamaan tasamaalla, jolloin moottorin kuormitus säilyisi vakiona. Tämä ei tietenkään ole kaikkialla mahdollista. Usein ajoreitille osuu mäkiä osuuksia, joita ajettaessa vasta- ja myötämät vuorottelevat.

Vastamäessä moottorin kuormitus kasvaa, jos ajonopeus pidetään vakiona. Kuormituksen kasvun takia myös polttomoottorin hyötysuhde yleensä kasvaa (luku 5.2). Samalla kuitenkin tehontarve kasvaa, joten myös polttoaineenkulutus kasvaa.

Moottorin hyötysuhteen kasvun takia kulutus kuitenkin kasvaa suhteellisesti vähemmän kuin tehontuotto, joten lopputulos on kustannus-hyötysuhteen kannalta edullinen. Vastamäkeen ajettaessa saadaan ikään kuin enemmän hyötystä jokaisesta polttoainelitrasta, koska moottori toimii yleensä vastamäessä pienemmällä ominaiskulutuksella (ks. luku 5.2) eli paremmalla hyötysuhteella kuin samalla ajonopeudella tasamaalla. Moottori siis kykenee kuormitetumpaan muuntamaan suuremman osan polttoainetehosta mekaaniseksi tehoksi, joka liikuttaa autoa.

Vastamäkeen noustessa auton korkeusasema eli potentiaalienergia kasvaa. Kasvun suuruus riippuu mäen korkeuserosta ja auton massasta ($E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$, jossa m on massa, g on maan vetovoiman kiihtyvyyden ja h on korkeusero). Nousunopeudella ei ole asiaan vaikutusta. Nopeuden hidastamisella vastamäessä ei siis saavuteta kulutushyötystä muutoin kuin vähentyneen ilmanvastuksen muodossa. Ja kun moottorin kuormitus nopeuden vähetessä alenee, sen hyötysuhdekin alenee, joten nopeuden vähentämisellä vastamäessä ei ole kulutukseen ainakaan merkittävää vaikutusta. Usein on siis kannattavaa pitää ajonopeus vastamäessä vakiona tai lähes vakiona.

Tilanne muuttuu toiseksi, jos mäki on niin jyrkkä moottorin tehoon ja auton massa nähden, että autoa jouduttaisiin vastamäessä ajamaan täydellä teholla nopeuden säilyttämiseksi vakiona. Tällöin moottorin hyötysuhde todennäköisesti huononiisi, ja kulutus kasvaisi. Tämän välttämiseksi nopeuden kannattaisi antaa alentua vastamäessä. Nykyi-

set moottorit ovat kuitenkin niin tehokkaita, että tällainen tilanne tulee vastaan erittäin harvoin ainakaan henkilöautolla ajettaessa.

Myötämässä moottorin kuormitus eli tehontuotto vastaavasti laskee tasamaahan nähden, jos ajonopeus pidetään vakiona. Usein moottorin kuormitus laskee myötämässä niin alas, että sen hyötysuhde alenee enemmän kuin se samansuuruisessa vastaamässä kasvaa. Jos ajetaan vasta- ja myötämäestä muodostuvan mäenharjanteen yli ja palataan alkuperäiseen korkeusasemaan, lopputuloksena on tavallisella autolla yleensä suurempi polttoaineenkulutus kuin jos olisi ajettu tasamaalla.

Myötämässä tapahtuvaa moottorin hyötysuhteen huononemista voidaan lieventää antamalla ajonopeuden hieman kasvaa. Tällöin moottorin kuormitus sekä hyötysuhde säilyvät hieman korkeampina. Samalla tosin ilmanvastus kasvaa, joten ei ole yksiselitteisen selvää, onko moottorin hyötysuhteen kasvusta aiheutuva kulutussäästö suurempi kuin ilmanvastuksen aiheuttama kulutuslisä. Jos nämä ovat yhtä suuret, nopeuden nostosta alamässä jää hyödyksi muutamaa sekuntia aikaisempi saapuminen perille (tai seuraaviin liikennevaloihin tms.), jos sillä nyt sattuisi olemaan merkitystä.

Ajonopeuden luonnollisesta kasvusta myötämässä saattaa seurata, että nopeus kasvaa sallittuun nähden liian suureksi. Tältä voidaan välttyä antamalla nopeuden hieman laskea ennen myötämän alkamista. Kun nopeus on laskenut sopivasti alle sallitun, sen voidaan antaa myötämässä kasvaa

ilman ylinopeuden riskiä. Olennaista on siis, että myötämäkeä edeltävässä tilanteessa nopeus valitaan siten, että myötämässä ei tarvitse jarruttaa, ei moottorilla eikä pyöräjarruilla.

Myötämän hyödyntämisen rajoitteita

Myötämän antama hyöty saattaa jäädä realisoidumatta esimerkiksi silloin, jos mässä tai heti sen jälkeen joudutaan jonkin liikenne-esteen takia jarruttamaan tai pysähtymään. Jos heti myötämän jälkeen joudutaan kääntymään risteyksestä, myötämän antamaa liike-energiaa joudutaan hävittämään jarruttamalla.

Reitinvalinnoilla voidaan toisinaan välttää tällaisia liike-energiaa hävittäviä tilanteita. Kannattaa siis valita, mikäli mahdollista, sellainen reitti, jossa voidaan myötämän antama nopeus hyödyntää täysimääräisenä. Myötämän antaman edun hyödyntämisen mahdollisuuksia ei voi tietää oudoilla, satunnaisilla ajoreiteillä. Sen sijaan säännöllisen esimerkiksi työmatkareitin *eri vaihtoehdot kannattaa miettiä tarkkaan myötämäkien antaman hyödyn kannalta.*

Jos kaksi samanpituista reittiä on valittavissa ja toista käyttäen myötämäki pystytään hyödyntämään, ja toisessa tapauksessa nopeus on jarruttettava pois, on helppo päätellä, kumpi vaihtoehdoista kannattaa valita. Jos päivittäisellä ajoreitillä saadaan luonnonvoimien avulla pienikin vähennys polttoaineenkulutukseen, hyöty kasvaa ajan mitaan merkittäväksi.

Vapaalla rullaaminen

Usein esitetty kysymys on, kannattaako myötämässä rullata vapaalla. Ja vastaus kuuluu, että usein kannattaa.

Rullauksen aikana moottori käy joutokäyntiä. Hidastustapojen yhteydessä kohdassa 8.5 esitetiin, että maantienopeuksissa vapaalla rullattaessa vallitseva joutokäynnin aiheuttama kulutus on useissa tapauksissa alle 1 l/100 km (taulukko 8.2). Rullaaminen on siis usein taloudellisin vaihtoehto. Joutokäyntikulutuksen vaikutus on tietysti sitä pienempi, mitä suuremmalla nopeudella rullataan. Suuremmalla nopeudellahan matkaa taittuu aikayksikössä enemmän. Ja joutokäynnin aikana kuluva polttoainemäärähän ei riipu ajonopeudesta vaan ainoastaan ajasta.

Kun ennen alamäkeen rullaamaan lähtemistä huolehditään siitä, että *ei synny tarvetta jarruttaa*, auton liike-energia säilyy täysimääräisenä. Vapaalla rullattaessahan liike-energiaa eivät vähennä muut kuin ajovastukset. Vapaalla rullattaessa ajonopeus voi myötämässä kasvaa enemmän kuin vaihteen ollessa kytkettynä. Tämä riippuu auton ominaisuuksista sekä mäen jyrkkyydestä. Näin ollen ajonopeuden tulee myötämäen alkaessa olla riittävän pieni, jotta jarruttamiselta vältytään rullauksen aikana.

Vapaalla rullaamista puoltaa myös se, että moottorijarrutusta ei tällöin esiinny vahingossakaan. Moottorijarrutus hävittää liike-energiaa, mikä on taloudellisen ajamisen periaatteiden vastais-

ta. Ja vaikka polttoaineen syöttö olisi katkaistuna moottorijarrutuksen aikana, hetkellisestä kulutuksesta saatava hyöty häviää usein uudestaan kiihdyttämisen tarpeeseen, joka moottorijarrutuksesta seuraa.

Vapaalla rullaamisen hyödyn on todennut muun muassa Volkswagen, jonka uusimmissa DSG-automaattivaihteistoissa on vapaakytkintoiminto ("freewheel"), joka irrottaa moottorin voimansiirrosta rullaustilanteissa. Samaa periaatetta tulee ennakkotietojen mukaan soveltamaan uusissa automaattivaihteistomalleissaan myös BMW. Vapaakytkintoiminto on mahdollinen myös manuaalivaihteiston yhteydessä: monella nykyautoilijallakin on kokemusta takavuosien vapaakytkimellisistä Saab 96:sta tai Wartburgista, joissa vapaalle siirtymiseen tarvittiin vain kaasupolkimen nosto.

Toisinaan kuulee puhuttavan, että vapaalla rullaaminen heikentäisi auton hallittavuutta eli ajoturvallisuutta erityisesti liukkaissa olosuhteissa. Mahdollinen hallittavuusongelma liittyy ainakin henkilöautoilla lähinnä taitamattomaan vaihteen kytkemiseen rullauksen jälkeen eikä rullaamiseen sinänsä.

Jos rullausta lopetettaessa valitaan liian pieni vaihte ja vapautetaan kytkinpoljin liian nopeasti, seurauksena voi olla äkkinäinen moottorijarrutus ja auton joutuminen luistoon. Riski on pienempi automaattivaihteisissa autoissa, ja uusien autojen ajonvakautusjärjestelmät vähentävät tietenkin luistoriskiä kaikenlaisissa autoissa.

Rullausta ajatellen tilanne on oikeastaan päinvas-tainen, koska yleisohje auton hallinnan palautta-miseksi luistotilanteessa kuuluu: kytkin pohjaan! Lisäksi on todettava, että jos rullaaminen olisi yksiselitteinen turvallisuusriski, autonvalmistajat ei-vät ottaisi edellä mainittuja vapaakytkintoimintoja käyttöön. Mutta jos kuljettaja ei tunne vapaalla rullaamista luontevaksi, sitä on syytä välttää aina-kin huonoissa olosuhteissa.

Tulevaisuudennäkymiä

Kulutuksen kannalta olisi ihanteellista, jos moot-tori olisi rullattaessa joutokäynnin asemesta täy-sin sammuksissa. Näinhän hybridiautoissa usein jo tapahtuukin (ks. luku 8.11.2). Nykyisissä tavan-omaisissa autoissa (ei-hybrideissä), start-stop-toiminto jättää osan moottorin sammuttami-sesta aiheutuvasta kulutussäästöpotentiaalista hyödyntämättä, koska järjestelmä aktivoituu ai-noastaan auton ollessa pysähdyksissä.

Näemme piakkoin todennäköisesti myös ei-hy-bridiautoissa nykyistä älykkäämpiä start-stop-järjestelmiä, jotka sammuttavat moottorin esi-merkiksi myötämäissä ja nopeutta hidastettaes-sa, eli paikallaan seisomisen lisäksi kaikissa ajo-tilanteissa, joissa tehoa ei tarvita. Tähän liittyvää pohdintaa on esitetty aiemmin luvuissa 8.5 ja 8.9.

Moottorin sammuttaminen liikkeessäkin olevassa autossa ei välttämättä edellytä hybriditekniikkaa eli sähköistä voimalinjaa sähkömoottoreineen, akkuineen ja voimanjakoyksikköineen. Tarvitaan ainoastaan älykäs ohjausjärjestelmä sekä sähkö-

moottorit huolehtimaan ohjaus- ja jarrutehostuk-sen toimivuudesta moottorin sammuksissa olon aikana. Lopputuloksena tulee olemaan jo nykyisen hybriditekniikan yhteydessä hyödynnettävän kal-tainen ”laajennettu” moottorin sammuksissa olo nykyisiin start-stop-järjestelmiin nähden.

8.11.2 Hybridiajoneuvot

Vanhan kansan sanonnan mukaan ”kyllä mäki aina velkansa maksaa”. Näin periaatteessa onkin, mut-ta velka kuittaantuu täyspainoisesti luvussa 8.11.1 esitettyyn perustuen ainoastaan *myötämässä moottorinsa älykkäästi sammuttavien* autojen olles-sa kyseessä. Tällaisia autoja ovat vielä toistaiseksi lähinnä hybridiautot.

Hybridiautoissa polttomoottori kyetään sammut-tamaan (lähes) aina, kun sitä ei tarvita. Tällaisia ajotilanteita ovat esimerkiksi pienillä nopeuksil-la ajo, nopeuden hidastaminen sekä myötämä-kiajo. Esimerkiksi hybridiauto Toyota Priuksessa moottori sammuu yksinkertaisesti kaasupoljinta keventämällä, jos hybridijärjestelmän ohjaus-toimintoihin ohjelmoidut kynnyskriteerit täytty-vät.

Hybrideissä polttomoottori on useimmiten sam-muksissa myötämäkien ajan. Polttoaineenkulu-tus on näissä tilanteissa tietysti nolla ilman, että tavanomaisten autojen polttoaineensyötön kat-kaisun yhteydessä esiintyvää liike-energiaa hä-vittävää moottorijarrutusta esiintyy. Samoin ta-vanomaisissa autoissa vallitseva polttomoottorin huonon hyötysuhteen käyntijakso, joka esiintyy

myötämässä silloin, kun syötön katkaisu ei ole käytössä, jää kokonaan pois. Lisäksi, koska joutokäytinkulutustakaan ei ole, ajotilanne on taloudellisempi kuin tavallista autoa rullattaessa vaihde vapaalla.

Useilla hybrideillä on mahdollista rullata polttomoottori sammuksissa ilman regeneroivaa sähkömoottorijarrutusta, ikään kuin vaihde vapaalla. Tällöin auton liike-energia hyödynnetään täysimääräisenä ja koska moottori on sammutettuna, ajotilanteen taloudellisuus on takuuvarmasti maksimoitu, jossittelun varaa ei jää!

Matemaattisesti ajateltuna ajotilanne on herkullinen: polttoainetta ei kulu, mutta matkamittari ke- laa kilometrejä, eli kulutuslaskennassa jakoviivan alla oleva luku vain kasvaa. Kyseessä on siis vastakainen tilanne aikaisemmin luvun 8.9 lopussa esitettyyn paikallaan seisovan auton joutokäyntikulutuksen matemaattiseen tarkasteluun nähden.

On syytä toistamiseen painottaa, että edellä kuvattu hybridauton ajotilanne ei ole sama kuin polttoaineensyötön katkaisun käyttö tavanomaisissa polttomoottoriautoissa. Näissä autoissa syötönkatkaisun ajan vallitsee moottorijarrutus, jolloin kallista polttoainetta polttamalla aikaansaataa arvokasta liike-energiaa hävitetään ja luodaan samalla runsaasti uudelleen kiihdyttämisen tarvetta.

On jopa mahdollista, että auton liikkeessä moottorinsa sammuttavissa hybrideissä kulutus voi mäki- sessä maastossa olla tasamaakulutusta pienempi.

Tämä aiheutuu siitä, että vastamässä moottorin kohonnut kuormitus saa sen toimimaan parem- malla hyötysuhteella kuin tasamaalla. Myötä- mässä taas auto liikkuu moottori sammutettuna pelkän liike-energiansa sekä painovoiman turvin, jolloin polttomoottorin huonon hyötysuhteen kuormitustilanteet jäävät kokonaan pois, kuten jo mainittiin.

Edellytyksenä on, että kuljettaja pitää huolen siitä, että moottori sammuu myötämässä. Lisäksi hänen tulee – kuten tavanomaisillakin autoilla – varmistua siitä, että ajonopeus on mäenharjanteella riittävän pieni, jotta myötämässä ei tarvitse jarruttaa.

On syytä huomata, että hybridi- ja sähköauto- jen sinänsä hyödyllisessä regeneratiivisessa sähkömoottorijarrutuksessakin (liike-energian talteenotto) on omat häviönsä. Sitä ei siis kannata käyttää, ellei pikainen nopeuden alentaminen ole välttämätöntä. Miksi pitäisi yrittää muuttaa auton liike-energiaa välillä sähköenergiaksi ja taas kohta takaisin liikkeeksi, jos näihin kahteen energiamuunnokseen liittyviltä häviöiltä voidaan viisaasti toimimalla välttää?

8.11.3 Kaikkia autoja koskevia erityistilanteita

Seuraavassa on esitetty kaksi kaikkia autoja koskevaa erityistilannetta, joissa tarkalla toiminnalla on mahdollisuus saavuttaa polttoaineensäästöä. Kyseiset tilanteet eivät ole kulutusvähennyspotentiaaliltaan kovin suuria, mutta ovat teoreettisesti ajatellen sitäkin mielenkiintoisempia.

Pysähtymispaikan valinta

Pysähtymispaikan valinta on polttoaineenkulutukseen vaikuttava maaston korkeuserojen hyödyntämiseen sekä jossain määrin myös reitinvalintaan liittyvä seikka. Potentiaali- eli asemaenergian eroihin perustuvaa kulutussäästöä voidaan saavuttaa välttämällä auton pysäyttämistä tien matalimpiin kohtiin eli notkojen pohjalle.

Jos auto pysäytetään notkon pohjalle, pysähdyspaikkaa edeltäneen myötämäen antama hyöty hävietään muuttamalla se jarruissa lämmöksi. Kun lähdetään jälleen liikkeelle, joudutaan aiemmin hävitetty potentiaalienergia kerryttämään uudelleen. Tämä tapahtuu nousemalla mäen päälle polttoainetta polttamalla sen sijaan, että suurin osa tarvittavasta potentiaalienergiasta olisi saatu kerrytetyksi edellisen myötämäen antaman nopeuden avulla.

Jos esimerkiksi matka-ajossa on tarvetta syystä tai toisesta pysähtyä ja pysähtymispaikka voi valita, viisaampaa on valita pysähtymispaikka siten, että se on mäen harjanteella. Tällöin jarruja tarvitsee käyttää vähemmän, koska auton nopeus alenee itsekseen vastamäen aiheuttaman nousuvastusvoiman ansiosta. Ja kun lähdetään jälleen liikkeelle, pystytään auton potentiaalienergiaa hyödyntämään kiihdyttämällä nopeutta myötämässä, jolloin auton kulkusuuntaan vaikuttava painovoimakomponentti vähentää moottoritehon tarvetta. Tällöin säästyy polttoainetta.

Pysähtymispaikan valintaa kannattaa mahdollisuuksien mukaan pohtia myös liikennevaloihin

pysähdyttäessä silloin, kun liikennevalot on sijoitettu myötämäkeen tai heti sellaisen jälkeen. Mitä korkeammalle mäkeen ennen liikennevaloa pystytään pysähtymään, sitä suurempi hyöty saadaan myötämäestä, kun lähdetään jälleen liikkeelle ja auton massan sekä korkeusaseman antama potentiaalienergia pystytään kiihdytyksessä muuntaamaan liike-energiaksi.

Edellä mainittu jää usein pelkäksi teoriaksi, koska käytännössä muu liikenne eli jonon pää punaisessa liikennevalossa usein sanelee sen, mihin kohtaan oma auto on pysäytettävä. Periaate on kuitenkin hyvä pitää mielessä, koska joissakin tilanteissa kuljettajalla on mahdollisuus ainakin jossakin määrin vaikuttaa pysähtymiskohtaansa.

Liike- ja potentiaalienergian rajakohta

Myötämäkeen tai heti sellaisen jälkeen sijoitettua punaista liikennevaloa tai muuta liikenne-estettä lähestyttäessä kannattaa arvioida, olisiko edullisempaa antaa auton liukua hitaasti kohti pysähtymiskohtaa ja koettaa säilyttää edes osa liikeenergiasta, vai olisiko järkevämpää pysäyttää auto jo runsaasti ennen pysäytysviivaa korkeammalle mäkeen, ja hyödyntää tällä tavoin säilytetty potentiaalienergia liikenne-esteen poistumisen jälkeisessä kiihdytyksessä.

Valinnan tekemistä edellä kuvatussa tilanteessa on pohdittava matemaattisesti. Rajatapauksessa kumpi tahansa edellä kuvatuista vaihtoehdoista on yhtä edullinen. Tällöin liike-energia on yhtä suuri kuin potentiaalienergia, eli $\frac{1}{2} * m * v^2 = m * g * h$. Kun



tästä ratkaistaan nopeus, saadaan lauseke:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (\text{sqrt tarkoittaa neliöjuurta})$$

Korkeuseron antamaa potentiaalienergiahyötyä voidaan siis verrata auton nopeudesta riippuvaan liike-energiahyötyyn ottamalla neliöjuuri lausekkeesta $2 \cdot g \cdot h$, jossa g on maan vetovoiman kiihtyvyys (9.81 m/s^2) ja h on auton pysäytyspaikan ja auton edessä olevan myötämäen alimman kohdan välinen korkeusero.

Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 8.3. Taulukko ilmaisee eri korkeuserojen potentiaali-

energiaa vastaavat liike-energiat eri ajonopeuksilla. Auton massa ei vaikuta asiaan. Korkeuserot on esitetty taulukossa metrin portain välillä 1–10 m.

Taulukosta havaitaan esimerkiksi, että 2 m:n korkeusero vastaa liike-energiaa ajonopeudella 23 km/h. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jos on mahdollista pysäyttää auto esimerkiksi ennen punaista liikennevaloa 2 m korkeammalle kuin myötämäen alin kohta auton kulkusuunnassa, pysäyttäminen mäkeen on taloudellisempi vaihtoehto kuin jos ajonopeus jouduttaisiin punaisen valon vaihtumista odoteltaessa laskemaan pienemmäksi kuin 23 km/h.

Taulukko 8.3 Korkeuseroista johtuvan potentiaalienergian vastaavuus eri ajonopeuksilla vallitsevaan liike-energiaan.

h [m]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v [km/h]	16	23	28	32	36	39	42	45	48	50

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen

8.11 Auton massan ja liikkeen hyödyntäminen

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Vastamäessä moottori toimii usein taloudellisemmin kuin tasamaalla.
- ☛ Myötämässä kannattaa yleensä antaa ajonopeuden hieman kasvaa.
- ☛ Mäkisessä maastossa on pyrittävä siihen, että ennen myötämäkeä ajonopeus on riittävän pieni, jotta myötämässä ei jouduta jarruttamaan.
- ☛ Säännölliset ajoreitit (esim. työmatka) kannattaa valita siten, että myötämässä tai heti sellaisen jälkeen ei jouduta jarruttamaan esim. kääntymisen takia.
- ☛ Useissa tilanteissa vapaalla rullaaminen on taloudellisempaa kuin moottorijarrutus.
- ☛ Taloudellinen ajaja ei mielellään jarruta autoa, ei pyöräjarruilla eikä moottorilla.
- ☛ Pienen tehontarpeen tilanteissa polttomoottorinsa sammuttavien hybridautojen kuljettajien kannattaa varmistua, että moottori sammuu esim. myötämässä.
- ☛ Hybridi- ja sähköautoissa olevassa liike-energian talteenotossakin on omat häviönsä, joten sen käyttöä tulisi välttää ja koettaa pitää auton liike-energia liike-energiana.

8.12 TUULEN HUOMIOONOTTAMINEN

Polttoaineenkulutus alenee, jos autolla ajetaan myötätuuleen tai sivumyötäiseen tyynen sään tai vastatuulen asemesta. Vastaavasti vastatuuli tietysti lisää kulutusta. Vastatuulen aiheuttamaa kulutuksen kasvua voidaan kompensoida ajonopeutta alentamalla. Laskelmat tuulen suunnan vaikutuksesta on esitetty jäljempänä luvussa 9.2.

Tuulen suunnalla on merkitystä polttoainekuluihin erityisesti pitkillä maantiematkoilla. Tuulen suuntaa ei pysty muuttamaan, mutta joissakin tilanteissa saattaa olla mahdollista valita ajoajankohta sen mukaan, milloin ennusteen mukaan tuuli puhaltaa edullisesta suunnasta tai on vähintäänkin

tyyntä. Tätä mahdollisuutta hyödynnetään tuskin lainkaan, mutta sen olemassaolo kannattaa ainakin teoreettisesti tiedostaa. Epävarmuutta aiheuttaa, että ennuste tuulen suunnasta ei aina pidä paikkaansa.

Käytännössä matka-ajankohta voidaan harvoin valita etukäteen tuulensuunnan ja -nopeuden ennusteen mukaan. Sen sijaan saattaa olla mahdollista valita saman päivän ajalta se kellonaika, jolloin ajo suoritetaan.

Tilastojen mukaan tuulennopeus on keskimäärin suurempi päiväsaikaan kuin illalla tai yöllä. Päivällä esiintyy myös eniten puuskia. Tuuli tyyntyy yöksi, kun auringon säteily vähenee ja lakkaa. Säteily ai-



heuttaa tuuleen turbulentsuutta, joka yleensä katoaa vähitellen sään viileessä illan mittaan.

Jos matkapäivänä tuulen suunta on ajosuunnalle vastakkainen, matkaan lähtö kannattaa ajoittaa myöhäisiltaan, jolloin tuuli on mahdollisesti tyyntynyt. Jos taas tuulen suunta on halutulla ajoreitillä myötäinen, matkaan kannattaa lähteä siten, että on perillä ennen iltaa, jotta ehtisi hyödyntämään myötätuulen antaman edun. Ja jos tarkoitus on ajaa sama reitti samana päivänä edestakaisin, ja tuulen suunta on menomatalla myötäinen, paluumatka kannattaa ajoittaa myöhäisiltaan, jotta tuuli olisi

todennäköisesti tyyntynyt eikä paluumatkalla tarvitsisi ajaa vastatuuleen.

Edullinen tuulen suunta voidaan hyödyntää kahdella tavalla: matka pystytään ajamaan joko tavanomaisella ajonopeudella tavanomaista pienemmällä kulutuksella tai tavanomaista suuremmalla ajonopeudella kulutuksen silti kasvattaen tavanomaisesta. Jälkimmäinen mahdollisuus on realisoitavissa vain silloin, kun tavanomaisesti käytettävä nopeus on sallittuja enimmäisnopeuksia matalampi. Muutoinhan tavanomaista suurempi ajonopeus aiheuttaisi nopeusrajoitusten rikkomista.

LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoainekulutukseen

8.12 Tuulen huomioonottaminen

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Myötäsuuntainen tai sivumyötäinen tuuli vähentää maantieajon polttoainekulutusta tyneen säähän nähden. Vastatuuli vastaavasti kasvattaa sitä.
- ☛ Jos pitkän maantiematkan ajoajankohta on mahdollista valita, kannattaa valita aika, jolloin ajoreitille ennustetaan edullista tuulen suuntaa tai vähintään tyyntä.
- ☛ Tuulennopeus yleensä alenee yötä lähestyttäessä, joten vastasuuntaisen tuulen vallitessa ajaminen kannattaa ajoittaa myöhäisiltaan tai yöhön.
- ☛ Myötätuuli mahdollistaa tavanomaista pienemmän kulutuksen tavanomaisella ajonopeudella tai vaihtoehtoisesti tavanomaista nopeamman etenemisen tavanomaisella kulutuksella.

8.13 MOOTTORILÄMMITTIMEN KÄYTTÖ

Moottorin esilämmittäminen ennen pakkaskäynnistystä tarjoaa monia etuja. *Polttoaineenkulutus ja sen myötä hiilidioksidipäästö vähenevät olennaisesti.* Jäljempänä luvussa 9.6 todetaan, että -7 °C :n lämpötilassa kylmänä käynnistettäessä polttoaineenkulutus oli 4 km:n kaupunkiajossa 16 testiauton ryhmässä 25–100 % korkeampi kuin käyntilämpimänä käynnistettäessä. Moottorin esilämmityksellä kylmäkulutuslisä voidaan useimmissa tapauksissa suunnilleen puolittaa.

Kun moottori esilämmitetään, myös ilmanlaatupäästöt, erityisesti hiilimonoksidi CO ja hiilivedyt HC vähenevät jopa 70–80-prosenttisesti. Samalla moottorin mekaaninen kuluminen vähenee sekä sen käynnistyminen varmistuu. Lisäksi auton sisätilojen lämpeneminen sekä ikkunoiden sulaminen nopeutuvat.

Esilämmittäminen voidaan tehdä joko sähköverkosta energiansa saavalla moottorinlämmittimellä, niin sanotulla lohkolämmittimellä, tai sähköverkosta riippumattomalla polttoainekäyttöisellä lämmittimellä. Lohkolämmitintä voidaan käyttää ainoastaan sähköverkon ulottuvilla oltaessa, kun taas polttoainekäyttöistä voidaan käyttää missä tahansa. Polttoainekäyttöisen lämmittimen etuna on paikkariippumattomuuden lisäksi suuri teho eli nopea lämmittäminen. Sen haittoja ovat kallis hinta ja akun purkautumisen riski käytettäessä lämmitintä liikaa moottorin käyntiaikaan nähden.

Henkilöautojen lohkolämmittimien teho on noin 500 W. Takavuosina lohkolämmittimet olivat enimmäkseen moottorin ns. pakkastulppien reikiin kiinnitettäviä lämmittimiä, joiden lämmityselementti oli suorassa kosketuksessa moottorin jäähdytysnesteeseen. Myös moottorin ja jäähdyttimen väliseen letkuun asennettavia lämmittimiä käytetään.

Uusissa moottorityypeissä, jossa ei em. pakkastulppia enää ole, käytetään tyypillisesti ns. säteilylämmittimiä, jotka lämmittävät moottorin sylinteriryhmää eli moottorin kylkeä jäähdytysnesteen sijaan. Säteilylämmittimistä säteilee lämpötehoa hukkaan enemmän kuin suoraan nestettä lämmitävistä lämmittimistä. Tämä täytyy kompensoida pidemmällä lämmitysajalla. Seurauksena on tietysti myös suurempi sähköenergian kulutus. Myös moottoriöljyä lämmittäviä lämmitintyyppisiä on olemassa, mutta näiden käyttö on verraten harvinaista. Näitä lienee käytetty eniten ilmajäähdytteissä moottoreissa

Ohjeelliset ulkolämpötilasta riippuvat lohkolämmitysajat on esitetty taulukossa 8.4.

Taulukko 8.4 Motivan suosittelemat sähkökäyttöisten moottorinlämmittimen käyttöajat eri ulkolämpötiloissa.

Ulkoilman lämpötila	Esilämmitys aika [h]	
	Suoraan jäähdytysnestettä lämmitävä lämmitin	Moottorin kylkeä lämmitävä ns. säteilylämmitin
+ 5 ... - 5 °C	0.5	1
- 5 ... - 10 °C	1	2
- 10 ... °C	2	3

Ohjeaikoja pitemmästä lämmitysajasta ei ole hyötyä, koska tällöin lämpöä karkaa moottoria ympäröivään ilmaan saman verran kuin lämmitin pystyy sitä tuottamaan. Seurauksena on vain sähköenergian tuhlausta, jos auto sijaitsee ulkona. Jos autoa sen sijaan säilytetään sisätiloissa, esimerkiksi autotallissa, lohkolämmittimen hukkalämpöä voidaan hyödyntää tallin ilmatilan lämmittämiseen, kuten jäljempänä todetaan.

Taulukon 8.4 mukaan moottorin lyhyt esilämmittäminen kannattaa jo +5 °C:n lämpötilassa. Suoraan jäähdytysnestettä lämmitävää lämmitintä käytettäessä tässä lämpötilassa riittää noin puolen tunnin lämmitys aika, moottorin kylkeä lämmitävää säteilylämmitintä käytettäessä tarvitaan enintään tunti. Toisaalta 2–3 tunnin lämmitys aikaa ei kannata huippupakkasillakaan kummallakaan lämmitintyyppillä ylittää.

Pitämällä esilämmitys aika riittävän lyhyenä voi varmistua siitä, että lämmitämiseen käytettävän sähköenergian kustannus on pienempi kuin esilämmittämisellä säästettävän polttoaineen hinta. Esimerkiksi kahden tunnin lämmitys 500 W:n lämmittimellä kuluttaa sähköä kilowattitunnin, jonka kustannus on noin 0.10–0.12 €. Käyttöajan säätämistä sopivaksi helpottaa useissa lämmityspistokkeissa oleva ajastettava kellolaite, joka tosin harvemmin sallii kahta tuntia pitempää käyttöaikaa.

Sähkökäyttöisiin moottorinlämmittäjiin on myös saatavissa laitteita, jotka mittaavat ulkoilman lämpötilaa ja säätävät lämmittimen käynnistysajan sen perusteella. Näiden tarkoituksena on vapauttaa autoilijat ulkolämpötilan seuraamisesta ja lämmittimen kytkemisajan vaihtamisesta. Laitteelle täytyy tietysti ilmoittaa haluttu liikkeellelähtöaika.

Polttoainekäyttöiset lämmittimet ovat selvästi tehokkaampia. Niiden tehot ovat henkilöautoihin tarkoitetuissa laitteissa 3–5 kW:n luokkaa. Näitä käytettäessä varsin lyhyt lämmitysaika (esimerkiksi 15–30 min) useimmiten riittää. Tämäntyyppiset lämmittimet lämmittävät moottorin jäähdytysnesteeseen lähemmäksi normaalia käyttölämpötilaa kuin sähköiset, joten kylmäkäynnistyskulutus ja -päästöt alenevat enemmän. Samalla lämpöä riittää myös auton sisätilojen lämmittämiseen. Lämpö siirretään jäähdytysnesteestä auton sisätiloihin auton oman lämmityslaitteen puhaltimen avulla.

Henkilöautojen polttoainelämmittimien kulutus on noin 0.5 l/h, joten puolen tunnin lämmitys kuluttaa noin 0.25 l. Tästä aiheutuva kustannus on luokkaa 0.40–0.45 €, eli enemmän kuin sähköisiä lämmittimiä käytettäessä. Vastineeksi saadaan sähköllä lämmitettyä lämpimämpi moottori ja myös lämpimät sisätilat. Samalla kylmäkäynnistys- ja kylmäkäyntivaiheiden aiheuttama kulutuslisä voi vähetä jopa noin puolella lämmittimen kulutuksesta, joten lämmittimen aiheuttama nettokulutuskulutus on yleensä korkeintaan puolet itse lämmittimen kulutuksesta. Sivutuotteena saatavan lämpimän sisätilan kustannus ei siis ole järin suuri. Toisaalta sisätilat voi halutessaan jättää lämmittämättä jättämällä sisäpuhaltimen kytkemättä. Tällöin lämmitysaikaa voidaan lyhentää.

Polttoainekäyttöistä lämmitintä käytettäessä tulee muistaa, että vaikka varsinainen lämpöenergia tulee polttoainesäiliöstä, laite tarvitsee toimiakseen myös sähköä. Polttoaineen sytyttäminen, sen pumppaaminen lämmittimeen, paloilman tuotta-

minen lämmittimelle, jäähdytysnesteeseen kierrättäminen sekä lämmön siirtäminen jäähdytysnesteestä auton sisätiloihin kuluttavat kaikki sähköä.

Tästä seuraa, että akun tyhjentymisen vaara on olemassa, jos autolla ei ajeta riittävän pitkiä aikoja lämmittimen käyttöjaksojen välillä tai jos akkua ei välillä ladata auton sähköjärjestelmästä riippumattomalla ulkopuolisella laturilla. Perussäännön mukaan auton moottorin tulisi olla käynnissä polttoainelämmittimellä lämmittämisen jälkeen vähintään saman ajan kuin lämmitintä on käytetty.

Moottorin esilämmittäminen autotallissa

Kylmäkäynnistykseen aiheuttama lisäkulutus vähenee tietysti myös, jos autoa on mahdollista säilyttää esimerkiksi tallissa, joka on edes jonkin verran lämmitetty. Lämpötilaltaan plusasteiden puolella oleva auton säilytystila lisää tietysti myös matkustusmukavuutta pakkaskaudella. Samalla ikkunoiden huurtumisvaara auton säilytyksen aikana sekä liikkeellelähdon jälkeen on selvästi vähäisempi, joten myös turvallisuus lisääntyy.

Vaikka autoa säilytettäisiinkin lämmitetyssäkin tilassa, lohkolämmitintä saattaa silti kannattaa käyttää polttoainekulutuksen ja päästöjen alentamiseksi. Kun auton säilytyspaikan ilmaa lämmitetään, lämpö kohdistuu ilmatilaan eikä auton moottoriin, missä sitä eniten tarvittaisiin, oli autotallin tai vastaavan lämmittämiseen valittu lämmönjakotapa mikä tahansa. Olennaistahan kylmäkäynnistyskulutuksen minimoimiseksi on moottorin eikä niinkään autoa ympäröivän ilman lämpötila.

Lohkolämmittimen käyttöön lämmitettävässä autotallissa kannattaisi suhtautua kokonaan uudella tavalla: osa tallin lämmityksestä voitaisiin tuottaa moottorinlämmittimen hukkalämmöllä. Jos moottorinlämmitin olisi käytössä kylmänä vuodenaikana aina, kun auto on tallissa, moottorin lämpötila pysyisi selvästi korkeampana kuin muutoin. Näin menetellen moottori olisi aina esilämmitetty eli valmiina lähtöön milloin tahansa. Lisäksi moottorinlämmittimen päälle kytkemisestä tai ajatuksesta ei tarvitsisi erikseen huolehtia, koska lämmitin kytkettäisiin toimintaan aina heti, kun auto on ajon jälkeen ajettu talliin.

Tällöin moottoritulasta ympäröivään ilmaan säteilevä lämpö huolehtisi osittain huonetilan lämmittämisestä. Jos autotallin lämmitys hoidetaan suoralla sähköllä tai öljyllä, kyseinen järjestely ei juuri edes lisäisi autotallin lämmityskuluja. Edellytyksenä tosin on, että tallin varsinainen lämmitysjärjestelmä on termostaattiohjattu siten, että se havaitsee moottorinlämmittimestä huoneilmaan säteilevän lämmön ja pienentää lämmitystehoaan. Näin ollen moottorinlämmittimen jatkuva käyttö ei nostaisi autotallin lämpötilaa, eikä lämmitysenergian kokonaiskulutus lisääntyisi. Lämpö talliin tuotettaisiin vain hieman tavanomais- ta älykkäämmällä tavalla, jonka seurauksena lämpöenergia suuntautuu suoraan sinne, missä siitä on eniten hyötyä, eli auton moottoriin.

Jos talli sen sijaan lämpiää esimerkiksi lämpöpumpulla tai kaukolämmöllä, vähäistä lämmityskulujen kasvua saattaisi olla odotettavissa. Tämä kyllä kompensoituisi kylmäkäynnistys- ja kylmäkäyntikulutuksen alenemisena.

Edellä kuvattu moottorinlämmittimen käyttötapa sopii parhaiten säteilylämmittimelle, joka ei lämmitä jäähdytysnestettä vaan moottorin kylkeä, koska se ei kiehuta eikä vanhenna jäähdytysnestettä jatkuvassakaan käytössä. Samalla säteilylämmittimen huonompi hyötysuhde suoraan jäähdytysnestettä lämmittävään lämmittimeen nähden tulee eliminoiduksi, koska säteilylämmittimen lämpötehosta ”moottorin ohi” säteilevä suhteellisen suuri lämpöteho tulisi hyödynnetyksi autotallin ilmatilan lämmittämisessä.



LUKU 8: Kuljettajan vaikutus kulutukseen

8.13 Moottorilämmittimen käyttö

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Moottorin esilämmittäminen vähentää polttoaineenkulutusta sekä CO- ja HC-päästöjä.
- ☛ Kulutuksen kasvu kuumakäynnistykseen nähden - 7 °C:ssa käynnistettäessä on 4 km:n kaupunkiajossa autosta riippuen 25–100 %.
- ☛ Moottorin esilämmityksellä em. kylmäkulutuslisä voidaan jopa puolittaa.
- ☛ Esilämmitetyn moottorin kuluminen on vähäisempää.
- ☛ Esilämmitystä käytettäessä moottorin sekä sisätilojen lämpeneminen nopeutuu ja ikkunoiden huurtuminen vähenee.
- ☛ Lämmittimiä on sähköverkkoon kytkettäviä ns. lohkolämmittimiä sekä sähköverkosta riippumattomia polttoainekäyttöisiä, jotka tarvitsevat sähköä auton akusta.
- ☛ Moottorin lyhyt esilämmittäminen on kannatettavaa jo lämpötilasta +5 °C alkaen.
- ☛ Lohkolämmittimellä sopiva esilämmitys aika on 0.5 –3 h lämpötilasta riippuen.
- ☛ Polttoainekäyttöisen lämmittimen tarvitsema käyttöaika on selvästi lohkolämmittintä lyhyempi.
- ☛ Polttoainekäyttöinen lämmitin lämmittää suoraan jäähdytysnestettä ja kytkee yleensä auton sisäpuhaltimen toimintaan, jolloin sisätilatkin lämpiävät.
- ☛ Perussäännön mukaan autolla tulisi ajaa sama aika kuin polttoainekäyttöistä lämmitintä on käytetty, jotta akku ehtisi latautua lämmittimen käytön jälkeen.
- ☛ Lämmitettävässä tallissakin säilytettävän auton lohkolämmittintä (erityisesti säteilytyyppistä) saattaa kannattaa pitää kytkettynä kylmänä vuodenaikana jopa aina, kun auto on tallissa. Tällöin moottori on jatkuvasti lämpimänä valmiina lähtöön, ja lämmittimestä autoa ympäröivään ilmaan säteilevä lämpö huolehtii osaltaan tallin lämmittämisestä vähentäen tallin varsinaisesta lämmitysjärjestelmästä otettavan lämmitysenergian tarvetta.

8.14 AUTON APULAITTEIDEN KÄYTTÖ

Auton apulaitteisiin kuuluvat muun muassa latausgeneraattori ja ilmastointilaitte. Sähkölaitteiden ja ilmastoinnin käyttö lisäävät moottorin kuormitusta ja kasvattavat kulutusta. Niitä kannattaa käyttää tarpeen mukaan eli vain silloin kun se on välttämätöntä. Esimerkiksi takalasin tai istuimen lämmitys sammutetaan heti, kun se on mahdollista.

Latausgeneraattori muuttaa moottorista tulevaa mekaanista energiaa sähköenergiaksi. Nykyisin käytettävä vaihtosähkötyyppinen generaattori, arkikielessä laturi, on hyötysuhteeltaan melko hyvä. Se pystyy useimmissa tilanteissa muuttamaan sisään syötetystä mekaanisesta energiasta jopa yli 90 % sähköenergiaksi.

Sähkön tuottamiseen auton laturilla liittyy kuitenkin taloudellisuusongelma: laturia pyörittävän polttomoottorin huono hyötysuhde. Siksi moottorille joudutaan syöttämään laturin pyörittämiseksi jopa 5–6-kertainen polttoaineteho laturista ulos haluttavaan sähkötehoon nähden. Yhden sähkökilowattitunnin tuottamiseksi tarvitaan bensiiniä 0.6–0.7 litraa, joka bensiinin hinnalla 1.70 €/l maksaa noin 1.00–1.20 euroa. Mitä sähkö sitten maksaa kotiin toimitettuna? Pistorasiasta kilowattitunnin sähköä saa v. 2013 noin 0.10–0.12 euron hintaan. Auton laturilla tuotetun sähkön hinta on siis yllättäen noin 10-kertainen kotitaloussähköön verrattuna.

Entä kuinka paljon laturin kuormitus vaikuttaa polttoaineenkulutukseen? Jos autossa on runsaas-

ti sähkökuluttajia käytössä, sähkötehon tarve voi helposti lähennellä kilowattia. Näin voi käydä, jos käytetään esimerkiksi lisävaloja, istuinlämmittimiä, takalasin lämmitintä, lämmityspuhallusta tarpeetoman suurella teholla, radiota jne.

Lasketaan esimerkki sähkön tuottamiseen tarvittavasta polttoaineesta. Käytetään seuraavia lähtöarvoja: haluttu sähköteho laturilta 900 W, laturin hyötysuhde 0.90, hihnavedon hyötysuhde 0.97, bensiinimoottorin hyötysuhde 0.20 sekä bensiinin energiasisältö 42.5 MJ/kg (= 8.8 kWh/l tiheydellä 0.745 kg/l). Lopputulokseksi tulee noin 0.6 l/h. Jos autoa käytetään joutokäynnillä, tämä määrä polttoainetta kuluu normaalin joutokäyntikulutuksen (esim. 0.9 l/h) lisäksi, jolloin joutokäynnin summakulutukseksi tulee 1.5 l/h.

Laturin aiheuttama kulutus on tietysti vakio aikayksikköä kohti, joten ajomatkaa kohti laskettuna sen vaikutus on sitä suurempi, mitä pienempi on ajonopeus. Nopeudella 60 km/h laturin kulutus 0.6 l/h lisää matkaa kohti laskettua kulutusta 1 l/100 km. Kaupungissa, jossa keskinopeus jää helposti puoleen tästä eli on suuruusluokkaa 30 km/h, laturin aiheuttama kulutus on tietysti kaksinkertainen eli peräti noin 2 l/100 km.

Nopeudella 100 km/h laturin aiheuttama kulutus olisi luokkaa 0.6 l/100 km ja nopeudella 120 km/h suunnilleen 0.5 l/100 km, jos moottorin hyötysuhde pysyisi vakiona. Todellisuudessa laturin kulutuslisä on maantienopeuksilla hieman em. arvoja alempi, koska moottorin hyötysuhde maantieajossa on parempi kuin laskentaan valittu arvo 0.20.

Valittu bensiinimoottorin hyötysuhdearvo 0.20 pätee sekalaisessa ajossa. Arvon valintaan vaikutti muun muassa se, että tämän kirjan tausta-aineistoksi laadituissa laskelmissa käytetyn esimerkkiauton (VW Golf, sukupolvi V) perinteisen imusarjaisuihkutteisen 1.6-litraisen moottorin hyötysuhde on melko tarkkaan 0.20 virallisessa EU-normiteissä (liite I) sisältäen sekä kaupunki- että maantieajo-osuudet.

Auton sähkölaitteiden käyttö tulisi siis edellä esitettyyn perustuen rajoittaa vain tarpeeseen. Laitteet on toki tarkoitettu käyttöä varten, mutta niitä käytetään vain sen aikaa, kuin on välttämätöntä, jonka jälkeen ne sammutetaan. Esimerkiksi istuinlämmittimet, takalasin lämmitys jne. on helppo unohtaa päälle jatkuvasti, ellei autonvalmistaja ole valinnut niihin ratkaisuja, jotka itsestään kytkävät virran pois tietyn ajan kuluttua. Olivat sähkölaitteet sitten itsekseen sammuvia tai eivät, valistunut autoilija ottaa itse vastuun siitä, että ne sammutetaan heti tilaisuuden tullen.

Ilmastointilaitte eli koneellinen sisätilojen jäähdytys on toinen merkittävä energiaa kuluttava apulaite autossa. Senkin käyttö tulisi taloudellisuutta tavoitellessa rajoittaa minimiin, ja säätää haluttu sisälämpötila hellesäälläkin vain hieman ulkolämpötilaa viileämmäksi laitteesta otettavan tehon ja polttoaineen lisäkulutuksen minimoimiseksi. Samalla vähenee liiallisen jäähdytyksen aiheuttaman vilustumistaudin puhkeamisen riski samoin kuin kylmästä viimasta johtuvien lihaskipujen vaara. Aurin-gossa pysäköitynä olleen auton ovia kannattaa pitää jonkin aikaa auki ennen liikkeellelähtöä.

Ilmastointilaitetta käytettäessä auton ikkunat on pidettävä kiinni, jotta lämmin ulkoilma pysyy auton ulkopuolella. Ilmastointilaitteen asemesta auton sisätilaa voi tietysti pyrkiä hellesäällä viilentämään ikkunoita tai mahdollista kattoluukkaa avaamalla. Kannattaa kuitenkin muistaa, että ikkunoiden aukipitäminen maantienopeuksissa häiritsee ilmavirtauksen käyttäytymistä auton ympärillä ja saattaa lisätä ilmanvastusta. On siis mahdollista, että ilmastoinnin käyttö ei maantienopeuksilla tule sen kalliimmaksi kuin ikkunoiden auki pitäminenkaan. Ainakin se lisää mukavuutta pienentämällä melutasoa.

Ilmastointilaitte kannattaa huollattaa muutaman vuoden välein. Sen aiheuttamaksi kulutuslisäksi ilmoitetaan eri lähteissä suuruusluokka 0.4–0.8 l/100 km. Pienillä ajonopeuksilla ruuhkassa sen vaikutus matkaa kohti voi olla tätä suurempikin.



LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoaineenkulutukseen
8.14 Auton apulaitteiden käyttö

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Sähkölaitteita ja ilmastointia käytetään vain silloin, kun niiden käyttö on todella tarpeen.
- ☛ Esim. takalasin tai istuimen lämmitys kytketään pois heti, kun se on mahdollista.
- ☛ Auton laturilla tuotetun sähkön hinta on noin 10-kertainen kotitaloussähkön nähden.
- ☛ Laturin kulutuslisä runsaasti sähkölaitteita käytettäessä on kaupunkiajossa jopa 2 l/100 km.
- ☛ Maantieajossa vastaava laturin aiheuttama kulutuslisä on suuruusluokkaa 0.5 l/100 km.
- ☛ Ilmastointilaitte on merkittävä yksittäinen energiaa kuluttava apulaite.
- ☛ Auton sisätiloja tulisi viilentää maltillisesti, jotta kulutus pysyisi kurissa ja vilustumis- sekä lihaskipujen riskit minimoituisivat. Kuumaan pysäköity auto kannattaa tuulettaa ennen lähtöä.
- ☛ Ilmastointilaitetta käytettäessä auton ikkunat on pidettävä kiinni.
- ☛ Ilmastoinnin käytön vaihtoehto, ikkunoiden avaaminen, voi lisätä kulutusta maantieajossa ilmanvastuksen kasvun takia jopa saman verran kuin ilmastoinnin käyttö.
- ☛ Ilmastointilaitte kannattaa huollattaa muutaman vuoden välein.
- ☛ Ilmastointilaitteen aiheuttama kulutuslisäksi ilmoitetaan 0.4–0.8 l/100 km, mutta sen vaikutus voi pienillä ajonopeuksilla olla selvästi suurempikin.

8.15 AUTON LÄMMITYSLAITTEEN KÄYTTÖ

Auton lämmitykseen käytettävä energia on pääasiassa polttomoottorin hukkalämpöä. Tämä tarkoittaa, että lämmityslaitteesta tuleva lämpö on periaatteessa ilmaista, kun moottori on lämmennyt. Lämmityslaitteen käyttö ei siis lisää polttoaineenkulutusta lämpimällä moottorilla enempää kuin lämmityspuhaltimen sähkökulutuksen verran.

Sen sijaan moottorin ollessa kylmä lämmityslaitteen käyttö hidastaa moottorin lämpenemistä ja saattaa lisätä kylmäkäynnin aikaista kulutusta. Jos auton sisätiloihin pyydetään lämmitystä heti kylmäkäynnistyksen jälkeen, moottorin käyntiaika vajaalämpöisenä pitenee. Polttoaineenkulutus on vajaalämpöisessä moottorissa suurempi kuin lämmenneessä. Lisäksi hybridautoissa kulutusta nostaa se, että moottoria ei sammutella ajon aikana normaalisti, jos moottori on kylmä ja sisään pyydetään lämpöä (luku 10.4).

Joissakin (diesel)autoissa käytetään suuritehoisia sähkövastuksia sisään puhallettavan ilman lämmittämiseen ennen kuin moottorin hukkalämpöä on riittävästi saatavissa. Nämä tietysti kuormittavat laturia ja lisäävät kulutusta, jos autoon halutaan lämpöä moottorin ollessa kylmä.

Varmin tapa estää moottorin lämpenemisen hidastumisesta ja mahdollisista sähkövastuksista aiheutuva kulutuksen kasvu on säätää liikkeelle lähdeäessä lämmityslaitte kylmälle eli puhaltamaan autoon lämmittämätöntä ilmaa. Tämä tietysti edellyttää, että ikkunat ovat liikkeelle lähdeäes-

sä huurteettomat. Samalla täytyy huolehtia siitä, että ilmastointilaitte ei ole kytkettyä, jotta se ei ala koneellisesti jäähdyttää sisään puhallettavaa ilmaa. Lämpöä voi alkaa pyytää sisätiloihin sitten, kun moottori on lämmennyt ainakin jonkin verran. Teoreettisesti ottaen parasta olisi tehdä tämä vasta sitten, kun jäähdytysneste on lämmennyt lopulliseen käyttölämpötilaansa.

Lämmittämättömän ilman puhaltaminen autoon saattaa tuottaa matkustajille viileämmän olon kuin jos puhallinta ei lainkaan käytettäisi ennen kuin moottori on lämmennyt. Täysin ilman puhallusta on kuitenkin vaikeaa saada ikkunoita pysymään kirkkaina, joten vähintään pieni puhallus tuulilasille on useimmiten tarpeen. Jos ulos näkeminen alkaa olla uhattuna pelkkää kylmää ilmaa lasille puhallettaessa, täytyy tietysti puhallettavaan ilmaan säätää myös lämpöä.

Sisätilojen lämmittämättömyys lyhyillä matkoilla

Lämmityksen käyttäminen vasta moottorin lämmettyä tarkoittaa käytännössä sitä, että pakkasella lyhyillä matkoilla koko matka suoritetaan ilman lämmitystä. Tästä ei kuitenkaan aiheudu kohtuutonta haittaa, jos asiaan asennoidutaan ja pukeudutaan oikein.

Tilanteissa, joissa moottori ei ehdi lämmitä täysin, on tyypillisesti kyse enintään noin 15 minuutin ajo-matkoista. Tämän ajan ihminen pystyy kyllä asiallisesti pukeutuneena istumaan kylmässäkin autossa tietäen, että perille päästyä pääsee taas huoneen-



lämpöön. Lieneekin perusteltua esittää seuraava kysymys: Onko yleensäkin tarpeellista yrittää lämmittää auton sisätiloja pakkasella mahdollisimman lämpimiksi esimerkiksi 15 minuutin kaupunkiajorupeamaa varten? Tällöinhän auton sisälämpötila saadaan halutulle tasolle aikaisintaan juuri silloin, kun ajo päättyy ja autosta poistutaan, joten lämpö päättyy loppujen lopuksi kuitenkin harakoille.

Auton sisätilojen lämpöeristys on suurten ikkunapinta-alojen takia huono, joten sisätilan lämmittämiseen tarvittava teho on useita kilowatteja. Erityisesti lyhyillä matkoilla sisätilojen lämmitys tapahtuu ainakin jonkin verran ylimääräistä polttoainetta polttaen. Onneksi pitkillä matkoilla lämpö saadaan moottorin hukkalämmöstä ja ylimääräistä energiaa tarvitaan ainoastaan sen siirtämiseen sisätiloihin.

Auton sisätilojen lämmittämättä jättämisestä koituu polttoaineensäästön lisäksi muitakin hyötyjä. Jos sisätilat pysyvät aina pakkasen puolella, auton lattioille kantautunut vesi ja lumi pysyvät jäätyneenä eivätkä haihdu kosteutena ilmaan. Tämä vähentää ikkunoiden huurtumista sisäpuolelta. Lisäksi lumi saattaa olla vettä tai jäätä helpompaa poistaa auton sisätiloista mattoja ravistamalla. Kylmät sisätilat voivat siis monissa tapauksissa jopa parantaa näkyvyyttä.

Toinen sisätilojen lämmittämättömyydestä lyhyillä matkoilla koitua hyötyä realisoituu pakkassäällä lumipyryn aikana. Jos sisätiloja lämmitetään, auton laseille satava lumi sulaa. Kun auto jätetään seisomaan ja jäähtymään asiointipysähdyksen ajaksi, laseille sulanut vesi jäätyy. Seuraavan kerran liikelle lähdetessä lasit on raavittava suurella

työllä puhtaaksi sekä irrotettava kiinni jäätyneet lasinpyyhkimet niiden toiminnan varmistamiseksi ja vaurioitumisen estämiseksi. Jos sisätilat sen sijaan jätetään lämmittämättä eli auton sisälämpötila pysyy koko ajan pakkasen puolella, auton laseille pysäköinnin aikana satanut pakkaslumi on yhdellä harjan tai tuulilasipyyhkimien pyyhkäisyllä helposti hoidettu pois. Matka voi siis jatkua välittömästi hyvän näkyvyyden vallitessa.

Keinoja näkyvyyden varmistamiseksi

Talvisaikaista ikkunoiden huurtumista ja hikoamista voidaan kaikkiaan vähentää pitämällä lasit sisäpuolelta puhtaina ja rasvattomina. Autossa ei kannata tupakoida. Myös lumen ja yleensä kosteuden tuomista autoon tulisi välttää. Lumikelillä kannattaa ensin istua penkille ja sitten paukuttaa kenkiä huolellisesti yhteen auton ulkopuolella ennen kuin jalat tuodaan sisään. Lumipyryllä vaatteet pudistellaan mahdollisuuksien mukaan kuivaksi ennen autoon astumista. Talvella kannattaa käyttää kaukalomattoja, joista on helppo heittää lumi ja vesi aika-ajoin pois.

Lämmön puhaltamista alas auton lattialle tulisi käyttää vain tarpeen mukaan, jotta lattialla oleva kosteus ei höyrystyisi ja tiivistyisi ikkunoihin. Lisäksi talvisaikana autossa sisällä ei tulisi oleskella sen ollessa paikallaan, jotta hengitysilman kosteus ei tiivistyisi laseille. Ja paikallaan olevan auton moottoriahan ei tietenkään käytetä turhaan.

Näkyvyyden varmistamiseksi olisi edullista, jos auton sisätilat saisi kunnolla kuivatuksi edes muu-

taman kerran talvessa, erityisesti jos autolla ajetaan vain lyhyitä matkoja. Kuivauspaikan tulisi olla lämmin talli tai vastaava, jossa on hyvä ilmanvaihto. Auton tulisi voida olla lämpimässä mielellään vähintään yön yli, tarvittaessa jopa kauemmin. Jotta sisätilat kuivuisivat, auton ovet tai vähintään ikkunat pitäisi jättää auki. Jos ikkunat avataan, ne saattavat oven sisällä ollessaan jäädä kuivumatta. Jos ovet jätetään auki, sisävalon sammuminen on syytä varmistaa, ettei akku tyhjene.

Automaattisäätöiset lämmityslaitteet

Automaattisäätöiset lämmityslaitteet käyttävät usein suurempia puhallinnopeuksia kuin olisi välttämätöntä. Usein lämmön tuottaminen on automaatti-ilmastoinneissa toteutettu suurella puhallinnopeudella ja suhteellisen matalalla ilman lämpötilalla, vaikka energiankulutuksen minimoimiseksi asia tulisi hoitaa toisin päin. Näin siksi, koska moottorista tuleva hukkalämpö on ilmaista mutta lämmityspuhaltimen pyörittäminen ei.

Onneksi lämmityslaitteita voi säätää myös käsin. Taloudellisuuden kannalta lämmityslaitteesta kannattaa hakea pienin puhallusteho, joka antaa riittävän näkyvyyden, ja säätää puhallettavan ilman lämpötila korkeaksi. Tällöin myös vedon tunne sekä puhaltimen melu sekä pysyvät vähäisimpänä. Joidenkin autojen automaattisten lämmityslaitteiden ominaisuuksiin kuuluva taloudellisuuteen painottuva Economy- tms. moodi saattaa toimia tähän suuntaan. Ainakin se pyrkii minimoimaan ilmastointilaitteen käyttämisen.

”Auton sisätilojen lämpöeristys on suurten ikkunapinta-alojen takia huono, joten sisätilanlämmittämiseen tarvittava teho on useita kilowatteja.”



LUKU 8: Kuljettajan vaikutus polttoainenkulutukseen

8.15 Auton lämmityslaitteen käyttö

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Lämmityslaitteesta saatava lämpöenergia on moottorin hukkalämpöä eli periaatteessa ilmaista sen jälkeen, kun moottori on lämmennyt.
- ☛ Moottorin ollessa kylmä lämmön pyynti auton sisätiloihin hidastaa moottorin lämpenemistä ja periaatteessa kasvattaa kulutusta.
- ☛ Joissakin (diesel)autoissa käytetään suuritehoisia sähkövastuksia sisätilojen lämmittämiseen ennen kuin moottorin hukkalämpöä on riittävästi saatavissa. Näiden käyttö kuormittaa laturia ja kasvattaa kulutusta.
- ☛ Varmin tapa estää lämmityslaitteen aiheuttama kulutuksen kasvu on säätää ajon alussa lämmityslaitte puhaltamaan lämmittämätöntä ilmaa tuulilasille ja pyytää lämpöä sisään vasta, kun moottori on lämmennyt.
- ☛ Lyhyillä ajomatkoilla saattaa kannattaa jättää sisätilat kokonaan lämmittämättä, mutta puhaltaa ulkoilman lämpöistä ilmaa tuulilasille näkyvyyden varmistamiseksi. Tämä kannattaa, koska autossa vietettävä aika on lyhyt, ja lämpö meni kuitenkin hukkaan, kun autosta poistutaan.
- ☛ Sisätilojen pitäminen koko ajan pakkasen puolella saattaa helpottaa ikkunoiden huurteettomana pysymistä. Lisäksi lumipyryllä lumi ei sula eikä jäädy pysäköinnin aikana laseille.
- ☛ Lasien huurtumista voidaan kaikkiaan vähentää pitämällä ne sisäpuolelta puhtaina sekä minimoimalla autoon kenkien ja vaatteiden mukana tuleva kosteus.
- ☛ Lämpöpuhalluksen välttäminen lattialle vähentää kosteuden tiivistymistä laseille.
- ☛ Jos mahdollista, auton sisätilat olisi hyvä saada kuivatuksi lämpimässä silloin tällöin talven mittaan, ainakin jos ajomatkat ovat jatkuvasti lyhyitä.
- ☛ Lämmityslaitteen puhallin kuluttaa sähköä, joten lämmityslaitteeseen kannattaa säätää pieni puhallinnopeus ja korkea puhallettava lämpötila.

9 OLOSUHTEIDEN VAIKUTUS POLTTOAINEENKULUTUKSEEN

Useimmille on selvää, että matala käynnistyslämpötila vaikeuttaa käynnistystä, jäykistää autoa ja lisää kulutusta. Sen sijaan monikaan ei tule ajatelleeksi, että myös esimerkiksi tuulen suunnalla ja nopeudella, maanpinnan korkeuseroilla sekä ilman tiheydellä on vaikutuksensa kulutukseen.

9 OLOSUHTEIDEN VAIKUTUS POLTTOAINEENKULUTUKSEEN

Tässä luvussa tarkastellaan taulukon 6.1 alakolmanneksessa esitettyjen olosuhdetekijöiden vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Kukin tekijä on käsitelty omassa alaluvussa em. taulukossa esitetystä järjestyksessä. Valittu järjestys on tärkeysjärjestys tärkeimmästä alkaen tyypillisen keskimääräisen autonkäytön mukaan arvioituna.

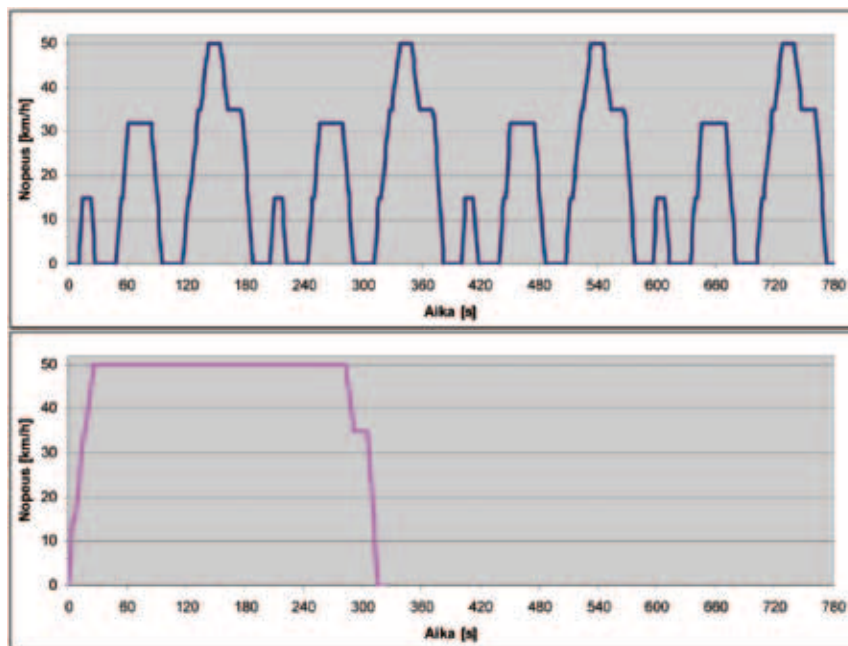
Useissa olosuhdetekijöiden vaikutusta pohtivissa alaluvuissa on esitetty myös mallilaskelmia tehtyjen päätelmien tueksi. Kaikissa tapauksissa laskelmien perusteet on pyritty selvittämään mahdollisimman yksiselitteisesti.

9.1 AJOREITIN PYSÄHTYMISTARPEET

Kiihdyttäminen kuluttaa runsaasti polttoainetta. Kulutuksen kannalta on edullista, jos liikenneympäristö on sellainen, että hidastuksista ja pysähtymisistä aiheutuvat uudelleen kiihdyttämisen tarpeet ovat mahdollisimman vähäiset.

Pysähtymisiltä välttymisen aikaansaamaa polttoaineensäästöä voidaan arvioida vertaamalla virallisen EU-ajosyklin (liite I) kaupunkiajo-osuuden (kuvan 9.1 yläkuvake) energiantarvetta ajosu-

ritteeseen, jossa kiihdytetään EU-kaupunkisyklin maksiminopeuteen 50 km/h ja hidastetaan nopeus nolleen täsmälleen samoin kuin syklissä, mutta kiihdytyksen ja hidastuksen välinen aika ajetaan vakionopeudella 50 km/h (kuvan 9.1 alakuvake). Molemmissa tapauksissa ajomatka on EU-syklin



Kuva 9.1 Virallisen EU-kaupunkisyklin aika-ajonopeuskäyrä (ylempi kuvake) sekä EU-kaupunkisyklin mukaisen kiihdytyksen ja hidastuksen sisältävä käyrä, jossa ajetaan sama matka (4.052 km) vakionopeutta 50 km/h (alempi kuvake).

”Kiihdyttäminen kuluttaa runsaasti polttoainetta. Kulutuksen kannalta on edullista, jos liikenneympäristö on sellainen, että hidastuksista ja pysähtymisistä aiheutuvat uudelleen kiihdyttämisen tarpeet ovat mahdollisimman vähäiset.”



kaupunkiosuuden virallinen matka (4.052 km). Virallisessa syklissä kaupunkiosuuden ajallinen kesto on 780 s, kun vakionopeudella saman matkan ajamiseen kuluu vain 323 sekuntia.

Kirjoittajan laatiman laskentasimulaation mukaan esimerkiksi auto (VW Golf, sukupolvi V) tarvitsee kuvan 9.1 alemman käyrän mukaiseen noin 4 km:n vakionopeusajorupeamaan vetopyöräenergiaa (eli työtä) noin 280 wattituntia. Vastaavasti virallisessa EU-kaupunkisyklissä energiaa kuluu noin 420 Wh, eli virallisessa syklissä tarvittava energiamäärä on 50 % suurempi kuin ajettaessa sama matka vakionopeudella.

Jos moottorin hyötysuhde olisi molemmissa tapauksissa sama, polttoaineenkulutuskin muuttuisi samassa suhteessa, joten se olisi sykliajossa 1.5-kertainen vakionopeusajoon nähden. Moottorin hyötysuhteessa on kuitenkin eroja, koska sitä kuormitetaan kahdessa esimerkkitapauksessa eri tavoin.

Sykliajossa moottorin hyötysuhde on kiihdytysten aikana korkean kuormituksen ansiosta parempi kuin vakionopeutta 50 km/h ajettaessa. Hidasusten aikana hyötysuhde on mahdollisesti huonompi, vaikka syötönkatkaisu olisi hetkellisesti käytössä. Varmaa sen sijaan on, että joutokäyntijaksot huonontavat sykliajon hyötysuhdetta.

Koska syklin joutokäyntikulutus voidaan laskea, se voidaan vähentää virallisesta syklikulutuksesta ja saada selville liikkeen aikainen kulutus. Ja koska vetopyöräenergia tiedetään, päästään käsiksi sykliajon liikkeen aikana vallitsevaan hyötysuhteeseen.

EU-kaupunkisyklissä (780 s) on joutokäyntiä 290 s (n. 37 %) sisältäen hidastusvaiheiden nopeudet alle 10 km/h (ks. liite 1). Joutokäynnin (0.8 l/h) aikana polttoainetta kuluu 0.064 litraa. Tämän vaikutus matkaa kohti on noin 1.6 l/100 km. Koska esimerkiksi auton virallinen syklikulutus 1.6 FSI-bensiinimoottorilla on 8.5 l/100 km, lukujen erotuksena saadaan, että liikkeen aikaisen syklikulutuksen on oltava 6.9 l/100 km.

Kun liikkeen aikaisen kulutuksen sekä vetopyöräenergian (420 Wh) ja bensiinin energiasisällön (8.8 kWh/l) perusteella lasketaan sykliajon liikkeen aikainen kokonaishyötysuhde, saadaan noin 0.17. Jos voimansiirron hyötysuhteeksi arvioidaan 0.90, saadaan moottorin hyötysuhteeksi noin 0.19, mikä on järkevä lukema, kun otetaan huomioon, että sykli käynnistyy huoneenlämpöisellä moottorilla.

Vakionopeusajon kulutuksen laskemiseksi voidaan arvioida, että sen hyötysuhde on samaa suuruusluokkaa kuin sykliajon liikkeen aikainen hyötysuhde. Vakionopeuskulutus nopeudella 50 km/h lasketaan vetopyöräenergian (280 Wh) ja kokonaishyötysuhteen noin 0.17 avulla. Tulokseksi saadaan 4.6 l/100 km. Saatu arvo on linjassa Tekniikan Maailma -lehden (9/2004) mittaamaan 60 km/h:n vakionopeuskulutuksen 5.1 l/100 km kanssa.

Havaitaan, että pysähtelevän normisykliajon kulutus 8.5 l/100 km on noin 1.8-kertainen vakionopeusajon kulutukseen 4.6 l/100 km nähden samalla matkalla. Ero kuvaa kahta äärimmäisen vastakkaista tapausta, jotka harvoin ovat näin

puhtaassa muodossa vaihtoehtoja toisilleen, koska tieosuuksia, jossa voisi pitkään ajaa pysähtelemättä niin pientä nopeutta kuin 50 km/h, on harvassa. Luvussa 8.7 esitettiin, että ruuhkaisen reitin kulutuslisä voi olla 1.5-kertainen jouhevampaan verrattuna. Tuossa esimerkissä oletettiin, että ajonopeus jouhevammalla reitillä olisi selvästi suurempi kuin 50 km/h.

Auton liike-energia muodostuu sen massasta ja nopeuden toisesta potenssista. Kokonaismassa puolestaan muodostuu auton, matkustajien ja kuorman yhteisestä massasta. Liikkeellä olevalla massalla on suuri arvo sinänsä, ja *liikkeelle saadun*

massan nopeutta tulisi kaikin keinoin pystyä pitämään yllä. Tämän luonnonlain merkitys käsitetään yleisesti ottaen erittäin huonosti, ja jokapäiväisessä ajamisessa *liikkeen ylläpitämistä ymmärretään tavoitella liian vähän*, koska uudelleen kiihdyttäminen tapahtuu niin helposti pienellä kaasujalan liikkeellä.

Avainasemassa pysähtymisten ja jarrutusten välttämiseksi on liikenneympäristön lisäksi *kuljettajan asenne sekä halu ja kyky ennakoida liikennetilanteita.* Ennakoivilla aikaisin aloitetuilla loivilla hidastuksilla voi parhaiten ylläpitää lähes halutun nopeuden, minimoida pysähdykset sekä uudelleen kiihdyttämisen tarpeen ja samalla kulutuksen.

LUKU 9: Olosuhteiden vaikutus polttoainekulutukseen

9.1 Ajoreitin pysähtymistarpeet

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Mitä useampia kiihdytyksiä ajomatkaan sisältyy, sitä enemmän polttoainetta kuluu.
- ☛ Liikenneympäristön tulisi tukea mahdollisuutta pitää yllä saavutettua nopeutta.
- ☛ Polttoainetta kuluu virallisessa EU-kaupunkikulutuskokeessa (liite 1) noin 1.8-kertainen määrä verrattuna vakionopeusajoon kaupunkinopeudella 50 km/h.
- ☛ Liikkeellä olevan massan nopeutta olisi pyrittävä pitämään yllä.
- ☛ Pysähtymisten ja jarrutusten välttämiseksi avainasemassa on liikenneympäristön lisäksi kuljettajan asenne sekä halu ja kyky ennakoida liikennetilanteita.

9.2 TUULEN NOPEUS JA SUUNTA

Luvussa 4.2 todettiin, että ilmanvastusvoima kasvaa ajonopeuden toisessa ja ilmanvastusteho nopeuden kolmannessa potenssissa. Luvussa 8.12 käsiteltiin tuulen huomioonottamista ajoajankohdan valitsemiseksi.

Ratkaisevaa ilmanvastuksen kannalta ei kuitenkaan ole ajonopeus eli auton nopeus suhteessa maanpintaan (= maanopeus), vaan auton nopeus suhteessa sitä ympäröivään ilmaan. Jos sää ei ole tyyri, eli autoa ympäröivällä ilmalla on nopeutta maanpintaan nähden, auton nopeus ilmaan nähden ei ole sama kuin sen nopeus maanpintaan nähden.

Tuulen suunta ja nopeus vaikuttavat siis runsaasti ilmanvastukseen. Jos auto ajaa nopeutta 80 km/h, ja vallitsee vastatuuli, joka puhaltaa nopeudella 20 km/h (n. 5.6 m/s), auto tosiasiaassa liikkuu ilmaa vasten nopeudella 100 km/h.

Jos auton kulkusuunta muuttuu esimerkiksi paluumatkan takia päinvastaiseksi ja tuuliolosuhteet eivät muutu, auto liikkuu ilmaan nähden enää vain 60 km/h nopeudella. Menomatalla auton nopeus suhteessa ilmaan on lähes 1.7-kertainen paluumatkaan verrattuna. Ilmanvastusvoima, ja tässä tapauksessa, koska ajonopeus on vakio, myös tehontarve kasvavat ilmanopeuden toisessa potenssissa. Tehontarve on siis menomatalla ilmanopeuksien suhteen neliö eli noin 2.8-kertainen paluumatkaan verrattuna, vaikka ajonopeus on kumpaankin suuntaan ajettaessa sama 80 km/h.

Kokonaisajovastukset eivät muutu tuuliolosuhteiden muuttuessa yhtä rajusti kuin ilmanvastus, koska myös vierintävastus vaikuttaa ja pysyy vakiona molempiin suuntiin ajettaessa, koska ajonopeus on sama. Tosin muillakin ajonopeuksilla vierintävastusvoima olisi (lähes) vakio, koska se on ainakin Suomessa sallituilla ajonopeuksilla käytännöllisesti katsoen ajonopeudesta riippumaton. Ilman- ja vierintävastuksen suhdetta toisiinsa on käsitelty luvussa 4.4.

Taulukossa 9.1 on esitetty esimerkki-autona käytetyn VW Golfin ilmanvastus-, vierintävastus-, ajovastus- sekä kokonaismoottoritehot ajettaessa 80 km/h nopeudella vastatuuleen, tyyneellä säällä sekä myötätuuleen. Tuulen nopeudeksi on valittu arvo 20 km/h (5.6 m/s), jolloin auton nopeudet ilmaan nähden ovat 100 km/h (vastatuuli), 80 km/h (tyyni) ja 60 km/h (myötätuuli).

Voimansiirron hyötysuhteena on käytetty arvoa 0.90, ja apulaitteisiin on arvioitu tarvittavan tehoa 0.3 kW. Taulukossa on esitetty myös 100 km:n ajamiseksi moottorista tarvittava energia, moottorin arvioitu hyötysuhde sekä polttoaineenkulutus. Polttoaineenkulutuksen laskennassa on käytetty bensiinin energiasisältönä arvoa 8.8 kWh/l.

Taulukosta havaitaan, että ilmanvastuksen voittamiseen tarvittava teho on vastatuuleen ajettaessa 7.9 kW ja päinvastaiseen suuntaan (myötätuuleen) ajettaessa 2.8 kW. Vastatuuleen tehoa tarvitaan siis 5.1 kW enemmän. Vierintävastusteho on kaikissa tapauksissa vakio, koska ajonopeus on vakio.

Taulukko 9.1 VW Golf 1.6 FSI:n polttoaineenkulutus tyynellä säällä sekä 20 km/h nopeudella puhaltavaan vasta- ja myötätuuleen ajettaessa, ajonopeus 80 km/h.

Tuulen nopeus 20 km/h = 5.56 m/s	Ilman- vastus- teho kW	Vier. vastus- teho kW	Veto- pyörä- teho yht. kW	Moott. teho pyörille kW	Kok.teho moot- torista kW	Energia moot- torista kWh/100km	Moott. arv. hyöty- suhde	Tarvitt. p-aine- energia kWh/100km	Poltto- aineen- kulutus l/100 km	Ero-% tyyneen säähän nähdn
Vastatuuli	7.9	3.0	10.9	12.1	12.4	15.5	0.265	58.6	6.7	16.3
Tyyini	5.0	3.0	8.1	9.0	9.3	11.6	0.230	50.4	5.7	0.0
Myötätuuli	2.8	3.0	5.9	6.5	6.8	8.5	0.190	44.8	5.1	-11.0

Pyörästysten takia vastustehojen summassa eli vetopyörätehossa ero myötä- ja vastatuulen välillä ei ole em. 5.1 kW vaan tasan 5 kW (vastatuulella 10.9 kW ja myötätuulella 5.9 kW). Kun vetopyörille tarvittava teho on jaettu voimansiirron hyötysuhteella (0.90), on saatu moottorista vaadittava teho halutun vetopyörätehon saavuttamiseksi. Moottoritehoa vetopyörille tarvitaan vastatuulella 12.1 kW ja myötätuulella 6.5 kW.

Kun vetopyörille tarvittavan moottoritehon sarakkeen arvoihin on lisätty apulaitteiden (pelkkä laturi, vain pakolliset sähkönkuluttajat käytössä) arvioitu tehontarve 0.3 kW, on saatu kokonaisteho, joka moottorista on saatava. Tämä on vastatuulella 12.4 kW ja myötätuulella 6.8 kW. Kokonaistehontarve on vastatuulella lähes kaksinkertainen myötätuuleen nähden.

Koska ajonopeus on 80 km/h, 100 km:n ajamiseen tarvitaan aikaa 1.25 h (1 h 15 min). Kun moottorista otettava kokonaisteho on kerrottu tällä

ajalla, on saatu se energiamäärä, joka moottorin on tuotettava 100 km:n ajamiseksi (kWh/100 km). Esimerkiksi vastatuulella tämä on 15.5 kWh.

Kun näin lasketut moottorilta vaadittavat energiamäärät on jaettu taulukossa esitetyillä arvioituilla moottorin hyötysuhteilla, on saatu kussakin tilanteessa tarvittava määrä polttoaine-energiaa (kWh/100 km). Kun nämä luvut on siten jaettu bensiinin energiasisällöllä 8.8 kWh/l, on saatu polttoaineenkulutusarvot kullekin tapaukselle, jotka ovat vastatuulella 6.7 l/100km, tyynellä 5.7 l/100 km ja myötätuulella 5.1 l/100 km.

Moottorin hyötysuhteiden arviointi kussakin tilanteessa perustuu kuvassa 5.1 esitetyn VW Golfin 2.0 TDI -moottorin ominaiskulutusikäyrästäön kaltaiseen 1.6 FSI -moottorin ominaiskulutusikäyrästäön sekä Tekniikan Maailma -lehden (9/2004) vakionopeuksien kulutusmittauksiin kyseisellä autolla.

Ajaminen samalla vakionopeudella vastatuuleen, tyynellä säällä sekä myötätuuleen on tyyppiesimerkki tilanteesta, jossa moottorin kannalta ainoa ero sen toimintapisteessä eri tilanteiden välillä on *kuormituksen muutos*. Koska ajonopeus ja käytettävä vaihe ovat kaikissa tapauksissa samat, moottorin pyörintänopeus säilyy vakiona ja ainoa muuttuva tekijä on moottorin kuormitus eli kyseisellä vakiopyörintänopeudella ulos otettava teho.

Polttomoottorin ominaisuuksiin kuuluu, että sen hyötysuhde kasvaa tiettyyn rajaan saakka kuormituksen kasvaessa. Hyötysuhteen kasvaminen kuormituksen kasvaessa loiventaa lisääntyneen tehontarpeen (esim. vastatuulen) aiheuttamaa polttoaineenkulutuksen kasvua. Kulutus siis kasvaa suhteellisesti vähemmän kuin teho.

Joidenkin erittäin pienitehoisten autojen kohdalla tilanne saattaa muuttua: vastatuuleen ajettaessa saatetaan joutua käyttämään pienempää vaihdetta (= suurempaa välityssuhdetta) kuin tyynellä säällä tai myötätuuleen ajettaessa. Tällöin kulutukseen vaikuttaviin tekijöihin tulee vastatuulella mukaan lisämuuttuja, moottorin pyörintänopeuden kasvu, joka saattaa kasvattaa ominaiskulutusta, vaikka yleensä se alenee kuormituksen kasvaessa.

Taulukon 9.1 oikeasta reunasta ilmenee, että kulutus vastatuulella on noin 16 % suurempi kuin tyynellä säällä. Myötätuulella se puolestaan on noin 11 % pienempi kuin tyynellä. Suurempi muutosprosentti vastatuuleen ajettaessa aiheutuu ilmanvastustehon kasvusta tässä tapauksessa ilmanopeuden toisessa potenssissa.

Vastatuuli siis aiheuttaa suuremman tehontarpeen lisäyksen perustilanteeseen nähden kuin samansuuruinen myötätuuli sitä vähentää. Samasta syystä polttoaineenkulutus on vaihtelevilla ajonopeuksilla tietyllä keskinopeudella yleensä hieman suurempi kuin kyseistä keskinopeutta vastaavalla vakionopeudella ajettaessa.

Edestakaisia ajosuuntia toisiinsa verrattaessa havaitaan, että *kulutus vastatuulella on yli 30 % suurempi kuin myötätuulella*. Myötätuuli voidaan ajossa hyödyntää joko kulutuksen vähenemisenä tai vaihtoehtoisesti ajonopeuden nostona ilman, että polttoaineenkulutus kasvaa tavanomaisesta. Vastatuulella taas ajonopeutta kannattaa alentaa, jotta kulutus ei kasvaisi.

Tuulen suunta ei useinkaan ole täysin ajosuuntainen tai sille vastainen. Sivumyötäinen ja sivuvastainen tuuli ovat kulutuksen arvioinnin kannalta hankalia, koska niiden vaikutus riippuu ratkaisevasti auton korin muodosta ja tyyppistä. Teoreettisesti ottaen sivuvastaisen tuulen kulutusta lisäävän vaikutuksen tulisi olla pienempi kuin täysvastaisen, koska ainoastaan auton kulkusuuntaan nähden vastakkainen tuulen nopeuskomponentti lisää ilmanvastusta eli moottorin kuormitusta.

Todellisissa tilanteissa sivuvastainen tuuli voi kuitenkin lisätä tehontarvetta jopa enemmän kuin täysvastainen. Näin voi tapahtua erityisesti raskeilla ajoneuvoyhdistelmillä, koska niissä on katkoskohtia esimerkiksi hytin ja kuormatilan sekä vetoauton ja perävaunun välillä.

LUKU 9: Olosuhteiden vaikutus polttoaineenkulutukseen

9.2 Tuulen nopeus ja suunta

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Ratkaisevaa ilmanvastuksen kannalta ei ole auton nopeus maahan nähden, vaan sitä ympäröivään ilmaan nähden.
- ☛ Ajettaessa ajonopeudella 80 km/h vastatuuleen, jonka nopeus on 20 km/h, auton nopeus ilmaan nähden on 100 km/h. Paluusuunnassa auton nopeus ilmaan nähden on vain 60 km/h, jos tuuli ei muutu. Ilmanvastuksen voittamiseen tarvittava teho on menomatalla lähes kolminkertainen paluumatkaan nähden. Kokonaistehossa ero on vierintävastuksen mukanaolon takia tätä pienempi.
- ☛ Ajonopeudella 80 km/h esimerkiauton laskennalliset kulutuslukemat ovat 20 km/h vastatuulella 6.7 l/100 km, tyynellä säällä 5.7 l/100 km ja 20 km/h myötätuulella 5.1 l/100 km. Kulutus on vastatuulella yli 30 % suurempi kuin vastaavalla myötätuulella.

9.3 KYDDISSÄ OLEVA KUORMA

Kuorman vaikutus polttoaineenkulutukseen voitaisiin sisällyttää joko olosuhdetekijöiden tai kuljettajan toiminnan vaikutuspiiriin. Tämän aihealueen käsittely päätettiin tehdä olosuhteiden näkökulmasta, vaikka kuljettajalla on toki mahdollisuus vaikuttaa ainakin siihen, ettei tarpeetonta kuormaa kuljeteta autossa mukana.

Taulukoiden 6.1 ja 6.2 mukaan liikutettava massa vaikuttaa kaikkiaan kolmeen eri ajovastuslajiin: vierintä-, kiihdytys- ja nousuvastukseen. Näiden vastuslajien vaikutus polttoaineenkulutukseen riippuu ajotilanteesta ja ajo-olosuhteista.

Vierintävastuksen merkitys on suurimmillaan pienillä nopeuksilla, koska ilmanvastus on tällöin vähäinen. Kiihdytysvastuksen merkitys korostuu ajossa, joka sisältää tiheitä pysähdyksiä ja kiihdytyksiä. Nousuvastuksen merkitys taas riippuu maaston muodoista, lähinnä matkan lähtö- ja päätepisteen korkeuserosta toisiinsa nähden sekä siitä, sallivatko liikennetilanteet myötämäkien hyödyntämisen, vai täytyykö myötämäkien antama hyöty jarruttaa pois.

Auton mukana liikutettava massa muodostuu itse auton, matkustajien ja kyydissä olevan tavaran massojen summaksi. Toisinaan kyydissä saattaa olla hyvinkin paljon tarpeetonta tavaraa. Auton tavaräsäiliöön ei pitäisi jättää lojumaan turhaa kuormaa, jonka ei ole välttämätöntä kulkea mukana jokaisella matkalla.

Kuorman vaikutus kulutukseen on suurimmillaan tiheitä kiihdytyksiä sisältävässä kaupunkiajossa, jossa ajonopeudet ovat pieniä. Kuorma kasvattaa kiihdytysvastusta, koska turhakin massa on joka kerran autoa kiihdytettäessä kiihdytettävä liikkeeseen. Tähän tarvittava energia otetaan tietenkin polttoainesäiliöstä.

Kyydissä oleva turha massa lisää osaltaan myös vierintävastusta. Vaikka lisämassan vaikutus on ehkä pieni, vaikutus on huomionarvoinen, koska se on läsnä jokaisella kilometrillä ja jokaisella pyörän pyörähdyksellä. Vierintävastuksen kasvu lisää kulutusta suhteellisesti eniten sellaisessa taajamajossa, jossa kiihdytyksiä on vähän. Koska ajonopeudet ovat pieniä, ilmanvastuksen merkitys on vähäinen.

Kovinkaan moni ei todennäköisesti olisi halukas pitämään polkupyörän tavaratelineellä turhaa massaa kuljetettavana edestakaisin. Miksi toimi-



Kuva 9.2 Tavaräsäiliöön helposti kertyvästä turhasta massasta kannattaa laittaa eron.

simme toisin auton ollessa kyseessä? Kannattaa varmistua siitä, ettei auton matkustamossa eikä tavarasäiliössä kuljeteta tarpeetonta tavaraa (kuva 9.2).

Esimerkkiautona käytetylle VW Golfille tehtiin kulutuslisäaskelmia erisuuruisilla lisäkuormilla sekä vakionopeuksilla että EU-normisyklissä (josta on tarkempaa tietoa liitteessä I). Laskelmat tehtiin suorasuikutteiselle 1.6 FSI -bensiinimoottorille.

Vakionopeuslaskelmat tehtiin nopeuksilla 60, 80, 100 ja 120 km/h. Lisäkuorma laskettiin 50 kg:n kerrannaisina aina 400 kg:aan asti, koska tarkasteleuton tyyppisen henkilöauton tyyppillinen maksimikantavuus on tätä suuruusluokkaa.

Vakionopeuksilla laskettujen lisäkuormaportaiden aiheuttamat kulutuslisät on esitetty taulukossa 9.2 ja EU-normisyklissä lasketut vastaavat tulokset taulukossa 9.3.

Taulukko 9.2 Lisäkuorman 50–400 kg aiheuttamat kulutuslisät 50 kg:n portain VW Golf 1.6 FSI:llä vakionopeuksilla 60–120 km/h.

Golf 1.6 FSI suorasuik. bensiini	Auto ja kulj. yhteensä 1375 kg	Lisäkuorma 50 kg		Lisäkuorma 100 kg		Lisäkuorma 150 kg		Lisäkuorma 200 kg	
Ajonopeus km/h	Peruskulutus [l/100 km]	Lisäkulutus [l/100 km] [%]		Lisäkulutus [l/100 km] [%]		Lisäkulutus [l/100 km] [%]		Lisäkulutus [l/100 km] [%]	
60	5,1	n. 0.01	< 2.0	< 0.2	n. 3.5	n. 0.3	5	< 0.4	7
80	5,7	< 0.01	n. 1.5	n. 0.15	n. 2.5	n. 0.2	n. 4	n. 0.3	5
100	6,6	< 0.01	n. 1.0	< 0.15	n. 2.0	< 0.2	n. 3	< 0.3	n. 4
120	7,9	< 0.01	< 1.0	< 0.15	n. 1.5	< 0.2	n. 2	< 0.25	n. 3

Golf 1.6 FSI suorasuik. bensiini	Auto ja kulj. yhteensä 1375 kg	Lisäkuorma 250 kg		Lisäkuorma 300 kg		Lisäkuorma 350 kg		Lisäkuorma 400 kg	
Ajonopeus km/h	Peruskulutus [l/100 km]	Lisäkulutus [l/100 km] [%]		Lisäkulutus [l/100 km] [%]		Lisäkulutus [l/100 km] [%]		Lisäkulutus [l/100 km] [%]	
60	5,1	< 0.5	9	< 0.6	11	n. 0.6	12	n. 0.7	14
80	5,7	n. 0.4	7	< 0.5	8	n. 0.5	9	n. 0.6	10
100	6,6	< 0.4	5	n. 0.4	6	< 0.5	7	n. 0.5	8
120	7,9	n. 0.3	n. 4	< 0.4	< 5	n. 0.4	5	< 0.5	6

Taulukon mukaan 50 kg:n lisäkuorma aiheuttaa Golfilla 60 km/h:n vakioajonopeudella vajaan 2 %:n kulutuslisän. Vastaavasti 400 kg:n lisäkuorman vaikutus kulutukseen olisi tällä ajonopeudella jo 14 %. Tätä vastaava absoluuttinen kulutuslisä olisi noin 0.7 l/100 km. Suurimmalla Suomessa sallitulla eli 120 km/h ajonopeudella suhteelliset kulutuslisät 50 kg:n ja 400 kg:n kuormilla olisivat alle 1 % ja noin 6 %.

Kuorman aiheuttama sekä absoluuttinen että suhteellinen kulutuslisä pienenee vakionopeuksilla ajonopeuden kasvaessa, koska kuorma lisää ainoastaan nopeudesta riippumatonta vierintävastusta eikä vaikuta jyrkästi nopeuden mukana kasvavaan ilmanvastukseen. Kaikkiaan lisäkuor-

man vaikutus on vakionopeuksilla melko maltillinen, koska massaa ei tällaisissa ajotilanteissa tarvitse lainkaan kiihdyttää.

EU-normiajosityklissä lasketut lisäkuorman aiheuttamat kulutuslisät on esitetty taulukossa 9.3. Kuormitusportaat ovat vakionopeuksien tapaan 50 kg:n suuruiset, ja laskenta tehtiin kuten vakionopeuksillekin kuormitusalueella 50–400 kg. Laskelmat tehtiin kaupunki- ja maantieosuuden sisältävälle koko normisyklille sekä kaupunkiosuudelle erikseen. Absoluuttiset kulutuslisät laskettiin prosenteiksi vertaamalla niitä ko. automallin viralliseen yhdistettyyn kulutuslukemaan (koko normisykli) sekä viralliseen kaupunkikulutuslukemaan.

Taulukko 9.3 Lisäkuorman 50–400 kg aiheuttamat kulutuslisät VW Golf 1.6 FSI:llä EU-normitestissä.

VW Golf 1.6 FSI, korimalli V (2003...2008)				
Lisäkuorman aiheuttama lisäkulutus				
absoluuttisina sekä suhteellisina arvoina normitestissä (likimäärin)				
Liikutettava massa [kg]	Koko normitesti (11.007 km) Virallinen kulutus 6.4 l/100 km		Testin kaupunkiosuus (4.052 km) Virallinen kulutus 8.5 l/100 km	
	[l/100 km]	[%]	[l/100 km]	[%]
1375 kg				
+ 50 kg	< 0.2	2	< 0.3	3
+ 100 kg	< 0.3	4	< 0.5	5
+ 150 kg	0.4	6	0.7	8
+ 200 kg	0.5	8	0.9	10
+ 250 kg	< 0.7	10	1.1	13
+ 300 kg	< 0.8	12	1.3	15
+ 350 kg	0.9	14	1.5	17
+ 400 kg	1.0	16	1.7	20

Taulukosta havaitaan, että kulutuksen suhteellinen kasvu 50–400 kg:n lisäkuormilla on koko ajosykliässä 2–16 % ja sen kaupunkiosuudessa 3–20 %. Suuremmat kasvuprosentit kaupunkisyklissä aiheutuvat kiihdytysten suuremmasta osuudesta kokonaisajovastuksissa. Lisämäärän kiihdyttäminen lisää energiantarvetta enemmän kuin sen pitäminen vakionopeuksisessa liikkeessä. Koko testinkin kasvuprosentit ovat suuremmat kuin vakionopeuksilla. Kuormalla 400 kg kaupunkikulutus olisi (8.5 + 1.7) l/100 km eli 10.2 l/100 km.

Kattokuorma

Toinen kuormasta aiheutuva kulutuslisää aiheuttava tekijä on kattokuorma (kuva 9.3). Kattokuorman aiheuttama kulutuksen kasvu aiheutuu sekä massan että ilmanvaihdon kasvusta. Näistä jälkimmäinen on selvästi merkittävämpi. Kattokuorman kulutusta lisäävä vaikutus on suurimmillaan maantienopeuksissa.

Niin houkuttelevaa kuin suksiboksin jättäminen auton katolle koko talveksi olisikin, tällainen päätös nousee kyllä hintoihinsa. Jos ajomäärä talvella on 10 000 km, josta esimerkiksi 6000 km ajetaan maantienopeuksilla, suksiboksin aiheuttama kulutuslisä (jopa 1 l/100 km) aiheuttaa talven mittaan 60 litran ylimääräisen polttoainetarpeen: Nykyisillä polttoainehinnoilla tämä tarkoittaa noin sadan euron ylimääräistä kuluerää.



Kuva 9.3 Kattokuormaa on syytä käyttää vain silloin, kun se on välttämätöntä.

LUKU 9: Olosuhteiden vaikutus polttoaineenkulutukseen

9.3 Kyydissä oleva kuorma

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Kyydissä oleva kuorma kasvattaa sekä vierintä-, kiihdytys- että nousuvastusta.
- ☛ 50 kg:n kuorma esimerkkiautolla lisää kulutusta 60 km/h vakionopeudella vajaa 2 %, 400 kg:n lisäkuorma samalla nopeudella lisää kulutusta jo 14 %.
- ☛ Vastaavat lisäkulutusprosentit 120 km/h nopeudella ovat vajaa 1 % ja 6 % (50 kg / 400 kg).
- ☛ Vakionopeuksilla kuorman aiheuttama kulutuksen kasvu on suurinta pienillä nopeuksilla, koska lisäkuorma kasvattaa vierintävastusta mutta ei nopeudesta riippuvaa ilmanvastusta.
- ☛ Kuorman kulutusta lisäävä vaikutus on suurempi kiihdytyksiä sisältävässä ajossa.
- ☛ Kuorman aiheuttama kulutuksen kasvu esimerkkiautolla on EU-kaupunkikulutuskokeessa 3–20 % kuormitusvälillä 50–400 kg.
- ☛ Kattokuorma lisää kulutusta lähinnä ilmanvastuksen lisääntymisen, mutta jonkin verran myös liikutettavan massan kasvun takia.
- ☛ Kattokuorman kulutusta lisäävä vaikutus on suurimmillaan maantienopeuksilla.
- ☛ Suksiboksin kulutusta kasvattava vaikutus on maantieajossa helposti noin 1 l/100 km. Suksiboksia koko talven käytettäessä, jos maantienopeuksilla ajetaan esim. 6000 km, lisäpolttoaineen tarve on noin 60 litraa, ja tästä aiheutuva kustannus noin sata euroa.

9.4 MAANPINNAN KORKEUSEROT

Maaston korkeuseroja esiintyy myös Suomessa, vaikka valtaosa maastamme onkin melko tasaista. Korkeuseroista aiheutuu eroja eri paikkakuntien välisten autokatkojen aiheuttamaan energiantarpeeseen. Jos matkan päätepiste sijaitsee korkeammalla merenpinnasta kuin lähtöpiste, *auton ja sen kuorman massaa on nostettava korkeammalle*. Ajetaan siis keskimäärin vastamäkeen. Tämä tietenkin lisää polttoainesäiliöstä otettavan energiantarvetta. Vastaavalla paluumatkalla energiantarve on selvästi vähäisempi, koska menomatalla energiantarve on suurempi kuin tasamaa-ajossa, ja paluumatkalla vastaavasti saman verran pienempi.

Suurimmista kaupungeista Helsinki, Turku, Pori, Vaasa ja Oulu sijaitsevat rannikolla lähellä merenpinnan korkeutta. Sen sijaan esimerkiksi Hämeenlinna, Tampere, Lahti, Mikkeli, Jyväskylä ja Kuopio sijaitsevat selvästi merenpintaa korkeammalla. Näistä muiden korkeus merenpinnasta on noin 100 m, mutta monet kohdat melko mäkisessä maastossa Kuopion seudulla sijaitsevat selvästi tätäkin korkeammalla.

Rannikolta sisämaahan päin ajettaessa ajetaan keskimäärin ottaen vastamäkeä ja sisämaasta rannikolle päin vastaavasti myötämäkeä. Kun korkeuserosta aiheutuva potentiaali- eli asemaenergiaero lasketaan esimerkki-auton VW Golfin massalla 1375 kg (kuljettajineen) ja em. kaupunkien välisellä korkeuserolla 100 m, päästään seuraavaan lopputulokseen:

$$E_{\text{pot}} = m * g * h = 1375 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 * 100 \text{ m} = 1\,348\,875 \text{ J} = 375 \text{ Wh}$$

Jos moottorin hyötysuhteena käytetään 80 km/h ajonopeudella vallitsevaa arvioitua arvoa 0.23 ja voimansiirron hyötysuhteena arvoa 0.90, saadaan selville, kuinka paljon polttoaine-energiaa tarvitaan ko. auton korkeusaseman nostamiseen 100 metrillä:

$$E = 375 \text{ Wh} / (0.23 * 0.90) = 1810 \text{ Wh} = 1.81 \text{ kWh}$$

Kun nousemiseen tarvittava polttoaine-energia 1.81 kWh jaetaan bensiinin energiasisällöllä 8.8 kWh/l (42.5 MJ/kg), saadaan korkeusaseman kasvattamiseen tarvittavaksi polttoainemääräksi noin 0.2 litraa. Jos kyseessä on esimerkiksi matka Helsingistä Hämeenlinnaan, jonka pituus on 100 km, auton kulutus on noin 0.2 l/100 km suurempi kuin jos matkan päätepiste sijaitisi samalla korkeudella kuin lähtöpiste. Tilannetta havainnollistaa kuva 9.4.



Kuva 9.4 Korkeusero Helsingin ja Hämeenlinnan välillä.

Hämeenlinnasta Helsinkiin eli sisämaasta rannikolle päin ajettaessa, jolloin auton korkeusasema alenee 100 metrillä, polttoainetarve vähenee periaatteessa saman verran. Ajomatkan on keskimäärin myötämäkeä. Moottorin keskimääräinen kuormitus on tosin hieman matalampi kuin sisämaahan päin ajettaessa, mikä teoreettisesti ottaen huonontaa hyötysuhdetta. Ero on kuitenkin niin vähäinen, että sitä ei tämän tarkastelutavan tarkkuudessa tarvitse ottaa huomioon. Paluumatkalla Hämeenlinnasta Helsinkiin (100 km) polttoaineenkulutus on noin 0.2 l/100 km pienempi kuin tasamaalla.

Edestakaisten ajosuuntien välinen ero kulutuksessa on tämä kaksinkertaisena eli noin 0.4 l/100 km. Koska VW Golf 1.6 FSI:n kulutus matka-ajossa tasamaalla on noin 6.0 l/100 km, Helsinki-Hämeenlinna-suunnan kulutus olisi noin 6.2 l/100 km ja päinvastaisen suunnan noin 5.8 l/100 km. Menomatkan kulutus on noin 7 % korkeampi. Edellytyksenä tietysti on, että muut kulutukseen vaikuttavat

tekijät kuten ajotapa, ajonopeus, nopeusvaihtelut, muu liikenne ym. pysyvät vakioina, ja että sää on tuuleton.

Painavammalla autolla vastakkaisten ajosuuntien välinen ero energiantarpeessa on tietysti edellä esitettyä suurempi. Jos em. laskelma tehdään kuljettajineen noin 2000 kg:n maasturille (esim. Audi Q5, BMW X3 tai vastaava), 100 m:n nousemiseksi tarvitaan energiaa 545 Wh Golfin 375 Wh:n asemesta.

Suurin osa tämäntyyppisistä autoista on dieselmotoreita, joten moottorin hyötysuhde on korkeampi kuin bensiini-Golfissa. Kyseinen potentiaalienergia (545 Wh) vaatii dieselmototorin arvioidun hyötysuhteen 0.27 ja voimansiirron hyötysuhteen 0.90 perusteella noin 2.25 kWh polttoaine-energiaa, joka dieselin 9.9 kWh/l energiasisällöllä vastaa noin 0.23 litran polttoaineannosta. Dieselmasturilla vastaava meno- ja paluumatkojen välinen kulutusero on tämä määrä kaksinkertaisena eli lähes 0.5 l/100 km.

Dieselmoottorin parempi hyötysuhde sekä dieselpolttoaineen bensiiniä korkeampi energiasisältö tilavuutta kohti vähentävät auton massan kasvusta aiheutuvaa suhteellista lisäpolttoainemäärää. Vaikka dieselmaasturin massa on lähes 1.5-kertainen bensiini-Golfiin verrattuna, 100 metrin nousemiseksi tarvittava litramääräinen kulutus kasvaa vain noin 1.15-kertaiseksi.

Koska dieselmaasturin peruskulutus maantieajossa tasamaalla on tyypillisesti noin 7 l/100 km, vastamäkisuunnan kulutus olisi vajaa 7.25 l/100 km ja myötämäkisuunnan vastaavasti runsas 6.75 l/100 km. Vastamäkisuunnan kulutus olisi tässäkin tapauksessa noin 7 % korkeampi kuin paluusuunnan, eli suhteellinen ero muodostuu samaksi kuin kevyempää autoluokkaa edustavassa Golfissa.

LUKU 9: Olosuhteiden vaikutus polttoainekulutukseen

9.4 Maanpinnan korkeuserot

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Matkan lähtö- ja pääte pisteiden välinen korkeusero vaikuttaa polttoainekulutukseen.
- ☛ Suomessa rannikolta sisämaahan päin ajettaessa ajetaan yleensä keskimäärin vastamäkeen ja vastasuunnassa keskimäärin myötämäkeen.
- ☛ Monet sisämaan kaupungit (Hämeenlinna, Tampere, Lahti, Mikkeli, Jyväskylä, Kuopio) sijaitsevat vähintään 100 m:n korkeudella merenpinnasta.
- ☛ Esimerkkiauto tarvitsee n. 0.2 litraa polttoainetta auton ja kuljettajan korkeusaseman kasvattamiseksi 100 metrillä. Esim. ajomatalla Helsinki–Hämeenlinna (100 km) tämä tarkoittaa samansuuruista kulutuksen kasvua (0.2 l/100 km) tasamaa-ajoon nähden.
- ☛ Paluumatkalla polttoainetta tarvitaan saman verran vähemmän kuin tasamaa-ajossa. Meno- ja paluumatkan välinen kulutusero on kaksinkertainen edellä mainittuun nähden eli 0.4 l/100 km, jos muut kulutukseen vaikuttavat muut tekijät eivät muutu.

9.5 TIEN PINTA

Vierintävastus syntyy renkaan ominaisuuksien ja tien pinnan yhteisvaikutuksena. Tien pinta on renkaiden ja rengaspaineiden ohella olennainen tekijä vierintävastuksen muodostumisessa. Vierintävastusta on käsitelty yleisesti luvussa 4.3, ja kuljettajan vaikutusmahdollisuuksia siihen erityisesti rengaspaineen avulla on selostettu luvussa 8.6.

Kova ja sileä tien pinta antaa yleensä pienimmän vierintävastuksen. Erittäin sileä pinta on kuitenkin kallis toteuttaa ja saattaa useissa tapauksissa tarjota vähemmän kitkaa kuin hieman karheampi tienpäällyste. Näistä syistä nykyisin tyypillisesti käytettyä tienpintaa sileämpää lopputulosta ei ilmeisesti voida asettaa tienrakennuksen tavoitteeksi, vaikka sellaisen avulla vierintävastus kenties hieman alenisikin.

Pehmeä tien pinta kasvattaa vierintävastusta. Upottavalla ajoalustalla vierintävastuskerroin voi olla pahimmillaan jopa 0.3, eli se voi olla 30-kertainen kovaan sileään päällysteeseen nähden, jolloin vierintävastuskerroin on noin 0.01 (luku 4.3). Tien pehmeystä aiheutuvan kaltaista vierintävastuksen kasvua aiheutuu myös tien pinnalla olevasta lumesta tai loskasta, koska rengas uppoaa niihin ja joutuu syrjäyttämään materiaalia edestään painaen tai auraten itselleen uraa.

Kuljettaja voi minimoida tien pehmeystä johtuvan vierintävastuksen kasvun valitsemalla mahdollisuuksien mukaan ajolinjansa siten, että auto kulkee tien kovimmilla eli vähiten upottavilla koh-

dilla. Tämä pätee sekä soratiellä että lumisella tai loskaisella tiellä ajettaessa. Talvikelillä on pyrittävä valitsemaan ajonlinja siten, etteivät renkaat joudu puskemaan lunta tai loskaa vasten. Tämä tarkoittaa usein urissa ajamista. Tällöin myös loskaliirron vaara vähenee.

Sen sijaan kesäolosuhteissa urissa ajamista kannattaa välttää. Uriin kertynyt vesi lisää vierintävastusta (luku 8.6), mutta myös kuivien ajourien karheus vaikuttaa samoin. Tien päällyste koostuu kiviaineksesta sekä sideaineesta, joka on usein kiviainesta pehmeämpää. Kun esimerkiksi nastat kuluttavat tietä, kuluminen kohdistuu enemmän side- kuin kiviainekseen, jolloin kivenkappaleiden särvät ikään kuin ”nousevat esiin” päällysteestä aiheuttaen pinnan karhentumisen. Karhentuminen näkyy erityisesti kulumaurien kohdalla (kuva 9.5).



Kuva 9.5 Vierintävastuksen tarpeettoman kasvun välttämiseksi karheita kulumisuria kannattaa välttää myös tien ollessa kuiva.

Tienpinnan kulumisen takia muodostuneet karhentuneet urat voi helposti aistia lisääntyneenä värähtelynä sekä meluna. Värähtely sekä ääniaallot vaativat nekin syntyäkseen energiaa, joka on peräisin

polttoainesäiliöstä. Uriä välttämällä säästyy polttoainetta, ja samalla ajomukavuus kasvaa, koska tärinä sekä autoon ja ympäristöön kohdistuva melu vähenevät. Myös renkaiden kuluminen hidastuu.

LUKU 9: Olosuhteiden vaikutus polttoaineenkulutukseen

9.5 Tien pinta

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Vierintävastus syntyy tien ja renkaan sekä rengaspaineen yhteisvaikutuksena.
- ☛ Kova ja sileä tien pinta antaa yleensä pienimmän vierintävastuksen.
- ☛ Pehmeällä ajoalustalla vierintävastus saattaa olla 30-kertainen optimaaliseen nähden.
- ☛ Lumi tai loska lisäävät vierintävastusta selvästi.
- ☛ Lumisella ja loskaisella kelillä tulisi ajaa urissa eli välttää renkaan joutumista lumiauraksi.
- ☛ Lumettomalla tiellä tulee sen sijaan välttää urissa ajamista erityisesti silloin, jos urissa on vettä. Näin säästyy polttoainetta.
- ☛ Uriä vältettäessä myös melu ja värähtelyt vähenevät, tien kuluminen tasoittuu sekä renkaan kuluminen vähenee.

9.6 KYLMÄKÄYNNISTYSLÄMPÖTILA

Mitä matalampi on kylmäkäynnistyslämpötila, sitä korkeampi on käynnistyksen aikainen ja sen jälkeinen polttoaineenkulutus kylmällä autolla ajamaan lähdeettäessä.

Kylmäkulutuksen kasvuun vaikuttaa monta tekijää. Ensinnäkin kylmä moottori vaatii tavanomaista enemmän polttoainetta käynnistykseen, eikä palaminen tapahdu kylmässä moottorissa optimaalisesti. Moottori ei siis pysty muuntamaan polttoaineen energiaa mekaaniseksi energiaksi yhtä hyvällä hyötysuhteella kuin lämpimänä. Lisäksi erityisesti ottomoottori vaatii polttoaine-ilmaseoksen rikastamista kylmänä, jotta käynti olisi varmaa ja nykimätöntä, mikä sekin kasvattaa kulutusta.

Myönteistä viime vuosien teknisessä kehityksessä on kuitenkin se, että rikastustarve on nykyisissä polttoaineensuihkutuksella varustetuissa moottoreissa, erityisesti suorasuihkutteisissa, huomattavasti vähäisempi ja lyhytkestoisempi kuin takavuosina. Myönteiseen kehitykseen on vaikuttanut muun muassa vuonna 2002 henkilöautojen tyyppi-hyväksyntävaatimuksiin tullut alhaisen lämpötilan (-7 °C) pakokaasutesti, jonka voimaantuloon vaikutti olennaisesti Pohjoismainen näkökulma sekä Suomessa ja Ruotsissa tehty tutkimustyö.

Kylmäkulutusta kasvattaa myös se, että kylmän moottorin sisäiset kitkat ovat suuremmat kuin lämpimän, eli moottorin mekaaninen hyötysuhde huonompi kuin normaalilämpöisenä. Moottorin lämpeneminen kestää kauemmin kuin ehkä usein

kuvitellaan, koska se ei ole täysin lämmin vielä siinä vaiheessa, kun jäähdytysneste on saavuttanut lopullisen lämpötilansa. Moottoriöljy nimittäin lämpenee huomattavasti jäähdytysnestettä hitaammin. Myös auton voimansiirto sekä pyörien laakerit ovat jäykemmät kuin lämpimänä, vaikka moderneja voiteluaineita käytettäisiinkin. Voimansiirtohäviöt ovat kylmänä vuodenaikana suuremmat kuin lämpimän sään vallitessa.

Valistunut autoilija ottaa kylmän huomioon lähtemällä kylmänä liikkeelle varovasti. Hän antaa moottorille ja voimansiirrolle aikaa lämmitä käyttämällä niitä aluksi maltillisesti ennen kuin kuormittaa niitä runsaammin.

VTT on tehnyt jo vuosia Tekniikan Maailma -lehden talvivertailun yhteydessä kylmä- ja kuumakäynnistystä vertailevat kulutus- ja päästömittaukset. Vuoden 2011 tulosten mukaan kylmäkäynnistys ja EU-kaupunkisyklin (ajomatka 4.052 km, ks. liite 1) ajaminen kuluttivat polttoainetta -7 °C:ssa käynnistettäessä 25–100 % enemmän kuin saman syklin ajaminen lähtien liikkeelle käyntilämpimällä moottorilla. Kulutuslisä oli huomattava, ja hajonta eri automallien välillä suuri. Keskimääräinen kylmän aiheuttama kulutuslisä testiautojen ryhmässä oli 42 %. Mukana oli 3 dieselautoa ja 13 bensiini-moottorillista automallia, joista yksi oli hybridi-käyttöinen.

Matalan kylmäkäynnistyslämpötilan aiheuttamaa kulutuslisää on tietenkin perusteltua verrata, paitsi käyntilämpimän moottorin käynnistämiseen, kuten edellä, myös kesälämpötilassa olevan ”kyl-

män” moottorin käynnistämiseen. VTT:llä saatiin Euro 4- ja Euro 5 -päästöluokkiin kuuluneiden henkilöautojen mittauksissa keskimääräiseksi pak-
kasen aiheuttamaksi kulutuslisäksi noin 30 % EU-
kaupunkisykyklissä, kun verrattiin käynnistyshetkellä
testitilan lämpöisten moottorien välistä kulutus-
eroa lämpötiloissa +23 °C ja -7 °C.

Vastaavasti koko EU-normisykyklissä, kun noin 4
km:n kaupunkiajoa jatkettiin noin 7 km:n maan-
tieajolla, kulutuslisä mainitulla lämpötilavälillä vä-
heni 30 %:sta noin 20 %:iin. Kylmän aiheuttama
suhteellinen lisäkulutus siis pienenee, kun autolla

ajetaan pitempään kylmäkäynnistyksen jälkeen.

Ulkolämpötilan laskiessa kylmäkäynnistyksen ai-
heuttama lisäkulutus edelleen kasvaa. Käynnistys-
lämpötilan laskiessa -7 °C:sta -20 °C:seen suhteel-
linen kulutus tyypillisesti kasvaa vähemmän kuin
se kasvaa lämpötilavälillä +23 °C:sta -7 °C:seen.

Kylmäkäynnistyskulutuksen välttämiseksi moot-
toria kannattaa esilämmittää, jos mahdollista. Li-
säksi auton käyttöä lyhyillä matkoilla tulisi välttää.
Kylmäkäynnistystä on käsitelty edellä luvussa 8.10
ja moottorin esilämmitystä luvussa 8.13.



LUKU 9: Olosuhteiden vaikutus polttoaineenkulutukseen

9.6 Kylmäkäynnistyslämpötila

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Mitä matalampi on käynnistyslämpötila, sitä korkeampi on käynnistyksen aikainen ja sen jälkeinen kulutus.
- ☛ Moottorista aiheutuvan kulutuslisän ohella kulutusta kasvattaa myös voimansiirron ja pyöränlaakerien jäykkyys.
- ☛ Kylmäkäynnistyksen kulutuslisä on sitä suurempi, mitä lyhyempi matka ajetaan käynnistyksen jälkeen.
- ☛ Kulutus -7 °C :ssa käynnistettäessä voi autosta riippuen olla 4 km:n kaupunkimatkalla 25–100 % suurempi kuin käyntilämpimällä moottorilla liikkeelle lähdetessä. Keskimääräinen kulutuslisä 16 testiauton ryhmässä oli runsaat 40 %.
- ☛ Kulutus -7 °C :ssa käynnistettäessä on 4 km:n kaupunkimatkalla tyypillisesti noin 30 % suurempi kuin lämpötilassa $+23\text{ °C}$ olevalla moottorilla liikkeelle lähdetessä.
- ☛ Edellisen kaltaisessa tapauksessa kylmäkulutuslisä aleni 30 %:sta noin 20 %:iin, kun 4 km:n kaupunkiajoa jatkettiin 7 km:n maantieajolla.
- ☛ Lämpötilan laskiessa -7 °C :sta -20 °C :seen suhteellinen kulutuslisä on tyypillisesti pienempi kuin lämpötilavälillä $+23\text{ ... }-7\text{ °C}$.
- ☛ Kylmissä olosuhteissa olisi pyrittävä esilämmittämään moottoria ennen käynnistystä sekä välttämään lyhyiden ajomatkojen ajamista.

9.7 LIIKENNEYMPÄRISTÖN SUUNNITTELU

Liikenneympäristön ja liikennejärjestelyiden kuten liikennevalojen ajoituksen ym. vaikutus polttoaineenkulutukseen on ratkaisevasti merkityksellisempi kuin yleisesti ottaen näyttäsi olevan tiedossa. Tai jos asiasta tiedetään, vaikuttaa siltä, kuin tietoa ei osattaisi tai haluttaisi käyttää hyödyksi. Liikenneympäristön kehittämisellä siten, että pysähtymis- ja uudelleen kiihdyttämisen tarpeet minimoituisivat, voitaisiin polttoaineen käyttöä ja samalla hiilidioksidipäästöjä vähentää merkittävästi.

Liikenneympäristöön liittyvät polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät ovat usein vuorovaikutuksessa autoilijoiden toiminnan kanssa. Jos esimerkiksi liikennevalojen ajoitukseen on suunniteltu vihreä aalto tietyllä ajonopeudella, ja kuljettajat ajavat tätä nopeammin, pysähtelystä ja uudelleen kiihdyttämisen tarpeesta ei voida syyttää liikennesuunnittelua. Sen sijaan kannattaisi pohtia, pystyttäisiinkö autoilijoille tiedottamaan nykyistä paremmin ajonopeudesta, jota noudattamalla pysyy vihreässä aallossa mukana, samoin kuin siitä, että nopeutta nostamalla ei perille pääsy aikaistu lainkaan.

Osittain autoilijoiden piittaamattomuuden takia liikennesuunnittelussa joudutaan usein käyttämään jopa *keinotekoisia polttoaineenkulutuksen lisäajjia*. Esimerkiksi liian suurten tilannenopeuksien käyttö pakottaa liikennesuunnittelijat käyttämään ajoväylillä hidasteita, kuten mutkia, kavennuksia tai töyssyjä.

Hidasteet pakottavat autoilijat alentamaan ajonopeutensa yleensä jopa pienemmäksi kuin turvallisuuden takia olisi kyseisessä paikassa välttämättöntä. Tämän ratkaisun seurauksena ajonopeus saadaan pakotetuksi turvallisena pidetyn rajan alapuolelle pidemmällä matkalla töyssyn kummallakin puolella, koska hidastus on yleensä aloitettava sitä aikaisemmin, mitä alemmaksi nopeus hidastetaan, ja nopeuden jälleen kiihdyttämiseen kuluu tietysti sitä pitempi matka, mitä pienemmästä nopeudesta kiihdytys aloitetaan.

Mahdollisimman vähäinen ajonopeuden pudottaminen olisi tietysti polttoainetalouden kannalta edullista. Jotta ylisuurilta nopeuden pudottamisilta vältyttäisiin, voitaisiin kenties ajatella yksittäisten suurten töyssyjen asemesta useampien hajalleen sijoitettujen pienempien töyssyjen (esim. täri-näraitatyyppiset) käyttämistä. Tällöin ajonopeus pysyisi turvallisella tasolla yksittäiseen töyssyyn verrattuna pitemmällä matkalla. Lisäksi, jos töyssyt ovat pienempiä eivätkä pakota alentamaan nopeutta äärimmäisen pieneksi, töyssyjen välillä tapahtuvat kiihdyttely ja jarruttelu jäisivät todennäköisesti vähäisemmäksi. Ongelmaksi hajautettujen pikkutöyssyjen käytössä saattaisivat tosin muodostua kustannuskysymykset tai mahdollisesti tien auraamiseen liittyvät hankaluudet.

Nyky muodossaan suuriin nopeudenmuutoksiin pakottavat yksittäiset hidastimet luovat pelkällä olemassaolollaan uudelleen kiihdyttämisen tarvetta, joka kasvattaa rajusti polttoaineenkulutusta. Kulutuslisän merkittävyttä kasvattaa, että se koskee jokaista kyseistä reittiä kulkevaa autoa. Eri-

tyisen ongelmallisia hidasteet ovat raskaan liikenteen käyttämällä tieosuuksilla. Pahimmillaan VTT:n kulutusmittauksissa on havaittu linja-auton polttoaineenkulutuksen kaksinkertaistuvan hidasteiden takia. Yksittäisille hidasteille vaihtoehtoisten keinojen luominen ja käyttäminen tulisikin ottaa tavoitteeksi ja vakavan keskustelun kohteeksi.

Liikennevalojen ajoituksesta keskustellaan jatkuvasti. Monien ristiriitaisten vaatimusten paineissa kaikinpuolisesti optimaalinen ajoituksen suunnittelu ja toteutus on erittäin vaativa tehtävä. Yleislinjauksena tulisi olla, että pysähtymistarpeet tulisi aina minimoida. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että liikennevalojen ajoitusta muutetaan ruuhkasuuntien mukaan, kuten usein tapahtuukin. Paljon säästömahdollisuuksia lienee silti vielä käyttämättä. Näistä osa liittyy kuljettajien kyvyttömyyteen ja haluttomuuteen ennakoida tilanteita ja sovittaa ajonopeudet sellaisiksi, että pysähtymisiltä vältyttäisiin.

Teknisten apuvälineidenkin hyödyntämisessä on kehittämismahdollisuuksia. Esimerkiksi tunnistimilla varustetut liikennevalot tulisi toteuttaa siten, että *tunnistin sijoitetaan hyvän matkaa ennen risteystä*, jotta valo ehtii vaihtua vihreäksi ajoissa, jolloin risteystä ylittävän auton nopeus säilyy mahdollisimman hyvin. Tunnistin, joka sallii ajon jatkumisen tyhjänä ammottavan risteuksen poikki vasta pysähdysten jälkeen, on polttoaineenkulutuksen kannalta lähes hyödytön. Koska tällaisessa tilanteessa kiihdytys täytyy aloittaa nollanopeudesta, polttoainetta kuluu joutokäyntikulutuksen

pois jäämistä lukuun ottamatta sama määrä kuin jos tunnistinta ei olisi lainkaan.

Kun sivukadulta pääväylälle pyrkivä auto saapuu tunnistimellisen liikennevalon reagointialueelle, odotusaika valon vaihtumiseksi vihreäksi saattaa toisinaan olla pitkä, vaikka pääväylällä ei poikittaisliikennettä olisikaan. Tällöin suurin taloudellisuushyöty on tietysti jo menetetty auton pysähtyessä, koska joudutaan kiihdyttämään nollanopeudesta. Lisäksi polttoainetta tuhlaantuu tarpeettoman joutokäyntijakson aikana.

Ilmeisesti ainakin osa tunnistimista toimii siten, että valo vaihtuu tunnistimen reagoimisen jälkeen vasta pitkällä viiveellä. Näin toimiva järjestely ei edusta taloudellisuuden huomioon ottavaa suunnittelua. Ratkaisevaahan tällaisessa tilanteessa ei ole se, että sivukadulta tulevan auton olisi aina odotettava vaan se, *kuinka kauan siitä on aikaa, kun kyseinen tunnistin edellisen kerran reagoi* ja katkaisi pääväylän liikenteen. Jos aikaa on kulunut säädettyä kynnysarvoa enemmän, tunnistimen pitäisi vaihtaa valo heti sivukadulta lähestyvän auton havaittuaan.

Edellisen jatkoksi on todettava, että pääväylien ja pikkukatujen risteyksiin sijoitettuihin tunnistimellisiin liikennevaloihin tulisi saada sen verran älykkyyttä, että ne havainnoisivat pääväylällä liikkuvaa ajoneuvomassaa. Tavoitteena tulisi olla, että tunnistin vaihtaisi pääväylän valon punaiseksi niinä hetkinä, *kun tieosuuksien mahdollisimman tyhjä*. Näin minimoitaisiin uudelleen kiihdyttämään joutuvien autojen lukumäärä ja usean auton kiihdyttämiseen tarvittavan suuren polttoainemäärän polttaminen.

Jos pääväylä on jatkuvasti täynnä autoja, tietyn ajan jälkeen liikennevalon olisi tietenkin reagoitava sivukadulta tulijaan.

Liikennevalo-ohjauksen älykkyyteen liittyy myös, että pääväylää halkovien pienempien katujen *vierekkäisten risteysten tunnistimelliset liikennevalot tulisi saada keskustelemaan keskenään*. Ajatellaanpa tilannetta, jossa sivukadun risteuksen tunnistimellinen liikennevalo on katkaissut pääväylällä liikkuvan liikennevirran yksittäisen pääväylälle pyrkivän auton takia. Pääväylää ajava suuri automäärä joutuu pysähtymään. Kyseiset autot saavat hetkeä myöhemmin jälleen vihreän valon ja alkavat kiihdyttää kohti hetkeä aikaisemmin menettämäänsä tavoitenopeutta.

Tällaisessa tilanteessa on erittäin epätarkoituksenmukaista, epätaloudellista ja turhauttavaa, jos seuraavan risteuksen tunnistin vaihtaa pääväylän liikennevalot jälleen punaiseksi. Tällöin juuri masansa jälleen liikkeelle saanut suuri automäärä joutuu jälleen kerran muuttamaan liike-energiansa lämmöksi jarrujen avulla. Jos jälkimmäisen risteuksen liikennevalo tietäisi, että edellisen risteuksen valo on juuri hetkeä aiemmin pysäyttänyt liikennevirran, se älyäisi odottaa hieman, ennen kuin katkaisee pääväylän liikenteen uudelleen.

Kenties merkityksellisin liikenneympäristön suunnitteluun liittyvä taloudellisuutta parantava tekijä on kuitenkin tämä: Liikennevalo-ohjatuissa risteyksissä, erityisesti pääväylillä, joilla liikkuu suuria automääriä, *valo-ohjaukseen tulisi liittää selkeä suurikokoinen sekuntinäyttö*, joka laskisi sekunteja alas-

päin ja osoittaisi, kuinka monen sekunnin kuluttua valo vaihtuu.

Risteystä punaisella lähestyvä autoilija voisi sekuntinäytön perusteella päätellä, missä kohtaa hänen on ryhdyttävä vähentämään nopeutta, jotta ei tarvitsisi pysähtyä, mutta jotta nopeutta ei myöskään tulisi vähennetyksi liikaa ennen valon vaihtumista vihreäksi. Vastaavasti vihreää valoa lähestyvä autoilija saisi jo kaukaa tiedon, ehtiikö hän vihreillä valoilla risteyksestä läpi vai kannattaako hänen jo kaukana risteyksestä lopettaa polttoaineen syöttäminen moottoriin ja valmistautua pysähtymään.

Vaihtoehtona sekuntinäytölle voisi ehkä ajatella jalankulkuvalojen tyypeistä ennakkovilkkuvaa liikennevaloa. Tällainen ei olisi sekuntinäytön veroinen mutta kuitenkin huomattavasti nykyjärjestelyä eli tyhjää parempi. Nykyisellä järjestelyllähän kuljettajalla ei ole muuta mahdollisuutta ennakoida liikennevalon vaihtumista kuin koettaa arvailla sitä risteävän kadun jalankulkuvalojen muutoksia seuraamalla. Nämä saattavat joissakin tapauksissa antaa ennakkotietoa autoja velvoittavien valojen vaihtumisrytmistä.

Kiertoliittymät (liikenneympyrät) ovat useissa tapauksissa energiaystävällisempi vaihtoehto kuin liikennevalot. Ne mahdollistavat liikennevaloja paremmin koko liikennevirran pysymisen liikkeessä. Mitä suurempi on liittymän halkaisija, sitä vähemmällä hidastamisella ja vähemmällä uudelleen kiihdyttämisen tarpeella liikenne soljuu liittymän läpi. Liian suurella nopeudella läpi ajettava kiertoliittymä voi toisaalta olla turvallisuusriski.

Kunakin liikennesuunnittelullisen tekijän vaikutus polttoainenkulutukseen ja toisaalta turvallisuuteen on pohtimisen arvoista. Erityisesti on mielenkiintoista vertailla näihin kahteen tekijään liittyvien ratkaisujen riippuvuutta toisistaan. Taloudellisuuden ja turvallisuuden yhtäaikainen huomioonottaminen poikkeaa ratkaisevasti toisistaan kaupunki-

ja maantieolosuhteissa. Kaupunkiympäristössä turvallisuuden lisäämiseksi tehdyt liikennevirran vapaata soljumista haittaavat toimet, kuten hidasteiden, pakollisten pysähtymisten, punaisten liikennevalojen yms. käyttö, *kasvattavat kulutusta*. Sen sijaan maantieoloissa tärkeät turvallisuuden lisääjät, nopeusrajoitukset, *vähentävät kulutusta*.



LUKU 9: Olosuhteiden vaikutus polttoaineenkulutukseen

9.7 Liikenneympäristön suunnittelu

TÄSTÄ ON KYSYMYKSIÄ

- ☛ Liikenneympäristön, liikennejärjestelyiden, liikennevalojen ajoituksen ym. vaikutus polttoaineenkulutukseen on merkityksellisempi kuin usein kuvitellaan.
- ☛ Tavoitteena tulisi olla liikennevirran pitäminen liikkeessä, jolloin uudelleen kiihdyttämisen tarve minimoituu.
- ☛ Autoilijoiden piittaamattomuuden takia joudutaan käyttämään keinotekoisia kulutusta lisääviä keinoja, kuten mutkia, kavennuksia tai töyssyjä. Useat pienet töyssyt tai tärinäraidat hajautetusti sijoitettuna alentaisivat ajonopeutta usein riittävästi ilman, että nopeutta tarvitsisi pakottaa yksittäisillä töyssyillä hetkellisesti lähes nolliin.
- ☛ Liikennevalojen ajoituksella voidaan vaikuttaa liikennevirran kulutukseen merkittävästi.
- ☛ Liikennevalojen tunnistimet tulisi sijoittaa riittävän kauas ennen risteystä, jotta valo ehtisi reagoida, ennen kuin auton tarvitsee vähentää nopeutta (lähes) pysähdyksiin.
- ☛ Liikennevalojen yhteyteen tulisi saada numeronäyttö, joka laskee sekunteja alaspäin näyttäen jäljellä olevan ajan valon seuraavaan vaihtumiseen. Tällöin autoilijat pystyisivät ennakoimalla sovittamaan nopeutensa oikein ja minimoimaan kiihdytystarpeen.
- ☛ Kiertoliittymät ovat usein energiataloudellisempia kuin liikennevaloristeykset.
- ☛ Kaupunkiolosuhteissa turvallisuuden nimissä tehdyt liikennejärjestelyt usein lisäävät polttoaineenkulutusta, mutta maantieolosuhteissa tehdyt taas vähentävät sitä.

9.8 ILMAN LÄMPÖTILA JA PAINE

Ilman lämpötila ja paine vaikuttavat sen tiheyteen, joka puolestaan vaikuttaa ilmanvastukseen. Ilman tiheyden kasvu lisää ilmanvastusta ja päinvastoin. Jos ilmanpaine pysyy vakiona, ilman tiheys ja ilmanvastus kasvavat, kun lämpötila laskee. Tästä aiheutuu kylmänä vuodenaikana lisäystä tehontarpeeseen eli polttoaineenkulutukseen. Ilman tiheyden kasvu ei tosin ole merkittävin kylmän vuodenajan kulutusta lisäävä tekijä, mutta se on yksi muiden joukossa.

Ilman tiheyttä ja sitä kautta ilmanvastusta kasvat-
taa myös ilmanpaineen nousu. Ilmanpaine vaihte-
lee säätilojen mukaan. Kaikkiaan ilman tiheys ja
samalla autoon vaikuttava ilmanvastus on pienim-
millään lämpimällä säällä matalapaineen vallitessa
ja suurimmillaan kylmällä säällä korkeapaineen
vallitessa. Esimerkkejä ilman tiheyden suuruudesta
eri ilmanpaineiden ja lämpötilojen vallitessa ver-
rattuna normaaliolosuhteisiin (NTP) on esitetty
taulukossa 9.4.

Taulukko 9.4 Ilmanpaineen ja lämpötilan vaikutus ilman tiheyteen ja sitä kautta ilmanvastukseen.

Ilman- paine	Ilman- paine- arvo [Pa]	Lämpö- tila [°C]	Ilman tiheys [kg/m ³]	Ero NTP:hen [%]	Ero paine- tason pie- nimpään arvoon [%]	Ero taulu- kon pie- nimpään arvoon [%]
Matala	98 325	-20	1.354	5	16	16
		±0	1.255	-3	7	7
		+20	1.169	-10	0	0
Normaali	101 325	-20	1.395	8	16	19
		±0	1.293	0	7	11
		+20	1.205	-7	0	3
Korkea	104 325	-20	1.437	11	16	23
		±0	1.332	3	7	14
		+20	1.241	-4	0	6

Taulukosta havaitaan, että normaaliolosuhteissa eli normaalissa ilmanpaineessa ja nollan celsiusasteen lämpötilassa (NTP, Normal Temperature and Pressure) ilman tiheys on 1.293 kg/m^3 . Lämpötilan noustessa $+20 \text{ }^\circ\text{C}$:seen ilman tiheys laskee nollalämpötilaan nähden noin 7 %, jos ilmanpaine pysyy vakiona. Pakkasella ($-20 \text{ }^\circ\text{C}$), ilman tiheys kasvaa nollalämpötilaan nähden noin 8 %, jos ilmanpaine pysyy vakiona.

Taulukossa esiintyvien talvi- ja kesälämpötilojen välistä eroa kullakin ilmanpainetasolla tarkasteltaessa havaitaan, että ilman tiheys $\pm 0 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa on 7 % suurempi kuin $+20 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa, mutta $-20 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa se on jo noin 16 % suurempi (toinen sarake oikealta). Pienin taulukossa esiintyvä ilman tiheysarvo on matalapaineen aikana kesälämpötilassa esiintyvä arvo 1.169 kg/m^3 . Suurin arvo taas on korkeapaineen aikana talvilämpötilassa esiintyvä arvo 1.437 kg/m^3 . Taulukon suurin arvo on noin 23 % suurempi kuin pienin (ensimmäinen sarake oikealta).

Ilmanvastus ja sen voittamiseksi tarvittava teho muuttuvat samassa suhteessa kuin ilman tiheys. Kokonaisajovastukset kuitenkin muuttuvat vähemmän, koska ilmanvastuksen lisäksi moottoria kuormittaa renkaiden vierintävastus. Vierintävastus pysyy käytännöllisesti katsoen vakiona riippumatta ajonopeudesta, kun taas ilmanvastus kasvaa jyrkästi ajonopeuden lisääntyessä. Ilman tiheyden vaikutus tehontarpeeseen ja kulutukseen on tämän takia suurimmillaan maantienopeuksilla. Kuvan 4.5 mukaan ilmanvastus kasvaa esimerkkitapauksessa vierintävastusta

suuremmaksi nopeudessa noin 60 km/h , ja nopeudella 100 km/h sen osuus on suunnilleen 70 % kokonaisajovastuksista.

Edellisen kappaleen sekä taulukon 9.4 pienimmän ja suurimman ilmantiheysarvon välisen eron (23 %) perusteella voidaan arvioida ilman tiheyserojen maksimaalinen vaikutus auton tehontarpeeseen. Tulokseksi saadaan, että jos autolla ajetaan (lähes) pelkästään maantienopeuksia (keskinopeus $90\text{--}100 \text{ km/h}$), ilman tiheyden ollessa suurimmillaan *auton liikuttamisen tehontarve voi olla noin 15 % suurempi* kuin ilman tiheyden ollessa pienimmillään.

Koska moottorin hyötysuhde yleensä kasvaa kuormituksen kasvaessa, polttoaineenkulutus kasvaa ilman tiheyden noustessa todennäköisesti jonkin verran vähemmän kuin tehontarve. Näin ollen suuren ilman tiheyden aiheuttama kulutuksen kasvu pienen ilman tiheyden tilanteeseen nähden *osuu suurimmillaan todennäköisesti haarukkaan 10–15 %*.

Edellä esitetty kulutuslisäarvio on maksimiarvo, joka koskee vain maantieajoa, jossa kiihdytyksiä on vähän ja jossa ilmanvastuksen osuus on suurten nopeuksien takia vähintään kaksi kolmasosaa kokonaisajovastuksista. Kaupunkiajossa, jossa ilmanvastus on pienempi kuin vierintävastus ja polttoainetta runsaasti kuluttavien kiihdytysten osuus tarvittavasta vetopyöräenergiasta on suuri, ilman tiheyden muutosten vaikutus kulutukseen jää vähäiseksi eli korkeintaan muutamiaan prosenttiin.

LUKU 9: Olosuhteiden vaikutus polttoaineenkulutukseen

9.8 Ilman lämpötila ja paine

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Ilman lämpötila ja paine vaikuttavat sen tiheyteen ja sitä kautta ilmanvastukseen.
- ☛ Kun ilman tiheys kasvaa, ilmanvastus kasvaa ja päinvastoin.
- ☛ Ilmanvastus on pienimmillään, kun lämpötila on korkea ja ilmanpaine matala. Se on suurimmillaan, kun lämpötila on matala ja ilmanpaine korkea.
- ☛ Normaalissa ilmanpaineessa ilman tiheys ja ilmanvastus pienenevät 7 %:lla, kun lämpötila nousee nollasta +20 °C:een.
- ☛ Kylmän sään ja korkeapaineen aikana vallitseva ilmanvastus on noin 23 % suurempi kuin lämpimän sään ja matalapaineen aikana vallitseva ilmanvastus.
- ☛ Suuri ilman tiheys voi lisätä polttoaineenkulutusta maksimissaan 10–15 % pieneneen tiheyteen nähden, jos ajetaan maantienopeuksilla ilman pysähdyksiä.

10 HYBRIDIAUTOJEN ERITYISPIIRTEET

Hybridauto käyttää sekä poltto- että sähkömoottoria auton liikuttamiseen. Kummankin moottorin parhaat puolet hyödyntämällä saadaan selvää polttoaineensäästöä. Hybridauto voidaan toteuttaa monella tavalla.

10 HYBRIDIAUTOJEN ERITYISPIIRTEET

10.1 YLEISTÄ

Sana hybridi tarkoittaa ristisiitosta tai sekasikiötä, joten se ei ole välttämättä aina herättänyt houkuttelevia mielikuvia. Sen sijaan autoteknisenä terminä hybridi mielletään positiiviseksi, koska kyseessä on taloudellisuuteen, ympäristöystävällisyyteen, äänettömyyteen ja mukavuuteen tähtäävä vähitellen yleistyvä ajoneuvotekniikka.

Hybridiautoa pidetään lupaavana väliaikaisratkaisuna täyssähköautoihin siirtymisen polulla. Aika näyttää, milloin akkutekniikka kehittyy niin pitkälle, että täyssähköauto on riittävän halpa kulkuväline, jolla pystytään ajamaan tarpeeksi pitkä matka latausta kohti. Ainakin siihen saakka, kun tämä tapahtuu, ajamme ilmeisesti yhä enemmän hybrideillä.

Käsitettä hybridiauto käytetään melko väljästi. Täsmällistä määrittelyä sille, mitä voidaan kutsua hybridiksi ja mitä ei, ei ole olemassa. Varsinkin markkinoinnissa saatetaan käyttää termejä teknisesti ajateltuna jopa harhaanjohtavalla tavalla. Lisäksi hybridien käsitteviidakoon tuovat lisäsekaannusta alaryhmät kuten täyshybridi, mikrohybridi, sarjahybridi, rinnakkaishybridi, lataushybridi jne.

Tavallisimmin hybridiautolla tarkoitetaan kahden eri voimalaitteen yhteiskäyttöön perustuvaa autoa. Yleisimmin käytössä on poltto- ja sähkö-

moottorin yhdistelmä. Esimerkiksi pelkällä polttomoottorilla kulkeva auto, joka voi käyttää kahta polttoainetta kuten esimerkiksi bensiiniä ja maakaasua, ei tämän ajattelutavan mukaan ole hybridi.

Sarjahybridillä tarkoitetaan periaatetta, jossa auto liikkuu aina sähkömoottorilla ja polttomoottoria käytetään ainoastaan pyörittämään generaattoria akuston lataamiseksi. Polttomoottorista ei siis välttämättä ole lainkaan mekaanista yhteyttä vetäviin pyöriin.

Myös muunlaisia nimityksiä ja tulkintoja sarjahybridistä esiintyy. Esimerkiksi pelkällä sähkömoottorilla liikkuva ulkopuolisesta virtalähteestä ladattavissa oleva Opel Ampera, jossa polttomoottoria käytetään vain sähköön tuottamiseksi, on valmistajan mielestä sähköauto, jossa on lisäksi polttomoottori toimintamatkan lisäämiseksi (Extended-Range Electric Vehicle, E-REV). Joillakin markkina-alueilla nimittäin sähköautoksi määritely laite saa osakseen suopeamman verokohtelun kuin hybridiauto.

Rinnakkaishybridillä puolestaan tarkoitetaan ratkaisua, jossa sekä sähkö- että polttomoottorilla on mekaaninen yhteys vetopyöriin, ja auton liikkuttamisen vastuu jaetaan automaattisesti näille kahdelle voimalaitteelle ajotilanteen mukaan mahdollisimman taloudellisen lopputuloksen saavuttamiseksi.



”Tavallisimmin hybridautolla tarkoitetaan kahden eri voimalaitteen yhteiskäyttöön perustuvaa autoa. Yleisimmin käytössä on poltto- ja sähkömoottorin yhdistelmä.”

Täyshybridillä tarkoitetaan yleensä autoa, jolla on mahdollista ajaa pelkällä sähköllä polttomoottori sammutettuna ainakin jonkin matkaa. Toisaalta täyshybridin edellytykseksi mielletään joissakin yhteyksissä edellisen lisäksi se, että sähkömoottorin tehon täytyy muodostaa olennainen osa autoa liikuttavan järjestelmän kokonaistehosta.

Hybriditekniiikan uranuurtaja Toyota edustaa edellä kuvattua täyshybridityyppiä. Toyotan hybrideissä sähkömoottorin teho on suuri, yli 80 % polttomoottorin tehosta. Kyseinen hybridijärjestelmä pystyy toimimaan ajotilanteen mukaan joko sarjattai rinnakkaishybridityyppisenä. Niinpä sitä kutsutaan toisinaan *sekahybridiksi*.

Prius-mallin myötä jo 1990-luvulla markkinoille tullut sekahybriditekniiikka, josta valmistaja käyttää nimitystä Hybrid Synergy Drive (HSD), on vuonna 2013 saatavissa kahtena eritehoisena versiona jo viiteen eri Toyotan korimalliin. Lisäksi Priuksesta on saatavissa ulkoisesta virtalähteestä ladattavissa oleva ns. plug-in-versio.

Plug-in-hybridit (lataushybridit) ovat tulleet saataville vasta vuoden 2012 vaiheilla. Ladattava hybridi on auto, jonka akkuja voidaan ladata auton ulkopuolelta eli yleisestä sähköverkosta. Kun akkujen varaus lähestyy loppuaan, polttomoottori käynnistyy automaattisesti ja huolehtii akkujen lataamisesta ja mahdollisesti auton liikuttamisesta. Polttomoottorin käynnistyttyä auto siis toimii ikään kuin ”tavallinen” hybridi”.

”Tavallisten” (ei-ladattavien) hybridautojen akut latautuvat ainoastaan ajon aikana polttomoottorin sekä jarrutusenergian turvin. Näihin autoihin kaikki ulkopuolinen energia tankataan nestemäisenä polttoainetankkiin, kun taas plug-in-tyyppinen hybridi voi ”tankata” energiaa itsensä ulkopuolelta kahdessa muodossa: sekä nestemäisenä tankkiin että sähköisenä hybridiakkuun.

Koska sähkö on Suomessa vähemmän verotettua kuin liikennepolttoaineet, lataushybridien on maksettava käyttövoimaveroa, joka tosin on selvästi esimerkiksi dieselauton vastaavaa pienempi. On syytä huomata, että tämä vero ei tietenkään koske pelkästään nestemäisen polttoaineen muodossa energiaa tankkaavia ”tavallisia” hybridejä.

Oman lukunsa hybridikirjoon tuovat vielä nelivetomallit. Kun valtaosassa hybridautoja kaikki voima johdetaan tiehen saman pyöräparin kautta, joissakin malleissa hybriditekniiikka tuo mukanaan nelivedon. Nelivetoisia hybridejä – joista tosin osa olisi nelivetoisia ilman hybriditekniiikkaakin – valmistavat esimerkiksi Audi, Citroen, Lexus, Peugeot, Porsche ja Volvo.

Kaikkiaan Suomen markkinoilla on vuoden 2013 alussa hybridiversioita ainakin seuraavilta autonvalmistajilta: Audi, BMW, Citroen, Honda, Lexus (jonka lähes kaikki mallit ovat hybridejä), Mercedes-Benz, Opel, Peugeot, Porsche, Toyota ja Volvo.

Hybridauto on yleensä jonkin verran tavanomaista kalliimpi. Hiilidioksidipäästöön eli käytännössä polttoaineenkulutukseen perustuva

autovero on kuitenkin pienentänyt hintaeroa Suomessa, eli laskenut hybridiversioiden hintaa houkuttelevan lähelle tavanomaisia automalleja. Lisäinvestoinnin mielekkyyttä pohdittaessa kan-

nattaa taloudellisuuden ja takaisinmaksuajan lisäksi mieltä myös ympäristöarvoja, käytön vaivattomuutta sekä äänettömyyden ja pehmeän toiminnan mukanaan tuomaa mukavuutta.

LUKU 10: Hybridiautojen erityispiirteet

10.1 Yleistä

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Hybridiautossa käytetään polttomoottorin lisäksi sähkömoottoria.
- ☛ Sarjahybridissä polttomoottorilla ei ole mekaanista yhteyttä vetopyöriin, vaan polttomoottori ainoastaan tuottaa sähköä akustolle, joka ruokkii autoa liikuttavaa sähkömoottoria.
- ☛ Rinnakkaishybridissä sekä poltto- että sähkömoottori voivat liikuttaa autoa.
- ☛ Täyshybridillä tarkoitetaan yleensä autoa, joka pystyy liikkumaan pelkällä sähkömoottorilla (ja jossa sähkömoottorin teho muodostaa olennaisen osan järjestelmän kokonaistehosta).
- ☛ Plug-in-tyyppistä eli lataushybridistä voidaan ladata sähköverkosta. Auto käynnistää polttomoottorin yleensä vasta, kun auton ulkopuolelta ladattu sähkö on kulutettu loppuun. Plug-in-hybrideistä peritään käyttövoimaveroa, joka tosin on selvästi dieselauton vastaavaa veroa pienempi.
- ☛ Hybridejä on vuoden 2013 alussa saatavissa Suomessa ainakin 11 valmistajalta.
- ☛ Hiilidioksidipäästöön eli käytännössä polttoainekulutukseen perustuva autoverotus on pienentänyt hybridiautojen lisähintaa tavallisiin autoihin nähden.
- ☛ Polttoainekulujen ja CO₂-päästön pienenemisen lisäksi hybridit tarjoavat mukavuutta, vaivattomuutta ja äänettömyyttä.

10.2 HYBRIDIN TALOUDELLISUUDEN SYYT

Kuten luvuissa 3.2 ja 5.2 on todettu, polttomoottorin hyötysuhde vaihtelee runsaasti moottorin pyörintänopeuden ja kuormituksen mukaan. Polttomoottorin taloudellisuutta voidaan parantaa vähentämällä sen epätaloudellisimpien toiminta-alueiden käyttöä. Tämä on mahdollista yhdistämällä sähkökäyttö sopivasti polttomoottorikäyttöön ja toteuttamalla kahden voimalaitteen välinen työnjako siten, että *polttomoottorin epätaloudellisten toiminta-alueiden käyttö minimoituu*. Tavallaan kyse on kummankin voimalaitetyypin parhaiden ominaisuuksien hyödyntämisestä. Lisäksi hybridauton taloudellisuutta erityisesti kaupunkiajossa lisää mahdollisuus *jarrutusenergian talteenottoon*. Tätä tarkastellaan tarkemmin jäljempänä.

Polttomoottorin epätaloudellisimpien toiminta-alueiden käytön minimoinnissa on merkittävä sähkömoottorin mukanaolon antama mahdollisuus *valita polttomoottorista kulloinkin otettava teho usein itsenäisesti, riippumatta samanhetkisistä ajovastuksista*. Aina, kun taloudellisuuden maksimoimiseksi on tarkoituksenmukaista, polttomoottoria voidaan kuormittaa – eli ottaa siitä tehoa – enemmän tai vähemmän kuin mitä auton liikuttaminen kyseisellä hetkellä edellyttää.

Sarjahybridissä tämä tapahtuu *käyttämällä polttomoottoria vain sähköä tuottavan generaattorin pyörittämiseen*. Auto siis kulkee aina sähkömoottorilla, joten polttomoottorin toiminta ei ole sidoksissa auton liikuttamiseen. Polttomoottori käynnistetään vain silloin, kun akustoa tarvitsee ladata. Polt-

tomoottoria käytetään kuormitustasoltaan sekä pyörintänopeudeltaan taloudellisuuden kannalta optimaalisessa, yleensä vakiokuormapisteessä, kunnes lataaminen voidaan lopettaa ja moottori sammutetaan.

Sarjahybridauton polttomoottori toimii siis useimmiten kaikki tai ei mitään -periaatteella. Polttomoottorin toiminta voidaan optimoida käytettävälle latauskuormituspisteelle, joten sen taloudellisuus maksimoituu. Toisaalta vain lataukseen käytettävän polttomoottorin ei yleensä tarvitse olla yhtä tehokas kuin moottorin tulisi olla, jos se olisi auton ainoa voimanlähde eli pyöriä pyörittävä moottori. Vähemmän tehokas moottori on usein tehokkaampaa taloudellisempi.

Myös rinnakkaishybridissä tavoitteena on polttomoottorin epätaloudellisten toiminta-alueiden käytön minimointi. Rinnakkaishybridiinkin voidaan valita *tavanomaista pienempi polttomoottori*, joka voidaan lisäksi suunnitella tavanomaista taloudellisemmaksi, tarvittaessa jopa tehontuoton kustannuksella, koska sähkömoottori antaa tarvittaessa lisätehoa ja auttaa polttomoottoria auton liikuttamisessa.

Erityisesti on syytä painottaa, että ainakaan rinnakkaishybridissä *hybridiakun koko ei suoranaisesti vaikuta auton kokonaistaloudellisuuteen*, vaikka niin usein kuvitellaan. Koska ajoneuvokäytössä yleensä – ja varsinkin kaupunkiliikenteessä – tehontarpeen vaihtelu on suurta ja nopeaa, epätaloudellisimpien polttomoottorin toiminta-alueiden pois leikkaamiseksi ei tarvita mahdollisuutta ajaa useita kilometrejä pelkällä sähköllä.

Sen sijaan plug-in-tyyppisissä eli auton ulkopuolisella latausmahdollisuudella varustetuissa hybrideissä tilanne on toinen: akuston kokohan vaikuttaa suoraan siihen, *kuinka suuri osa jokapäiväiseen ajamiseen käytettävästä energiasta voidaan ottaa sähköverkosta ja kuinka suuri osa on otettava tankkausasemalta*. Kilometrikustannus jää selvästi halvemmaksi sähkön muodossa ”tankattua” energiaa kuin nestemäisiä polttoaineita käytettäessä. Tämä aiheutuu siitä, että sähkömoottorin hyötysuhde on parempi kuin polttomoottorin ja että sähkökilowattitunnin hinta on halvempi kuin kilowattitunnin hinta korkeammin verotettujen nestemäisten polttoaineiden muodossa hankittuna.

Poltto- ja sähkömoottorin välinen työnjako rinnakkaishybridissä

Polttomoottori on epätaloudellinen pienillä kuormilla. Rinnakkaishybridissä tämä haitta voidaan eliminoida jättämällä polttomoottori kokonaan pois käytöstä eli sammuttamalla se ja *ajamalla pelkällä sähköllä* niissä ajotilanteissa, joissa tehontarve on pieni. Näitä tilanteita esiintyy usein kaupunkinopeuksissa sekä pysäköintipaikoilla jne., mutta myös maantiellä, jos esimerkiksi ajetaan myötämäkeä tai vähennetään ajonopeutta.

Ajotilanteissa, joissa tehontarve on kohtalainen, polttomoottori otetaan automaattisesti käyttöön. Mutta sen sijaan, että tyydyttäisiin kuormittamaan polttomoottoria vain senhetkisten kevyehköjen ajovastusten voittamiseksi, sen *kuormitusta kasvatetaan lataamalla samalla hybridiakkuja*. Tällöin moottori toimii korkeammin kuormitettuna ja

sen takia taloudellisemmin, toisin sanoen paremmalla hyötysuhteella kuin jos se tuottaisi tehoa ainoastaan ajovastusten edellyttämän määrän.

Suurta tehoa tarvittaessa, kuten kiihdytyksissä ja mäennousuissa, *sähkömoottori valjastetaan polttomoottorin avuksi*. Tällöin kahdesta voimalaitteesta yhteensä saatava teho eli auton suorituskyky on riittävä, vaikka käytettävä polttomoottori olisi normaalia pienempitehoinen ja -kokoinen ollen samalla vastaavankokoisessa autossa normaalisti käytettäviä moottoreita taloudellisempi.

Koska suurta tehoa tarvitaan käytännössä vain harvoin, ja kerrallaan lyhytaikaisesti (esim. kiihdytykset), suuren tehon käyttö rajoittuu normaalissa siviiliikenteessä yleensä erittäin pieneen osaan moottorin kokonaiskäyntiajasta. *Miksi siis polttomoottorin tulisi olla mitoitettu kattamaan myös se tehoalue, jota tarvitaan äärimmäisen harvoin*, kun suuren tehon tarpeen ajotilanteissa voidaan hyödyntää sähkömoottoria pienitehoisemman ja taloudellisemman polttomoottorin apuna?

Jos autoon olisi valittu suuritehoinen polttomoottori ilman sähkömoottorivastusta, seurauksena olisi, että moottori toimisi valtaosan käyttöajastaan matalalla kuormitustasolla eli epätaloudellisesti. Sen sijaan pienempitehoinen polttomoottori toimii keskimäärin korkeammilla kuormitustasoilla eli paremman hyötysuhteen toiminta-alueilla.

Vaadittavaa akkukapasiteettia mietittäessä on syytä muistaa, että tarvittava maksimitehon käyttöaika on kerrallaan yleensä korkeintaan luokkaa

10–20 sekuntia. Jos nykyisissä henkilöautoissa maksimitehoa käytetään tätä pitempään, seurauksena on vähintään sakkoihin tai jopa ajokortin menetykseen johtava ajonopeus. Lyhytkestoisten kiihdytysjaksojen kattamiseksi ei virtaa sähkömoottorille syöttävän akuston tarvitse olla kovin suuri. Sen hetkellisen tehonantokyvyn täytyy tosin olla riittävä.

Polttomoottorin tyyppi

Useiden hybridautojen bensiinimoottoreissa käytetään tavanomaisesta poikkeavaa ns. Atkinson-työkiertoa. Tällaisessa moottorissa imuventtiilin sulkeutumista on myöhäistetty siten, että puristustahti alkaa vasta männän ollessa jo selvästi matkalla ylöspäin. Sen sijaan palamisen jälkeisen paisunnan aikana männän annetaan kulkeutua pitemmälle alas, ennen kuin pakoventtiili avataan ja sylinterissä oleva jäännöspaine päästetään pakosarjaan. Tällöin *palamispainetta pääsee vähemmän hukkaan* eli suurempi osa siitä työntää mäntää eli tekee hyödyllistä työtä. Kustakin työtahdistista saadaan siis enemmän työtä samalla polttoainemäärällä eli moottorin hyötysuhde paranee.

Atkinson-moottorin todellinen käytön aikainen puristussuhde on pienempi kuin moottorin geometrisista mitoista laskettu puristussuhde, ja moottorin paisuntasuhde on suurempi kuin puristussuhde. Samoin moottorin tehollinen iskutilavuus on pienempi kuin nimellinen, koska puristustahdin aikana iskunpituutta ei hyödynnetä koko mitassaan.

Parantuneen hyötysuhteen lopputuloksena on *tavanomaisen bensiinimoottorin ja dieselmoottorin välimaastoon sijoittuva hyötysuhde* eli taloudellisuus. Moottorin huonona puolena on se, että sen vääntömomentti on matalilla pyörintänopeuksilla vaatimaton. Tästä ei hybridikäytössä ole haittaa, koska suurta momenttia tarvittaessa sähkömoottori otetaan polttomoottorin avuksi.

Atkinson-moottorin hyvä hyötysuhde tulee esille *pienenä kulutuksena myös maantiellä*, vaikka usein kuulee väitettävän, että hybriditekniikasta olisi hyötyä kulutuksen kannalta vain kaupunkiajossa. Tosiasia kuitenkin on, että hybridautojen maantiekulutuskin on yleensä pienempi kuin vastaavien polkkää polttomoottoria käyttävien autojen.

Jarrutusenergian talteenotto

Suuri osa tavallisen polttomoottoriauton polttoainesäiliöstä otettavasta energiasta kuluu hukkaan jarrutuksissa. Tällöinhän kalliilla polttoaineella aikaansaatu liike-energia muutetaan kitkan avulla lämpöenergiaksi. Ongelma korostuu kaupunkiliikenteessä, jossa hidastuksia ja pysähdyksiä on usein. Esimerkiksi EU:n virallisessa kaupunkiajosityklissä jopa yli puolet vetopyöräenergiasta kuluu kiihdytysiin (ks. liite 1, kuva 3), jotka ovat suoraa seurausta kiihdytystilanteita edeltäneistä jarrutuksista.

Hybridautossa voidaan nopeutta hidastettaessa käyttää kitkajarrujen asemesta sähkömoottoria, joka *toimii generaattorina, tulee raskaaksi pyörittää ja hidastaa auton nopeutta tuottaen samalla sähköä*. Sähkö varastoidaan hybridiakkuihin ja voi-

daan hyödyntää esimerkiksi myöhemmissä kiihdytyksissä. Hybridiautossa otetaan tavanomaiset kitkajarrut käyttöön sähköä tuottavan ns. regeneratiivisen jarrutuksen rinnalle tai tilalle vasta kohtalaisen voimakkaasti jarrutettaessa.

Turun ammattikorkeakoulun auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelmassa toteutetussa insinööritutkinnon opinnäytetyössä selvisi, että kevyessä jarrutuksessa 40 km/h ajonopeudesta Toyota Priuksen generaattori otti jarrutuksissa parhaimmillaan vastaan energiamäärän, joka vastasi noin puolta auton liike-energiasta ennen jarrutusta. Nopeissa jarrutuksissa energian talteenotto oli jonkin verran tätä tehottomampaa.

Kun generaattorin hyötysuhde sekä lataus- ja purkaushäviöt otettiin huomioon, päästiin arvioon, jonka mukaan parhaimmillaan noin 30–40 % auton liike-energiasta on mahdollisuus hyödyntää myöhemmissä kiihdytyksissä hybridiakuista saatavana sähköenergiana. Tämä tarkoittaa käytännössä, että jokaista noin kolmea rauhallista generaattorijarrutusta kohti saadaan suunnilleen yksi kiihdytys ilmaiseksi.

Edellä kuvattu esimerkki osoittaa, että regeneratiivisessa jarrutuksessa on häviönsä, jotka ovat tyypillisiä kaikille energiamuunnoksille. Liike-energiaa ei pystytä muuntamaan sähköenergiaksi läheskään 100 %:n hyötysuhteella. Osa jarrutuksen alussa

autolla olevasta liike-energiasta menee siis regeneratiivisestikin jarrutettaessa hukkaan. Lopputulos on kuitenkin hyvä verrattuna tavallisiin ei-hybridiautoihin, koska niissä auton liike-energian talteenotto-prosentti jarrutuksissa on pyöreä nolla.

Vaikka regeneratiivisen energian talteenoton hyödyntämismahdollisuutta pidetään yhtenä hybriditekniikan suurimpana energiansäästövalttina, pienimpään polttoaineenkulutukseen päästään kuitenkin siten, että kuljettaja välttää generaattorijarrutusta ja pyrkii pitämään auton liikkeen liikkeenä muuntamatta sitä välillä sähköksi ja jälleen liikkeeksi energiahäviöineen. Ajonopeutta hidastettaessahan hybridiauton moottori yleensä sammuu, joten mitä aikaisemmin kuljettaja sammuttaa moottorin kaasupoljinta keventämällä, ja mitä pidemmälle auto rullaa ilman että generaattori jarruttaa, sitä enemmän säästöä syntyy.



TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Sähkö- ja polttomoottorin yhteiskäytöllä voidaan vähentää polttomoottorin epätaloudellisten toiminta-alueiden käyttöä. Tämä on mahdollista, koska polttomoottorista otettava teho ei hybrideissä ole (ainakaan aina) sidoksissa auton liikuttamiseen tarvittavaan tehoon.
- ☛ Pienen tehon ajotilanteissa rinnakkaishybridiä voidaan ajaa polttomoottori sammutettuna. Kohtalaisen tehontarpeen vallitessa polttomoottorin kuorimitusta ja siten hyötysuhdetta voidaan kasvattaa lataamalla akkuja auton liikuttamisen lisäksi. Suurta tehoa tarvittaessa sähkömoottori avustaa polttomoottoria, joten autoon voidaan valita tavanomaista pienempi ja taloudellisempi polttomoottori, mutta saada silti riittävä suorituskyky.
- ☛ Jos kyseessä on ”tavallinen” hybridi (jonka akustoa ei voida ladata ulkoisesta virtälähteestä), akuston koko ei suoranaisesti vaikuta auton taloudellisuuteen.
- ☛ Hybridiautoissa käytetään usein poikkeavalla venttiilinajoituksella (ns. Atkinson-sykli) varustettua bensiinimoottoria, jonka hyötysuhde on tavallista bensiinimoottoria parempi. Tämän takia hybridit ovat usein tavanomaisia autoja taloudellisempia myös maantieajossa.
- ☛ Jarrutusenergian talteenotto eli ns. regeneratiivinen jarrutus jarruttaa sähkömoottorilla, joka alkaa toimia generaattorina. Se muuttaa keveissä jarrutuksissa osan auton liike-energiasta sähköksi, joka varastoidaan hybridiakkuun hyödynnettäväksi myöhemmin. Optimaalisessa tilanteessa noin kolmen jarrutuksen aikana saadaan sähköä talteen sen verran, että saadaan yksi kiihdytys ilmaiseksi.
- ☛ Taloudellisin tapa ajaa hybridiautoa on regeneratiivisen jarrutuksen välttäminen ja auton rullaaminen moottori sammuksissa ”vapaalla”, koska liike-energian muuttamiseen sähköksi ja takaisin liikkeeksi liittyy aina häviöitä.
- ☛ Mitä pitemmälle hybridiauto rullaa moottorin ollessa sammutettuna ilman, että generaattori jarruttaa, sitä enemmän säästöä syntyy.

10.3 HYBRIDITEKNIIKAN TALOUDELLISUUSPOTENTIAALIN ARVIOINTIA

Luvussa 4 oli tarkastelun kohteena ajovastustekijät eli ne voimat, joiden voittamiseen energia autokäytössä kuluu. Luvussa 3 puolestaan tarkasteltiin energian muuntoprosessin hyötysuhdetta eli autoon polttoaineen muodossa varastoidun käyttövoiman sisältämän energian muuntamista auton liike-energiaksi, johon tietysti pyritään mahdollisimman korkealla hyötysuhteella eli mahdollisimman pienin häviöin.

Kaikki, mitä aikaisemmin on todettu ajovastusten minimoinnista, pätee tietysti myös hybridautille samoin kuin mille muulle autolle tahansa. Hybridauton varsinainen taloudellisuusetu ei kuitenkaan perustu ajovastustekijöihin vaan nimenomaan kahden voimalaitteen yhteiskäytön mahdollistamiin *parannuksiin energian muuntoprosessin hyötysuhteessa*. Tietenkin myös hybridautoissa ajovastukset pyritään mahdollisuuksien mukaan minimoimaan.

Hybridijärjestelmän suunnittelussa törmätään monenlaisiin ristiriitaisiin vaatimuksiin. Koska kyseessä on tavalliselle kuluttajalle myytävä auto, hybridijärjestelmän toimintaa ei välttämättä ole voitu kaikilta osin optimoida pelkästään taloudellisuutta ajatellen. Huomioon otettavina seikkoina ovat hybridijärjestelmän suunnittelussa olleet myös esimerkiksi seuraavat vaatimukset:

- Hybridauton ajettavuus ja käytettävyys eivät saa poiketa ainakaan liikaa tavallisista autoista.
- Suorituskyvyn on oltava riittävä.
- Reagoinnin kuljettajan kiihdytystoiveisiin on oltava riittävän nopeaa.
- Siirtymisen voimalaitteesta toiseen on kaikissa tilanteissa oltava jouhevaa, saumatonta ja mahdollisimman huomaamatonta.

Em. syistä hybridijärjestelmän kahden eri voimalaitteen toiminta sekä niiden välinen yhteistyö joudutaan ohjelmoimaan siten, että *lopputulos on kompromissi usean osittain ristiriitaisen tekijän välillä*, joista toki taloudellisuus on yksi. Tämän takia hybridikuljettajalle *saattaa jäädä mahdollisuus vaikuttaa ajotavallaan polttoaineenkulutukseen suhteellisesti enemmän kuin tavallisissa autoissa*.

On muistettava, että hybridautoissa pienetkin polttoaineenkulutuserot ovat suhteellisesti ottaen suuria, koska absoluuttinen kulutus on pieni. Esimerkiksi kulutuserossa lukemien 5.0 l/100 km ja 6.0 l/100 km välillä on kysymys vain yhdestä litrasta, mutta 6 litraa on 20 % enemmän kuin 5 litraa.

Eri autonvalmistajien hybriditoteutukset poikkeavat toisistaan, kuten aikaisemmin on jo todettu. Niinpä kuljettajan osuudenkin vaikutus kulutukseen saattaa olla erilaisissa hybridautoissa erilainen. Myös ne ajotapaan liittyvät erityiset keinot, joilla kustakin hybriditekniikasta saadaan paras kulutushyöty, voivat vaihdella eri tavoin toteutettujen hybridautojen välillä.

Tämän kirjoittajalla on 7 vuoden ja runsaan 150 000 km:n henkilökohtainen kokemus maailman yleisimmän hybridauton Toyota Priuksen käytöstä. Seuraavassa esitettävät näkemykset tämän automallin taloudellisuudesta ja sen perusteista pohjautuvat omiin kokemuksiin sekä normaalikäytössä että taloudellisuusajokilpailussa (Autoliiton EcoTour 2011).

Toyota Priuksen, kuten monen muunkin hybridin, voimalinjan ominaisuuksiin kuuluvat olennaisesti jarrutusenergian talteenotto (regeneratiivinen jarrutus) sekä polttomoottorin sammuttaminen, kun sitä ei tarvita. Sammuttaminen toteutetaan pienen tehontarpeen tilanteissa, joihin kuuluu itsestään selvästi myös paikallaan seisominen, jos sammuttamiselle asetetut reunaehdot täyttyvät.

Jarrutusenergian talteenotto sekä moottorin sammuttaminen alentavat pelkällä olemassaolollaan Priuksen polttoaineenkulutusta kaupunkiajossa siten, että sen kulutustaso on luokkaa 75 % verrattuna tavalliseen automaattivaihteiseen vastaavan kokoiseen bensiinikäyttöiseen autoon. Tosin useat uudet automaattivaihteistotyypit eivät ole sen epätaloudellisempia kuin käsivaihteistotkaan, vaikka näin oli yleisesti takavuosina. Automaattivaihteinen on Priukselle perusteltu vertailukohta, koska siinä on portaaton vaihteisto, ja sitä ajetaan kuten automaattivaihteista.

Hybriditekniikan eli käytännössä sähkömoottorin mukanaolon mahdollistama tavallista taloudellisempi polttomoottorityyppi (Atkinson-työkierto, luku 10.2) antaa lähes saman suu-

ruusluokan kulutushyödyn maantieajossa kuin regeneratiivinen jarrutus ja runsas moottorin sammutettuna pitäminen antavat kaupunkiajossa, vaikka näin ei yleensä ymmärretä olevan.

Edellä mainittujen polttoaineensäästöön ikään kuin ”automaattisesti” johtavien toimintaperiaatteiden lisäksi kuljettajan on mahdollista alentaa polttoaineenkulutusta edelleen valitsemalla ajotapansa siten, että hän hyödyntää optimaalisesti Priuksen hybridijärjestelmään kuuluvien poltto- ja sähkömoottorin välistä työnjakoa.

Tässä onnistuminen edellyttää muutamien periaatteiden opettelua, jotka perustuvat kyseisen hybridijärjestelmän toimintaan sekä yleiseen tietämykseen polttomoottorin ominaisuuksista. Lisäksi vaaditaan auton kojelaudassa olevan energivirtojen suuntaa osoittavan monitoiminäytön seuraamista sekä aktiivista otetta ajamiseen.

Kaupunkiajossa Priuksen hybridijärjestelmän ominaisuuksiin sovitettu optimaalinen taloudellisuusajotekniikka alentaa kulutusta tavalliseen automaattivaihteiseen verrokiautoon nähden vielä noin 15 prosenttiyksiköllä, eli kulutustaso alenee 75 %:n suuruusluokasta noin 60 %:iin verrokiautoon nähden.

Jos hybriditekniikan optimaalisen hyödyntämisen lisäksi noudatetaan vielä yleisiä taloudellisen ajotavan periaatteita, saavutetaan kaupunkiajossa edellä esitettyjen säästöportaiden lisäksi vielä arviolta 10 prosenttiyksikön suuruinen lisäsäästö. Taloudellisella ajotavalla kaupunkiajossa tarkoit-

etaan luvussa 8 esitettyjä keinoja, eli esimerkiksi sitä, että ennakoidaan liikennetilanteita ja seurataan liikennettä mahdollisimman kaukana edessä, jolloin ajonopeus ja eteneminen voidaan sovittaa siten, että hidastukset minimoituvat ja uudelleen kiihdyttämisen tarve vähenee.

Edellä mainittujen eri säästökeinojen aikaansaamien kulutusvähenemien tuloksena syntyvät kulustasot kaupunkiajossa on esitetty alla taulukossa 10.1. Vertailukohtana on tavanomainen automaattivaihteinen bensiinauto.

Taulukosta ilmenee, että siirtymällä tavallisesta automaattivaihteisesta bensiinautosta hybridiin, opettelemalla käytössä olevaa hybriditeknikkaa optimaalisesti hyödyntävä ajotapa sekä lisäksi yleinen taloudellinen ajotapa, voidaan polttoaineenkulutus kaupunkiajossa parhaimmillaan jopa puolittaa.

Miten kuljettaja sitten käytännössä ottaa hybriditekniikasta kaiken taloudellisuushyödyn irti? Miten hänen tulee ajaessaan konkreettisesti toimia hyödyntääkseen hybridijärjestelmää optimaalisesti? Tähän keskitytään seuraavassa luvussa.

Taulukko 10.1 Eri ajotapojen aikaansaamat polttoaineenkulutustasot Toyotan hybriditekniikkaa hyödyntämällä kaupunkiajossa verrattuna perustapaukseen.

Ajoneuvotyyppi	Yleinen ajotapa	Hybridin optimaalinen hyödyntäminen	Suhteellinen polttoaineen kulutustaso
Normaali automaattivaihteinen bensiinihenkilöauto	"Normaali"	-	100 %
Toyota Prius -hybridi	"Normaali"	Ei	75 %
Toyota Prius -hybridi	"Normaali"	Kyllä	60 %
Normaali automaattivaihteinen bensiinihenkilöauto	"Taloudellinen"	-	80 %
Toyota Prius -hybridi	"Taloudellinen"	Ei	60 %
Toyota Prius -hybridi	"Taloudellinen"	Kyllä	50 %

LUKU 10: Hybridiautojen erityispiirteet

10.3 Hybriditekniikan taloudellisuuspotentiaalin arviointia

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Hybriditekniikka tähtää energiamuunnoksen hyötysuhteen kasvattamiseen, kun polttoaineen kemiallista energiaa muutetaan auton liike-energiaksi.
- ☛ Ajovastukset pyritään minimoimaan hybrideissäkin.
- ☛ Hybridiauton ajettavuus ja käyttäytyminen eivät saa poiketa liikaa tavallisista autoista, joten hybridivoimalinjan toimintaa ei voida ohjelmoida pelkästään taloudellisuuden maksimoimiseksi. Tämän takia kuljettajalle saattaa hybridi-autossa jäädä suurempi mahdollisuus vaikuttaa kulutukseen kuin tavallisissa autoissa.
- ☛ Taloudellisuuden kannalta optimaalinen ajotapa saattaa olla erilainen eri tavoin toteutetuissa hybridiautoissa.
- ☛ Jarrutusenergian talteenotto sekä tavanomaista taloudellisempi Atkinson-bensiinimoottori alentavat Toyota Prius -hybridin kulutuksen noin 75 %:iin tavanomaisen automaattivaihteisen bensiinauton kulutuksesta. Kun lisäksi noudatetaan hybridijärjestelmälle optimoitua ajotapaa, kulutus kaupunkiajossa putoaa noin 60 %:iin vertailutasosta. Kun noudatetaan lisäksi yleisiä taloudellisen ajamisen periaatteita (luku 8), kulutus voi alentua jopa puoleen.

10.4 OPTIMAALINEN KAUPUNKIAJO TOYOTA PRIUKSELLA

Seuraavassa esitettävät Toyota Priuksen ajamiseen liittyvät ohjeet ja periaatteet ovat sovellettavissa suoraan myös muihin Toyotan hybridimalleihin, koska niissä kaikissa käytetään periaatteeltaan samaa hybriditekniikkaa. Muiden autonvalmistajien hybridien ajamiseen tässä esitettävät periaatteet soveltuvat vähintään monelta kohdin, mutta eivät välttämättä kaikilta osin.

Toyota on käyttänyt Priuksessa käyttöön otettua hybriditekniikkaa myös kahdessa muussa mallissaan vuosista 2010 ja 2012 lähtien. Sama tekniikka on käytössä myös Toyotan omistaman Lexuksen pienimmässä hybridimallissa. Sen sijaan suuremmat Lexus-hybridit poikkeavat tekniikaltaan pienimmästä mallista jossain määrin.

Teoreettinen perusta

Tarkastelun kohteena oleva Toyota Priuksen talousoptimoitu ajotapa on rajattu koskemaan lähinnä energian muunnosprosessia auton voimalinjassa. Prosessin tavoitteenahan on muuntaa autoon varastoitu käyttövoima (benssiini ja sähkö) auton liike-energiaksi korkealla hyötysuhteella eli mahdollisimman pienin häviöin.

Tässä yhteydessä ei siis tarkastella ensisijaisesti tietyn ajomatkan suorittamiseen tarvittavan vetopyöräenergian minimointia, johon päästään esimerkiksi jarrutuksia välttämällä ja suurimpia ajonopeuksia karsimalla. Nämä ovat toki poltto-

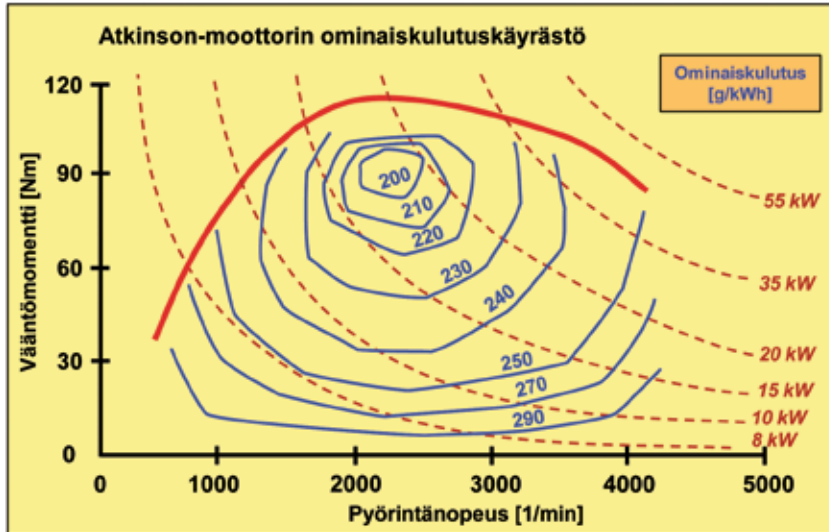
ainetta säästäviä ja kannatettavia yleisiä taloudellisen ajamisen periaatteita, mutta koskevat kaikkia autoja eivätkä ole varsinaisesti hybriditekniikkaan liittyviä. Näitä on käsitelty edellä luvussa 8.

Priuksen taloudellisessa ajamisessa, kuten tietysti muissakin autoissa, tärkeää on *oikeanlainen kaasupolkimen käyttö*. Priuksessa kaasupolkimen käytön merkitys korostuu, koska sillä ei ainoastaan säädellä moottorin tehoa ja ajonopeutta vaan myös sitä, milloin polttomoottori käy ja milloin ei. Lisäksi kaasupolkimen asento vaikuttaa Priuksessa myös siihen, milloin regeneratiivinen jarrutus on käytössä, ja mihin tarkoitukseen poltto- ja sähkömoottorin tehoa milloinkin käytetään.

Perusajatus on se, että moottoria tulisi käyttää niin paljon kuin mahdollista *hyvän hyötysuhteen eli pienen ominaiskulutuksen toiminta-alueella tai sammuttaa se kokonaan*. Ja silloin kun moottori on sammutettuna, regeneratiivisen jarrutuksen käyttöä tulisi välttää, ja sen sijaan antaa auton rullata ”vapaalla”. Parhaiten näitä myöhemmin tarkemmin selitettäviä periaatteita voi soveltaa kaupunkiajossa.

Käytännössä pienen ominaiskulutuksen toiminta-alue löytyy useimmiten, kun moottoria kuormitetaan kohtalaisen runsaasti pyörintänopeusalueen puolivälin vaiheilla tai sen alapuolella. Kunkin moottorin ominaiskulutuksen minimialue selviää ominaiskulutuskäyrästä eli ns. moottorikartasta, jota on käsitelty luvussa 5.2. Polttomoottorin talousoptimoitu käyttö perustuu yleensäkin suurelta osin moottorikartan ymmär-

tämiseen, ja näin on erityisesti hybrideissä, joissa moottorin taloudellisimpia toiminta-alueita voidaan hyödyntää paremmin kuin tavallisissa autoissa. Kuvassa 10.1 on esitetty Toyota Priuksessa käytetyn 1.5-litraisen bensiinimoottorin ominaiskulutusikäyrästä.



Kuva 10.1 Toyota Priuksessa aikaisemmin käytetyn 1.5-litraisen Atkinson-moottorin (luku 10.2) ominaiskulutusikäyrästä eli moottorikartta. (Mukailen: Miller 2005).

Kuvan mukaan moottorin pienin ominaiskulutus olisi 200 g/kWh, joka on bensiinimoottorille poikkeuksellisen pieni, lähellä dieselmootoreita oleva arvo (vrt. kuva 5.1). Moottori tuottaa mekaanista energiaa taloudellisimmin luvun 200 ympärillä olevan renkaan sisällä. Kulutusminimi sijaitsee noin 2 300 1/min pyörintänopeudella suunnilleen

80 %:n tasolla verrattuna ko. pyörimisnopeuden maksimimomenttiin. Kuva ei ole valmistajan julkaisema, joten lukemien alhaiseen tasoon pitää suhtautua varauksella.

Kun tehontarve on pieni, polttomoottorin toiminta on epätaloudellista. Kuvan 10.1 mukaan Priuksen polttomoottorin ominaiskulutus on pienimmillä kuormatavoilla yli 290 g/kWh eli lähes 1.5-kertainen minimiarvoon nähden. Tästä on helppo päätellä, että pienen tehontarpeen tilanteissa polttomoottori kannattaa sammuttaa ja ajaa pelkällä sähköllä. Tämä onnistuu hybriditeknikan ansiosta helposti.

Priuksessa polttomoottorin sammuttamiseksi tarvitsee ainoastaan päästää kaasupoljin ylös. Edellytyksenä tosin on, että moottori on riittävän lämmin, hybridiaikassa on riittävästi virtaa ja myös muut hybridijärjestelmän

ohjauslogiikkaan ohjelmoidut parametrit sallivat moottorin sammuttamisen.

Kuljettajan apuna kaasupolkimen oikeassa käsittelyssä toimii auton ohjaamossa oleva energiavirtoja kuvaava monitoiminäyttö ("Energy Monitor"). Valitettavasti tämän näytön selkeys on huonon-

tunut selvästi Priuksen kolmannen sukupolven myötä. Näytössä olevat energian virtaussuuntia ilmaisevat nuolet sekä hetkellinen polttoainenkulutuslukema antavat tärkeää informaatiota, johon perustuen kuljettaja pystyy käyttämään polttomoottoria optimaalisesti ja hyödyntämään Priuksen hybridijärjestelmän tarjoaman säästöpotentiaalin maksimaalisesti.

Seuraavassa konkretisoidaan optimaalista ajotapaa Toyota Priuksella. Ohjeet liittyvät lähinnä kaupunkiajoon, mutta ovat jossain määrin sovellettavissa myös maantiellä.

Liikkeellelähtö ja kiihdytys

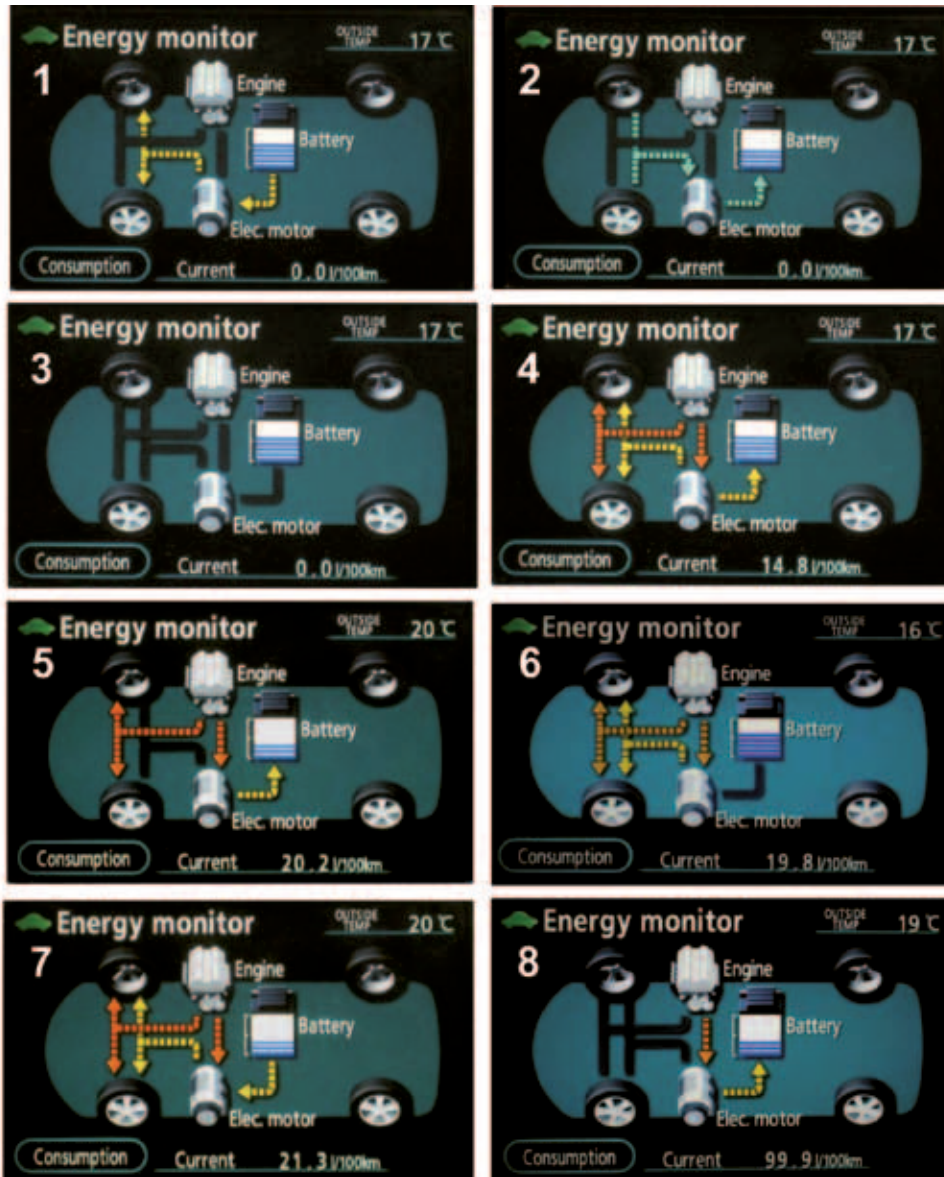
Liikkeellelähdön tulee tietenkin tapahtua kylmällä moottorilla varovasti ja moottorin rajua kuormittamista välttämällä, kuten millä tahansa autolla. Näin taataan moottorin ja voimansiirron mahdollisimman pieni kylmäkuluminen, koska voitelu ei toimi kylmänä yhtä hyvin kuin käyntilämpimänä.

Sen sijaan lämpimällä moottorilla liikkeelle lähdetäessä kuljettajan kannattaa painaa kaasupoljinta runsaanpuoleisesti. Liikkeellelähdön ei tarvitse, eikä se saa olla repivä, mutta tarkoitus on *kuormittaa moottoria runsaasti heti, kun se on käynnistynyt (ensimmäiset metrit auto yleensä liikkuu sähköllä)*. Näin menetellen polttomoottorin toimintapiste nousee moottorikartalla (kuva 10.1) riittävän ylös eli pienen ominaiskulutuksen alueelle. Tavoitteena olisi tietenkin käyttää moottoria kiihdytysten aikana mahdollisimman lähellä pienimmän (200 g/kWh) ominaiskulutuksen antavaa toiminta-aluetta.

Samalla kuljettajan on kuitenkin *varottava painamasta kaasupoljinta liian syväälle*, jotta moottorilta ei pyydetäisi tehoa niin paljon, että ohjauslogiikka nostaa pyörintänopeuden liian korkealle. Usein kaasupolkimen painamista voi lisätä nopeuden kasvamisen myötä. Korkeita pyörintänopeuksia on vältettävä, koska ominaiskulutus kasvaa siirryttäessä moottorikartalla (kuva 10.1) korkeampien pyörintänopeuksien suuntaan (oikealle). Ominaiskulutus kasvaa Priuksessa 200:sta yli 230 g/kWh:iin, jos moottorin toimintapiste siirtyy pienimmän ominaiskulutuksen alueelta suoraan oikealle sen verran, että pyörintänopeus kasvaa yli 3000 l/min alueelle.

Moottorin pyörintänopeutta arvioitaessa ei kuljettajan käytettävissä valitettavasti ole kierroslukumittaria vaan ainoastaan kuulohavainto. Priuksen valmistaja on pyrkinyt tekemään auton ajamisesta mahdollisimman vaivatonta ja ”epäteknistä”, joten kuljettajalle ei ole katsottu tarpeelliseksi antaa kuin välttämättömäksi koettu informaatio. Niinpä myöskään esimerkiksi moottorin lämpötilatietoa ei kuljettajalla ole käytettävissään.

Toinen asia, josta kuljettaja on kiihdytettäessä vastuussa, on huolehtia siitä, että *sähköenergian virtaussuunta hybridijärjestelmässä kulkee sähkömoottorilta akulle päin*. Tästä hän saa tiedon monitoiminäytön energianuolten suunnasta. Tavoitteena ovat kuvan 10.2, osakuvakkeiden 4 ja 5 mukaiset tilanteet.



Kuva 10.2. Toyota Priuksen hybridijärjestelmän eri toimintamoodeja.

Hybridijärjestelmähän toimii siten, että polttomoottorin käydessä korkeintaan kohtalaisilla kuormilla sen tehoa käytetään auton liikuttamisen lisäksi hybridiakun lataamiseen. Samalla polttomoottorin kuormitus ja hyötysuhde kasvavat. Energianuolten suunta sähkömoottorilta akulle päin ilmaisee, että hybridiakkua ladataan, ja kiihdytysvaiheet ovat otollisia ajotilanteita lataamiselle.

Jos kuljettaja kiihdytettäessä painaa kaasupoljinta liikaa, hybridiakusta aletaan ottaa virtaa. Tällöin järjestelmä tulkitsee, että kuljettaja haluaa (lähes) maksimaalista kiihtyvyyttä, jolloin sähkömoottoria aletaan käyttää polttomoottorin apuna auton kiihdyttämisessä. Tällaisessa tilanteessa energianuoli monitoiminäytössä osoittaa akulta sähkömoottorin suuntaan (kuva 10.2, osakuva ke 7). Tämän tilanteen syntymistä tulee välttää, koska tarkoituksena ei kiihdytysten aikana ole purkaa hybridiakkua vaan kiihdyttämisen ohella nimenomaan ladata sitä. Todellisuudessa hybridiakkua ei lataa sähköinen ajomoottori vaan erillinen generaattori, mutta tätä komponenttia ei kuvan yksinkertaistamisen takia ole erikseen piirretty näyttöön.

Miksi hybridiakkua sitten pitäisi ladata kiihdytyksen aikana? Siksi, että kuljettajan on tarkoitus siirtyä kiihdytyksen jälkeen pelkän sähköön käyttöön sammuttamalla polttomoottori kaasupoljinta sopivasti nostamalla. Sen jälkeen hän jatkaa matkaa mahdollisimman pitkälle pelkän akusta saatavan energian turvin hyödyntäen sähkömoottorin korkeaa hyötysuhdetta. Hänen kannattaa siis käyttää polttomoottoria kiihdytysvaiheissa siten, että

hybridiakku olisi aina kiihdytyksen jälkeen mahdollisimman täynnä.

Oikeaoppisesta kiihdytystavasta puhuttaessa on syytä muistuttaa, että ajotietokoneen tai monitoiminäytön osoittamia *korkeita lyhytaikaisia kulutuslukemia kiihdytyksen aikana ei pidä pelästyä*. Tämä periaate pätee kaikkiin autoihin, olipa kyseessä sitten tavallinen auto tai hybridi (vrt. luku 8.4).

Vaikka ihmisen luontainen ajattelu pitää pieniä lukemia tavoittelemisen arvoisina, korkeat lyhytaikaiset kulutuslukemat kiihdytyksen aikana osoittavat, että autoa kiihdytetään oikeaoppisesti korkealla kuormituksella eli hyvän hyötysuhteen toiminta-alueella. Samalla auton liike-energia lisääntyy nopeasti, joten kiihdytysvaiheesta päästään nopeasti ohi, ja voidaan siirtyä pian vakionopeudella ajamiseen, jolloin kulutus putoaa selvästi.

Korkeiden hetkellisten kulutuslukemien vaikutus kokonaiskulutukseen on pienillä ajonopeuksilla vähäinen, koska pienillä nopeuksilla auto liikkuu aikayksikössä vain vähän matkaa. Polttoaineenkulutushan lasketaan ja ilmoitetaan ajettua matkaa eikä suinkaan aikaa kohti. Korkeakaan lyhytaikainen kulutuslukema heti liikkeellelähdön jälkeen ei kasvata keskikulutusta merkittävästi, koska pienillä nopeuksilla matkaa kertyy samassa ajassa selvästi vähemmän kuin suurilla nopeuksilla. Perussääntönä voidaan sanoa, että Priusta kiihdytettäessä erityisesti kaupunkinopeuksissa tulisi pitää huolta siitä, että hetkellinen kulutuslukema on vähintään suuruusluokkaa 10 l/100 km, joka on

noin kaksinkertainen arvo Priuksen tyypilliseen keskikulutuksen nähden. Aiemmin mainittua hybridiakun purkautumista täytyy muistaa varoa hetkellisen kulutuksen seuraamisen ohella.

Ajotietokoneen seuraamisen lisäksi toinen muistuttamisen arvoinen asia on se, että kaikilla tavoilla suoritettu kiihdytys on tuhlausta, jos sen jälkeen joudutaan jarruttamaan. On siis varmistuttava siitä, että tie on vapaa, ennen kuin kiihdytetään.

Muut kuin kiihdytystilanteet

Kun Prius on kiihdytyksen jälkeen saavuttanut halutun kaupunkinopeuden, kuljettajan tulee sammuttaa polttomoottori. Tämä tapahtuu *keventämällä kaasupoljinta tai tarvittaessa päästämällä se hetkeksi (lähes) täysin ylös.*

Kuljettaja voi varmistua moottorin sammumisesta hyödyntämällä energiavirtausnäyttöä (kuva 10.2). Polttomoottorin sammuksissa oleminen näkyy hetkellisen polttoaineenkulutuksen näytössä energiavirtausnuolten alla ruudun oikeassa alareunassa. Kun moottori ei käy, hetkellinen kulutus on 0.0 l/100 km (kuva 10.2, osakuvakkeet 1, 2 ja 3).

Kaasupoljinta ei kuitenkaan pidä jättää yläasentoon, koska kuljettaja mitä ilmeisimmin haluaa jatkaa ajoa kyseisellä nopeudella. Jos kaasupoljin jää ylös, hybridijärjestelmä tulkitsee, että kuljettaja haluaa hidastaa ajonopeutta moottorijarrutuksella. Tällöin sähkömoottori alkaa toimia generaattorina ja alkaa hidastaa auton nopeutta. Toki se tuottaa samalla sähköä, mutta minimikulutuk-

seen pääsemiseksi auton liike-energia kannattaa säilyttää liike-energiana eikä sitä pidä muuttaa välillä sähköksi ja taas takaisin liikkeeksi, koska jokaisessa energiamuunnoksessa syntyy aina häviöitä.

Jos kuljettaja haluaa jatkaa ajoa vakionopeudella, hänen tulee heti kaasupolkimen keventämisen eli moottorin sammuttamisen jälkeen *painaa kaasupoljinta hieman uudelleen* heti sen jälkeen, kun hän on havainnut, että polttomoottori on sammunut. Näin toimien regeneratiivinen jarrutus eli energian talteenotto ei kytkeydy toimintaan, vaan auto *rullaa ikään kuin vaihde vapaalla moottori sammutettuna*, jolloin sen liike-energia tulee hyödynnetyksi 100-prosenttisesti. Hybridijärjestelmässä valitsee siis tilanne, jossa energiaa ei kulje mihinkään suuntaan. Energiavirtausnäytöllä ei näy lainkaan nuolia, ja samaan aikaan hetkellinen kulutus näyttää tietysti nolaa (kuva 10.2, osakuvake 3).

Kuten aikaisemmin (luku 10.2) on mainittu, kevyissä jarrutuksissa Prius kykenee regeneroimaan ja taltioimaan sähköenergiaa siten, että noin 30–40 % autolla hidastuksen alkaessa olleesta liike-energiasta on mahdollisuus hyödyntää myöhemmissä kiihdytyksissä hybridiakusta saatavana sähköenergiana. Tämä on tietenkin korkea lukema verrattuna normaaliautoon, jossa talteen ei saada mitään, mutta selvästi pienempi lukema kuin 100 %, johon päästään, kun auton annetaan rullata edellä kuvatulla tavalla vapaasti.

Koska vapaasti rullattaessa – ellei ajeta myötämässä – auton nopeus alkaa ajovastusten takia alen-
tua, kuljettaja voi halutessaan painaa kaasupoljinta

hieman syvemmälle. Tällöin sähkömoottori kytkeytyy pyörittämään vetopyöriä (kuva 10.2, osakuva 1), jolloin nopeuden alenemista saadaan hidastetuksi tai mahdollisesti pystytään pitämään se vakiona. Tällöin toimitaan sähkömoottorin hyötysuhteella, joka on parhaimmillaan jopa 90 %:n suuruusluokkaa eli selvästi korkeampi kuin polttomoottorin hyötysuhde, joka yleensä on 10–30 %:n vaiheilla, ja jää optimitalanteissakin 40 %:n suuruusluokan tasolle.

Kuljettajan tulisi siis ainakin kaupunkinopeuksilla (enintään noin 60 km/h) pyrkiä maksimoimaan niiden jaksojen pituus, jolloin seuraavat kaksi ehtoa täyttyy: polttomoottori on sammuksissa ja regeneratiivista jarrutusta ei käytetä. Ajo voi olla joko vapaalla rullaamista (monitoiminäyttö ilman nuolia) tai kevyttä vedättämistä sähkömoottorilla (nuoli akuilta sähkömoottorin kautta vetopyörille). Jälkimmäisessä tapauksessa ajonopeuden aleneminen hidastuu tai poistuu kokonaan, joten moottorin käynnistämisen ja uuden kiihdytysjakson aloittamisen tarve lykkääntyy.

Pieniäkään nopeuksia ei välttämättä pystytä ylläpitämään kovin pitkään pelkän sähkömoottorin avulla ainakaan vastamässä. Polttomoottori nimittäin käynnistyy automaattisesti, jos vetopyörille tarvitaan enemmän tehoa kuin sähkömoottori ja akusto pystyvät sitä järkevästi tuottamaan. Tällainen tilanne voi tulla vastaan jo loivassakin vastamässä. Jos kuljettaja haluaa vielä venyttää polttomoottorin sammuksissa oloa, hänen tulee malttaa olla painamatta kaasupoljinta syvemmälle ja antaa nopeuden hieman hiipua. Kun ajonopeus

on sitten laskenut sen verran, että on pakko jälleen kiihdyttää, *kuljettaja painaa sopivasti kaasupoljinta, jolloin polttomoottori jälleen käynnistyy.*

Tällöin kuljettajan tulee pitää huoli siitä, että polttomoottorin kuormitustaso nousee heti käynnistymisen jälkeen riittävän korkeaksi, jotta se kävisi jälleen hyvällä hyötysuhteella. Tämä tietysti toteutuukin, jos ajonopeutta kiihdytetään ripeästi. Kiihdyttäminen tulee tehdä hieman suurempaan nopeuteen saakka kuin keskimääräinen tavoite-nopeus. Halutun nopeuden saavuttamisen jälkeen kuljettaja jälleen sammuttaa moottorin kaasupolkimen nostolla, painaa kaasua hieman uudelleen ja alkaa jälleen rullata tai vedättää kevyesti sähkömoottorilla edellä esitetyllä tavalla. Ajonopeudesta saattaa tulla hieman aaltoileva, mutta saavutettava polttoaineensäästö on merkittävä.

Polttomoottorin automaattiseen käynnistymiseen vaikuttaa tehontarpeen lisäksi myös hybridikun varaustila. Jos sähkömoottorilla ajamisen aikana hybridikun varaustaso laskee liian alas, polttomoottori käynnistyy automaattisesti, vaikka kuljettaja ei kaasupoljinta lisää painaisikaan. Moottorin käynnistyttyä kuljettajan kannattaa taas kuormittaa sitä riittävästi eli kiihdyttää ja antaa hybridikun samalla latautua, kunnes hän voi jälleen päästää kaasupolkimen, jolloin polttomoottori sammuu. Tämän jälkeen voidaan kaasua hieman painaen jälleen jatkaa ajoa jonkin matkaa pelkällä sähköllä.

Edellä kuvattua hybridillä ajamisen periaatetta kutsutaan jossain yhteydessä *pulse-and-glide*

tai *accelerate-and-coast* -ajotavaksi. Tällainen on tietysti mahdollinen vain, jos auto on sellainen, että sen moottori sammuu ja käynnistyy helposti tarpeen mukaan ajon aikana. Tämän ajotavan taloudellisuuden ovat osoittaneet muun muassa Pisaralla pisimmälle -taloudellisuusajokilpailut (Mileage Marathon tai Eco-Marathon), joissa ajetaan erikoisvalmisteisilla matalilla yhden hengen ”autoilla” tätä periaatetta noudattaen. Kulutustulokset ovat hämmästyttäviä: jopa 2500 km litralla polttoainetta!

Talviajon niksejä

Talviajossa hybridautojen talousoptimoituun ajamiseen erityisesti kaupunkiajossa liittyy myös lämmityslaitteen käyttö. Jos kuljettaja pyytää autoon lämpöä, kun polttomoottori on kylmä, *hybridijärjestelmän ohjauslogiikka ei anna polttomoottorin sammua*, vaikka ajotilanne sallisi sammuttamisen eli pelkän sähkömoottorin käytön. Polttomoottoria pidetään tällöin aina käynnissä, jotta se lämpenisi ja pystyisi tuottamaan lämpöä, jota auton matkustamoon pyydetään. Tänä aikana auto toimii huomattavasti epätaloudellisemmin kuin mihin hybriditekniikka parhaimmillaan pystyy.

Taloudellisin tapa käyttää Priuksen lämmityslaitetta kaupunkiajossa on se, että *lämpöä aletaan pyytää matkustamoon vasta sitten, kun moottori on lämmin*. Näin toimien varmistetaan se, että polttomoottoria ei käytetä vain lämmön tuottamisen takia, vaan sen käynnissä pitämisen kriteereinä säilyvät ainoastaan tehontarve ja hybridiakun varaus-tila eli auton liikuttamiseen liittyvät tekijät.

Täysin pois kytkettynä auton tuuletusjärjestelmää ei kuitenkaan yleensä voida pitää. Näkyvyyden varmistamiseksi on useimmiten syytä puhaltaa lämmittämätöntä ilmaa autoon. Tämä tapahtuu säätämällä auton sisätiloihin pyydetävä lämpötila minimiarvoonsa. Samalla täytyy varmistua siitä, että ilmastointilaitte eli koneellinen jäähdytys ei kytkeydy kasvattamaan kulutusta tarpeettomasti. Tavoitteenahan on puhaltaa autoon ulkoilman lämpöistä ilmaa pyrkimättä vaikuttamaan sen lämpötilaan.

Sisään puhallettavan ilman suuntaus on syytä valita siten, että se kohdistuu sekä tuulilasille että jalkatilaan. Jos valitaan puhallus pelkästään tuulilasille, lämmitysjärjestelmä saattaa tulkita, että huurteenpoistoa on tehostettava, jolloin se jälleen jättää polttomoottorin sammuttamatta.

Moottorin lämpenemisen jälkeen voidaan autoon tietysti pyytää lämpöä ilman pelkoa kulutuksen kasvamisesta, koska jo lämmenneestä moottorista otettava lämpö on ilmaista polttomoottorin hukkalämpöä. Moottorin lämpenemistä voidaan tietysti nopeuttaa hybrideissä kuten missä tahansa autossa esilämmittämällä moottori lohkolämmittimellä. Tätä mahdollisuutta kannattaa tietysti hyödyntää. Ladattavien hybridien kohdalla esilämmityksen tilanne saattaa olla toinen, koska moottoria ei välttämättä käynnistetä heti liikkeelle lähdeäessä. Tällöin esilämmitys valuisi hukkaan.

Erityisesti on syytä painottaa, että edellä esitetty sisälämmityksen rajoittaminen koskee vain kaupunkiajooja siihen saakka, kun polttomoottori on

lämmennyt. Maantiejossa, jolloin moottorin sammumisia tapahtuu harvemmin, lähinnä myötämäisissä, lämmön pyytämistä autoon sisälle ei tarvitse rajoittaa moottorin sammumisen varmistamiseksi, koska moottori olisi joka tapauksessa käynnissä suurimman osan aikaa pelkästään auton liikuttamisen takia.

Kaupunkiajossa kovilla pakkasilla polttomoottori saattaa käynnistyä sisätiloihin pyydettävän lämmön takia niissäkin tilanteissa, joissa lämpöä on alettu pyytää auton sisälle vasta moottorin lämmettyä. Jos polttomoottoria ei ole vähään aikaan tarvittu, koska on liikuttu pelkällä sähköllä, autoon puhallettava lämmitettävä ilma on jäähdyttänyt moottorin jäähdytysnestettä voimakkaasti. Tällöin jäähdytysnesteen lämpötila saattaa laskea niin alas, että moottori käynnistyy automaattisesti, vaikka auton liikuttaminen ei sitä edellyttäisi. Näin aiheutuvalta kulutuslisäältä voidaan välttyä pienentämällä sisään pyydettävää lämpötilaa joksikin aikaa heti, kun moottorin havaitaan käynnistyvän tästä syystä.

Lämmityksen käyttämättä jättämisestä ennen kuin polttomoottori on lämmennyt, aiheutuu pientä kulutussäästöä myös siksi, että tällöin moottori lämpenee nopeammin ja kylmäkäyntivaiheen aiheuttama kulutuslisä jää vähäisemmäksi. Tämä tietysti koskee hybridien lisäksi myös tavanomaisia polttomoottoriautoja.

Sisätilan lämmityksen käyttämättä jättämisestä ei kaupunkiajossa aiheudu matkustajille kohtuutonta haittaa, koska *kaupunkiajojaksot ovat*

yleensä melko lyhyitä. Näin ollen matkustajat pääsevät lämpimiin sisätiloihin yleensä verrattain nopeasti. Myös oikea pukeutuminen ja asennoituminen vaikuttavat asiaan.

Muita sisätilojen lämmittämättömyydestä koituvia hyötyjä lyhyillä ajomatkoilla on käsitelty edellä luvussa 8.15.

Yhteenveto ja pohdinta Toyotan hybriditekniikan hyödyntämisestä kaupunkiajossa

Kuljettajan kannattaa kaupunkiajossa kiihdyttää hybridiautoa ripeästi kuvan 10.2 osakuvakkeiden 4 tai 5 mukaisesti. Erityisesti kuvakkeen 5 tilanne näyttää hyvältä, koska hetkellinen kulutuslukema on korkea, mikä takaa sen, että moottorin kuormitusaste on riittävä hyvän hyötysuhteen saavuttamiseksi.

Myös osakuvakkeen 6 tilannetta, jossa akkua ei ladata eikä pureta, on mahdollista käyttää kiihdyttäessä. Sen sijaan kuvakkeen 7 tilannetta tulisi välttää, jotta hybridiakku ei purkautuisi kiihdytyksen aikana. Tarkoituksenahan on kiihdytyksen aikana ladata sähköenergiaa, jotta kiihdytyksen jälkeistä pelkällä sähköllä ajettavaa vakionopeusjaksoa voitaisiin venyttää mahdollisimman pitkäksi.

Kuljettajan tulisi ajaa muut ajotilanteet kuin kiihdytysjaksot ja mäennousut niin paljon kuin suinkin osakuvakkeiden 3 tai 1 mukaisesti. Tämä tapahtuu keventämällä kaasupoljinta kiihdytyksen jälkeen sopivasti, jolloin polttomoottori sammuu.

Tämän jälkeen kaasupoljinta painetaan hieman, jotta regeneratiivinen sähkömoottorijarrutus ei käynnisty vaan auton liike-energia säilyy mahdollisimman hyvin.

Niin nurinkuriselta ja ristiriitaiselta kuin asia kuulostaakin, hybridauton ehkä tärkeimpänä pidetyn kulutuksenparantamisvaltin eli regeneratiivisen jarrutuksen käyttöä *kannattaa välttää* niin paljon kuin suinkin. Regeneraation käyttämisen asemesta tulisi pyrkiä rullaamaan mahdollisimman paljon moottori sammuksissa siten, että *regeneratiivinen jarrutus ei puutu peliin*. Toki usein joudutaan liikennetilanteisiin, joissa nopeutta on hidastettava nopeammin kuin vapaalla rullaten. Tällöin tietysti regeneraation olemassaolo antaa kulutushyötyä.

Todettakoon vielä, että ei-hybridautolla pitkäkestoista vapaalla rullaamista pienillä ajonopeuksilla ei voida suositella, koska tällaisessa autossa polttomoottori hybridistä poiketen käy ja kuluttaa polttoainetta rullauksenkin aikana. Jos normaali-autolla rullataan vapaalla hyvin pienillä ajonopeuksilla, rullausaika muodostuu pitkäksi, jolloin joutokäyntikulutus voi muodostua suuremmaksi kuin rullaamalla saatu hyöty. Tätä vaaraa ei moottorinsa sammuttavassa hybridautossa tietenkään ole, vaan mitä pitemmälle rullataan moottori sammuksissa, sitä suurempi kulutushyöty saadaan.

Mainittakoon vielä moderneista ei-hybridautoista, että ne toki katkaisevat useimmiten polttoaineensyötön, kun kaasupoljin vapautetaan kokonaan. Näissä tilanteissa hetkellinen kulutus on nolla kuten hybridissäkin. Syötön katkaisu ei kui-



tenkaan välttämättä tuota polttoaineensäätöä, koska samalla on käytössä moottorijarrutus, joka hävittää voimakkaasti auton liike-energiaa. Tässä suhteessa hybridauton polttoainetta kuluttamaton ajotilanne on taloudellisempi, koska auton liike-energia pystytään regeneraatiota välttäen hyödyntämään kokonaisuudessaan, vaikka kulutus on täysin nollassa.

Talviajossa Prius antaa täyden taloudellisuushyödyn pysähtelevässä kaupunkiajossa silloin, kun autoon pyydetään lämpöä vasta sen jälkeen, kun moottori on lämmennyt.

TÄSTÄ ON KYSYMYS

- ☛ Polttomoottoria kannattaa pyrkiä käyttämään joko korkeasti kuormitettuna eli hyvällä hyötysuhteella tai sammuttaa se kokonaan. Sammuttaminen onnistuu sopivalla kaasupolkimen keventämisellä. Energian virtaussuuntia esittävää näyttöä kannattaa hyödyntää hybridijärjestelmän tilan havainnoimiseksi.
- ☛ Pienimpään kulutukseen päästään, kun vältetään regeneratiivisen jarrutuksen käyttöä ja rullataan mahdollisimman paljon ”vapaalla”.
- ☛ Kiihdytyksissä kaasupoljinta painetaan runsaanpuoleisesti siten, että kierrokset eivät kasva liiaksi ja energiansuuntanuoli näytöllä osoittaa sähkömoottorista akustolle päin.
- ☛ Halutun nopeuden saavuttamisen jälkeen kaasupoljinta kevennetään, jolloin polttomoottori sammuu. Sen jälkeen painetaan heti kaasua sopivasti, jotta regeneratiivinen jarrutus ei aktivoitu, ja jotta saadaan auto rullaamaan ”vapaalla”. Tästä voidaan varmistua, kun vetopyöriltä sähkömoottoriin suuntaan osoittava nuoli sammuu.
- ☛ Tämän jälkeen voidaan kaasupoljinta painaa varovasti lisää, jotta saadaan sähkömoottori ylläpitämään auton nopeutta. Tarkoituksena on ajaa pelkällä sähköllä mahdollisimman pitkälle senkin uhalla, että ajonopeus hieman hiipuu.
- ☛ Kun ajonopeus alkaa laskea liiaksi, polttomoottori käynnistetään painamalla kaasupoljinta syvemmälle. Moottori voi käynnistyä myös automaattisesti ilman kaasun lisäystäkin. Käynnistymisen jälkeen moottoria kuormitetaan jälleen runsaasti, eli kiihdytetään nopeus ripeästi riittävän suureksi, jonka jälkeen voidaan taas kaasupolkimen keventämisen ja sopivan uudelleen painamisen avulla alkaa jälleen rullata ikään kuin vaihde vapaalla moottorin pysyessä sammuksissa.
- ☛ Tällaista ajoa nimitetään toisinaan *pulse-and-glide*- tai *accelerate-and-coast* -ajotavaksi.
- ☛ Maksimaaliseen taloudellisuuteen pyrittäessä autoon sisään ei pyydetä kaupunkiajossa lämpöä ennen kuin moottori on lämmennyt. Muutoin moottori käy vain lämmön tuottamiseksi, vaikka sitä ei tarvittaisi auton liikuttamiseen.

10.5 KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSIA HYBRIDIAUTOSTA

Kirjoittajan perheessä on ollut hybridauto syksystä 2006 lähtien. Vuoden 2013 syksyyn mennessä ajoa on kertynyt 153 000 km. Koko ajan auto on toiminut moitteitta, eikä sen ylläpitoon ole tarvinnut kiinnittää huomiota normaalien huoltokäyntien lisäksi. Ennako-oletus hybridistä oli, että pitkille matkoille ja/tai kylmissä olosuhteissa käyttöön tulisi valikoitumaan perheen perinteinen bensiinikäyttöinen auto. Tämä käsitys osoitautui vääräksi. Perheen kaikenlaiset ajot kaikissa olosuhteissa on ajettu suurimmalta osin hybridillä peräkärryn vetämistä lukuun ottamatta.

Hybridin huoltokustannukset ovat olleet samat kuin tavallisessa autossa. Toimintavarmuuden lisäksi käytön vaivattomuutta on lisännyt harva tankkauksen tarve. Koko käyttöaikana keskimääräinen tankkausväli on ollut hieman yli 1000 km. Pisin tankillisella ajettu matka on ollut 1310 km. Pienin normaalin sekalaisen ajon tankkausvälin kulutus on ollut 4,1 l/100 km. Keskusteluissa bensiinihybridin kulutusta usein verrataan dieseliin. Täytyy muistaa, että diesellitrassa on noin 13 % enemmän energiaa kuin bensiinilitrassa. Bensiinimäärää 4,1 l vastaava dieselmäärä on siis vain runsaat 3,6 l.

Sähkö- ja polttomoottorin saumaton yhteistoiminta on käytössä vakuuttanut. Erityisesti polttomoottorin sammuksissa oleminen lukuisissa ajotilanteissa on osoittanut sekä hyödyllisyytensä että miellyttävyytensä.

Esimerkiksi ruuhkassa ajaminen ja varsinkin pai-

kallaan seisomaan joutuminen on hybridillä osoitautunut tavallista autoa vähemmän turhauttavaksi: harmistuminen vähenee selvästi, kun moottori ei anna ääntä eikä värähtelyä eikä muistuta koko ajan siitä, että ”ajamaanhan tänne on tultu eikä paikallaan seisomaan!” Samoin mieltä ilahduttaa se, että polttoainetta ei kulu hukkaan auton seisotessa paikallaan.

Henkilökohtaisten hybridikokemusten myötä entistäkin konkreettisemmaksi on omassa mielessä noussut kysymys: Miksi huonolla hyötysuhteella toimivaa polttomoottoria tulisi pitää käynnissä silloin, kun sitä ei oikeasti tarvita? Tällaisia tilanteita on normaaliajossa loppujen lopuksi yllättävän paljon. Moottoriahan ei tarvita jyrkässä myötämaässä, nopeutta hidastettaessa, eikä itsestään selvästi tietenkään auton seistessä paikallaan. Leikkimielisesti tekeekin mieli sanoa, että *kaikki autot, joissa moottori käy tarpeettomasti, joutaisi vievä oikopäätä tekniikan museoon!*

Koko käyttöajan tankkauksiin perustuva keskimääräinen kulutus on ollut hieman alle 4,9 l/100 km (153 350 km ja 7455 litraa). Tämä on pieni lukema automaattivaihteisen tapaan toimivalle autolle, jonka kokoluokka riittää varauksin taksi-käyttöönkin ja josta ei tarvitse maksaa käyttövoimaveroa. Kulutuksessa on mukana kaikenlainen käyttö, johon kuuluvat sekä kesä- että talviajot, samoin kuin lyhyet ja pitkät matkat. Ajotietokoneen on havaittu näyttävän vajaan 2 % tankkauksiin perustuvia pienempiä lukemia, mikä on verrattain pieni ”kotiinpäinveto”. Kirjoittajan kokemuksen mukaan ajotietokoneen näyttämä saattaa joissa-

kin autoissa olla jopa 6–7 % todellista pienempi.

Jos mukaan otettaisiin vain kesäajat, koko käyttöajan kulutuslukema olisi n. 4.7 l/100 km. Autoa on ajanut lähinnä kirjoittaja, jonkin verran myös puoliso. Lohkolämmitintä on käytetty, ja autoa on suurelta osin säilytetty +10 °C:n lämpöisessä tallissa. Kumulatiivinen polttoaineenkulutuskäyrä 153 350 km:n matkalta aikavälillä 6.9.2006–8.9.2013 on esitetty kuvassa 10.3.

Kuvasta havaitaan, että taloudellisen ajamisen sekä

hybriditekniiikan optimaalisen hyödyntämisen opettelu myötä kulutus on vähentynyt selvästi. Uuden auton sisäänajovaiheessa erityiseen säästöajoon ei pyritty, eikä sitä silloin vielä osattukaan. Normaaliajossa saavutettavissa oleva minimitaso on ilmeisesti jo lähes saavutettu, koska kulutuskuvaaja on viime aikoina laskenut enää erittäin loivasti. Kulutuskäyrästä näky myös vuodenaikavaihtelu: talviaikoina kulutus on hieman noussut ja laskenut jälleen kesää kohti siirryttäessä.



Kuva 10.3 Kirjoittajan kulutuskirjanpidon mukainen kumulatiivinen polttoaineen kulutus hybridautolla 153 350 km:n matkalla tasan 7 vuodenaikana.

"Miksi huonolla hyötysuhteella toimivaa polttomoottoria tulisi pitää käynnissä silloin, kun sitä ei oikeasti tarvita?"



11 TALOUDELLISEN AJOTAVAN MAHDOLLISTAMA SÄÄSTÖ

Järjestelmällinen taloudellisen ajon koulutus sekä asennekasvatus mahdollistavat merkittävät hyödyt. Saavutettavissa oleva polttoaineensäästö ja CO₂-päästövähennys voidaan arvioida laskennallisesti.

II TALOUDELLISEN AJOTAVAN MAHDOLLISTAMA SÄÄSTÖ

Sen lisäksi, että taloudellisen ajotavan noudattaminen tuottaa selviä säästöjä auton käyttäjälle, se mahdollistaa myös valtakunnallisesti merkittävän polttoaineen ja rahan säästön sekä CO₂-päästöjen vähenemisen. Polttoaineen säästö *vähentää tuontienergian tarvetta* eli on hyödyllistä myös kauppataseen kannalta. CO₂-vähenemä puolestaan *helpottaa Suomelle asetettujen kansainvälisten kasvihuonepäästövähenemistavoitteiden saavuttamista*.

Ajotavan muutoksilla aikaansaataava vuotuista valtakunnallista säästöpotentiaalia arvioitaessa otettiin huomioon aiemmin käsitellyt polttoainekulutukseen vaikuttavien lukuisten tekijöiden vaikutukset. Lisäksi hyödynnettiin tietoa siitä, että laajan havaintomateriaalin perusteella *taloudellisuusajokoulutus saa aikaan henkilöautoilla kaupunkityyppisessä ajossa keskimäärin 20 %:n polttoaineensäästön*.

Ajotapakoulutuksella saavutettu säästö vaihtelee eri kuljettajilla. Vaihteluväli on tyypillisesti 10–40 %. Suuri säästöprosentti on tietenkin tavoittelemisen arvoinen, mutta tässä yhteydessä ei voida sanoa, että suurimpaan säästöön yltäneet olisivat parhaita kuljettajia, koska suurimpiin säästöprosentteihin on syynä kaikkein epätaloudellisin ajotapa ennen koulutusta.

Seuraavassa esitettävää polttoaineensäästö- ja päästövähennäpotentiaalia laskettaessa otettiin

huomioon taloudellisuusajokoulutuksen aikaansaaman säästön (20 %) lisäksi vuoden 2011 toteutuneet tilastoluvut moottoribensiiniin ja diesel-polttoaineen myynnistä Suomessa.

Laadittujen kahden skenaarion lähtökohtana oli olettaus, että puolet suomalaisista ajokortinhaltijoista koulutettaisiin taloudelliseen ajamiseen. Minimiskenaarion mukaan joka neljäs koulutettu eli joka kahdeksas ajokortin haltija olisi motivoitunut noudattamaan saamiaan taloudellisen ajamisen oppeja pysyvästi. Maksimiskenaariossa taloudellista ajotapaa pysyvästi noudattavien osuudeksi arvioitiin puolet koulutetuista eli neljäsosa kaikista kuljettajista.

II.1 BENSIINIAUTOT

Taloudellisuusajokoulutus antaa tyypillisesti kaupunkiajossa suuremman hyödyn kuin maantiellä. Tämä aiheutuu siitä, että kaupunkiajossa ajotapa vaikuttaa kulutukseen enemmän kuin maantiellä. Kaupunkiajossa esimerkiksi ennakoinnilla eli hidastusten välttämällä on suurempi merkitys kuin maantiellä. Maantieajossa säästökeinoiksi jäävät lähinnä ajonopeuksien järkevä valinta sekä riittävän suurten vaihteiden käyttö.

Tämän päättelyn perusteella keskimääräiseksi taloudellisuusajokoulutuksen aikaansaamaksi



”Sen lisäksi, että taloudellisen ajotavan noudattaminen tuottaa selviä säästöjä auton käyttäjälle, se mahdollistaa myös valtakunnallisesti merkittävän polttoaineen ja rahan säästön sekä CO₂-päästöjen vähenemisen.”

säästökseen maantiejossa arvioitiin 10 %, joka on puolet kaupunkiajon säästöstä. Kaupunki- ja maantiejon osuudet arvioitiin tyypillisessä bensiinihenkilöauton käytössä keskimäärin yhtä suuriksi, jolloin päädyttiin arvioon, että *taloudellisuusajokoulutus antaa henkilöautoilla keskimäärin 15 %:n polttoaineensäästön* sekalaisessa sekä kaupunki- että maantiejosta koostuvassa ajossa.

Lisäksi otettiin huomioon jo mainitut oletukset, että joka toinen kuljettaja koulutettaisiin, ja että minimissään joka neljäs koulutettu (joka kahdeksas ajokortin haltija) ja maksimissaan joka toinen koulutettu (joka neljäs ajokortin haltija) noudattaisi saamiaan oppeja pysyvästi. Näin päästiin minimiskenaariossa säästöpotentiaaliin $15\% / 8 = 1.875\%$ ja maksimiskenaariossa vastaavasti arvoon $15\% / 4 = 3.75\%$ toteutuneesta bensiinin myynnistä.

Suomessa myytiin Öljyalan keskusliiton tilastojen mukaan moottoribensiiniä v. 2011 noin 2.16 miljoonaa m³. Edellä kuvatuin perustein arvioitu maksimisäästö eli 3.75 % tästä on noin 81 000 m³. Bensiinin hinnalla 1.70 €/l laskettuna tämä vastaa rahamäärää noin 138 milj. euroa. Kauppataseen kannalta säästö on kuitenkin tätä pienempi, koska polttoaineen pumppuhinnasta lähes puolet on veroa, ja verottomasta hinnastakin osa on tuotteelle Suomessa raakaöljyn jalostuksen muodossa tuotettua lisäarvoa.

Vastaava CO₂-päästövähennys olisi noin 190 000 tonnia (laskettuna luvussa 2.2 määritellyllä bensiinistä syntyvällä CO₂-päästöllä 2 350 g poltettua litraa kohti).

Sekä minimi- että maksimiskenaarion mukaiset bensiinautoille arvioidut säästöt on esitetty taulukon 11.1 ylimmällä rivillä.

11.2 DIESELAUTOT

Päinvastoin kuin bensiinin kohdalla, osa diesel-polttoaineesta kulutetaan raskaissa ajoneuvoissa. Tämä täytyy ottaa huomioon diesel-polttoaineen säästöpotentiaalia arvioitaessa. Raskaassa ajoneuvokalustossa ajotavan muutoksilla aikaansaattava säästöpotentiaali on henkilöautoja pienempi muun muassa siksi, että raskaan liikenteen polttoaineesta suhteellisesti suurempi osa kulutetaan maantiellä, jossa ajotapamuutoksilla saavutettava polttoaineensäästö on pienempi kuin kaupungissa.

Raskaiden dieselautojen säästöpotentiaalin arvioitiin olevan puolet siitä mitä henkilöautojen eli 7.5 %. Dieselhenkilöautojen säästöpotentiaaliksi arvioitiin 15 % bensiinihenkilöautojen tapaan. Kun dieselhenkilöautojen säästöpotentiaali yhdistettiin raskaan kaluston lukemaan, päädyttiin *kaikille dieselautoille yhteisarvioon 10 %*, joka on alle em. lukujen keskiarvon, koska diesel-polttoaineesta arvioitiin kulutettavan enemmän kuin puolet raskaissa ajoneuvoissa (tilastotietoa diesel-polttoaineen käytön jakaumasta eri ajoneuvotyyppien välillä ei ole saatavissa).

Kun otetaan jälleen huomioon se, että vain osa ajokortin haltijoista on halukas noudattamaan taloudellisen ajamisen oppeja pysyvästi, arvioiksi pysyvästä diesel-polttoaineensäästöstä saadaan minimiskenaari-

riossa 1.25 % ja maksimiskenaariossa 2.50 % toteutuneesta dieselpolttoaineen myynnistä.

Dieselpolttoaineen kulutus v. 2011 oli noin 2.87 miljoonaa m³. Tästä 2.5 %:n osuus eli maksimisäästöpotentiaali on noin 72 000 m³. Dieselpolttoaineen hinnalla 1.55 €/l määrä vastaa noin 112 miljoonaa euroa.

Vastaava CO₂-päästövähennä on noin 190 000 tonnia (laskettuna luvussa 2.2 määritellyllä dieselistä syntyvällä CO₂-päästöllä 2 650 g poltettua litraa kohti).

Sekä minimi- että maksimiskenaarion mukaiset dieselautoille arvioidut säästöt on esitetty taulukon 11.1 keskimmaisella rivillä.

11.3 KOKONAISÄÄSTÖT

Bensiini- ja dieselmoottoristen autojen kokonaissäästökseen saadaan maksimiskenaariossa noin 153 000 m³ polttoainetta, 250 milj. euroa rahaa ja noin 380 000 tonnia CO₂:ta. Minimiskenaarion summat ovat vastaavasti puolet näistä.

Arvioidut bensiini- ja dieselautojen yhteiset kokonaissäästöt on esitetty taulukon 11.1 alimmalla rivillä.

On mielenkiintoista havaita, että arvioitu vuosittainen CO₂-päästövähennä on bensiini- ja dieselautoille samansuuruinen, vaikka dieselille arvioitu säästöprosentti on pienempi. Tämä johtuu siitä, että dieselä on kulutettu enemmän kuin bensiiniä.

Taulukko 11.1 Taloudellisen ajotavan mahdollistamien säästöjen minimi- ja maksimiskenaarit bensiini- ja dieselautoissa sekä molemmissa yhteensä.

Polttoaine	Koulutuksen säästövaikutus [%]	Kulutettu määrä v. 2011 [milj. m ³]	Säästöpotentiaali [%]		Vuosit. polttoaineen säästö [m ³]		Vuosit. rahansäästö [milj. €]		Vuosit. CO ₂ -vähenemä [t]	
			Min	Maks.	Min	Maks.	Min	Maks.	Min	Maks.
Bensiini	15	2.16	1.875	3.75	40 500	81 000	69	138	95 000	190 000
Diesel	10	2.87	1.25	2.50	36 000	72 000	56	112	95 000	190 000
Yht	-	5.03	-	-	76 500	153 000	125	250	190 000	380 000

niä. Viime vuosien liikennepolttoaineiden käytön trendinä on ollut dieselin osuuden kasvu bensiiniin nähden.

Koska bensiinin ja dieselin määrät on ilmoitettu tilavuutena, kuluttajien määrien välinen ero on numeroarvoina pienempi kuin niiden välinen

energiasältöero. Massan ja energiasällön mukaan laskettuna dieseliä on kulutettu v. 2011 noin 1.5-kertainen määrä bensiiniin nähden. Koska bensiiniautoille arvioitu polttoaineensäästöpotentiaali on 1.5-kertainen dieselautoihin nähden, CO₂-vähennyspotentiaalini täytyykin olla molemmilla polttoaineilla sama.



12 YHTEENVETO

12 YHTEENVETO

Ajoneuvojen energiankäyttöä tulisi vähentää, koska fossiilisen hiilen polttamisella on suora yhteys CO_2 -päästöön ja ilmastomuutokseen. Energiatehokkuuteen kannustaa myös öljyriippuvuus, raakaöljyvarojen rajallisuus sekä nouseva öljytuotteiden hinta.

Kirjassa on analysoitu henkilöauton energiantarpeen jakautumista sekä siihen vaikuttavia tekijöitä, jotka riippuvat ajoneuvosta, kuljettajasta sekä ajo-olosuhteista. Kukin mainituista kolmesta päätekijästä jakaantuu lukuisiin yksittäistekijöihin, joista kunkin painoarvoa kokonaisuudelle samoin kuin kulutuksen minimointimahdollisuuksia tutkittiin ja jäsenneltiin monista eri näkökulmista.

Tarkastelun ja esimerkkilaskelmien taustalla on kirjoittajan laatima laskentasimulaatio, jonka avulla voidaan määrittää auton vetopyöriltä tarvittava energia (työ) erilaisille autoille niitä eri tavoin käytettäessä. Tarvittavan energian sekä hyötysuhteiden perusteella on mahdollista määrittää ajosuorituksen polttoaineenkulutus laskennallisesti sekä tarkastella ajoneuvon ominaisuuksien sekä muiden muuttujien vaikutusta siihen.

Laskentasimulaation avulla selvitettiin erityisesti ajoneuvon kuljettajan eri toimintatapojen vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Laaditussa

taloudellisen ajamisen ohjeistuksessa pyrittiin tuomaan esille kunkin ajotapaan liittyvän säästöä aiheuttavan tekijän syyt, perusteet ja suuruusluokat, jotta taloudelliseen ajamiseen perehtymisen ei tarvitsisi perustua mekanistiseen ulkoa opetettuun vaan syy-seuraussuhteiden ymmärtämiseen.

Ohjeistuksessa käsitellään kulutuksen minimointia seuraavien kuljettajan vaikutusmahdollisuuksien piirissä olevien tekijöiden kannalta: Liikennetilanteiden ennakointi, ajonopeus, vaihteiden käyttö, kiihdytystapa, hidastustapa, vieriävästävyyden vaikuttaminen, ajoreitin valinta, ajoajankohdan valinta, joutokäynti, kylmäkäynnistykset, auton massan ja liikkeen hyödyntäminen, tuulen huomioonottaminen, moottorilämmittimen käyttö, auton apulaitteiden sekä auton lämmityslaitteen käyttö.

Jokaisen kuljettajasta riippuvan tekijän kohdalla annetaan ohjeet siitä, kuinka tulee toimia, jotta pienimpään mahdolliseen polttoaineenkulutukseen päästäisiin. Kirjan lukujen lopussa käytännön ohjeet ja periaatteet on tiivistetty Tästä on kysymys -tekstilaatikkoon.

Ajo-olosuhteisiin liittyvistä tekijöistä tarkastelun kohteina olivat ajoreitin pysähtymistarpeet, tuulen nopeus ja suunta, kyydissä oleva kuorma, maan-

pinnan topografia, tien pinta, kylmäkäynnistyslämpötila, liikenneympäristön suunnittelu sekä ilman lämpötila ja paine. Nämä vaikuttavat kulutukseen merkittävästi auton ja ajotavan lisäksi.

Taloudellisuusajokoulutuksen polttoaineensäästöksi kaupunkityyppisessä ajossa on suurilla kuljettajamäärillä saatu henkilöautoilla keskimäärin 20 %. Sekä kaupunki- että maantieajoa sisältävän sekalaisen henkilöautolla ajon keskimääräiseksi säästöpotentiaaliksi arvioitiin 15 %. Kaikkien dieselautojen vastaavaksi luvuksi arvioitiin 10 %, koska suurin osa dieselpolttoaineesta kulutetaan raskaissa ajoneuvoissa.

Laadituissa valtakunnallisissa kulutusvähennysskenaarioissa oletettiin, että puolet ajokortin haltijoista koulutettaisiin ja vähintään joka neljäs ja enintään joka toinen koulutettu olisi motivoitunut noudattamaan taloudellisuusoppeja pysyvästi.

Taloudellisuusajokoulutuksen aikaansaama polttoaineen vuotuinen valtakunnallinen vähennyspotentiaali voisi olla 76 500–153 000 m³. Vastaavasti CO₂-päästöjen vuotuinen vähennyspotentiaali voisi olla 190 000–380 000 tonnia.

KUVALÄHTEET

ATZ/MTZ 2003.

Automobiltechnische Zeitschrift und Motortechnische Zeitschrift, Sonderausgabe: Der Neue Golf, Oktober 2003. Wiesbaden: Springer Automotive Media.

Gillespie T. 1992. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale, Pennsylvania: SAE International.

Heissing B. & Ersoy M. (Editors) 2011. Chassis Handbook. Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

Miller J. 2005. Comparative Assessment of Hybrid Vehicle Power Split Transmissions. 4th VI Winter Workshop Series. University of Michigan–Dearborn, College of Engineering and Computer Science, Dearborn MI.

LIITE I: Virallinen EU-normisykli ja virallisten kulutuslukemien vastaavuus käytäntöön

Uuden automallin tyyppihyväksyntävaatimukseen kuuluu pakokaasu- ja polttoaineenkulutusmittaus. Mittauksessa testattavalla autolla ajetaan testausnormin mukainen ajosykli mm. lämpötilaltaan ja ilmankosteudeltaan vakioituissa laboratorio-olosuhteissa.

Laboratorio-olosuhteissa *pystytään eliminoimaan monet häiriötekijät*, jotka vaikuttavat kulutukseen maantiellä. Laboratoriossa voidaan suorittaa kokeita toistettavasti muun liikenteen tai sää- ja keliolosuhteiden häiritsemättä. Toisaalta, jos halutaan tutkimusmielessä mitata jonkin tietyn muutoksen vaikutusta kulutukseen tai päästöihin, tämä on parhaiten mahdollista laboratorio-olosuhteissa, jotka mahdollistavat vain yhden asian varioinnin kerrallaan.

Päästö- ja kulutustestaus käytännössä

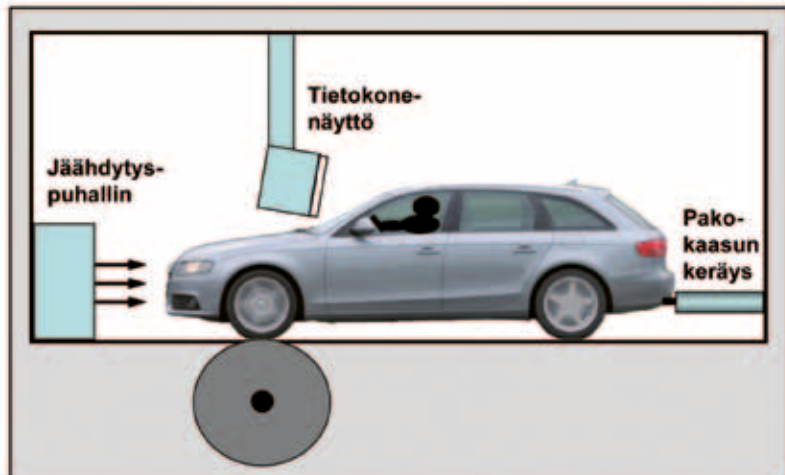
Testitilanteessa ajaminen tapahtuu maantietä simuloivien rullien päällä eli ns. *alustadynamometrillä* (kuva 1). Alustadynamometriin säädetään automallikohtaiset ajovastukset, jotta moottoriin kohdistuisi testissä sama kuormitus kuin maantiellä.

Ajovastusvoima ilmoitetaan tyyppillisesti ajonopeudesta riippuvan

vastusvoimayhtälön $F(v) = F_0 + F_1 \cdot v + F_2 \cdot v^2$ muodossa. Tekijät F_0 , F_1 ja F_2 ovat ajovastusyhtälön kertoimet ja v on ajonopeus. Kertoimien avulla määrittyvät nopeudesta riippumaton, nopeudesta suoraan sekä nopeuden toisesta potenssista riippuva ajovastusvoiman komponentti. Kertoimien suuruus määrittää kokonaisajovastusvoiman ajonopeuden funktiona (kuvan 4.5 punainen käyrä). Myös auton massan tulee olla tiedossa, jotta dynamometri osaa ottaa inertiaivaikutuksen huomioon ajonopeuden muuttuessa.

Testitilanteessa simuloidaan auton massaa *pelkän kuljettajan kanssa*. Todellisuudessa autossa on usein enemmän kuormaa, mikä kasvattaa käytännön kulutusta.

Kuva 1. Alustadynamometriajon periaate

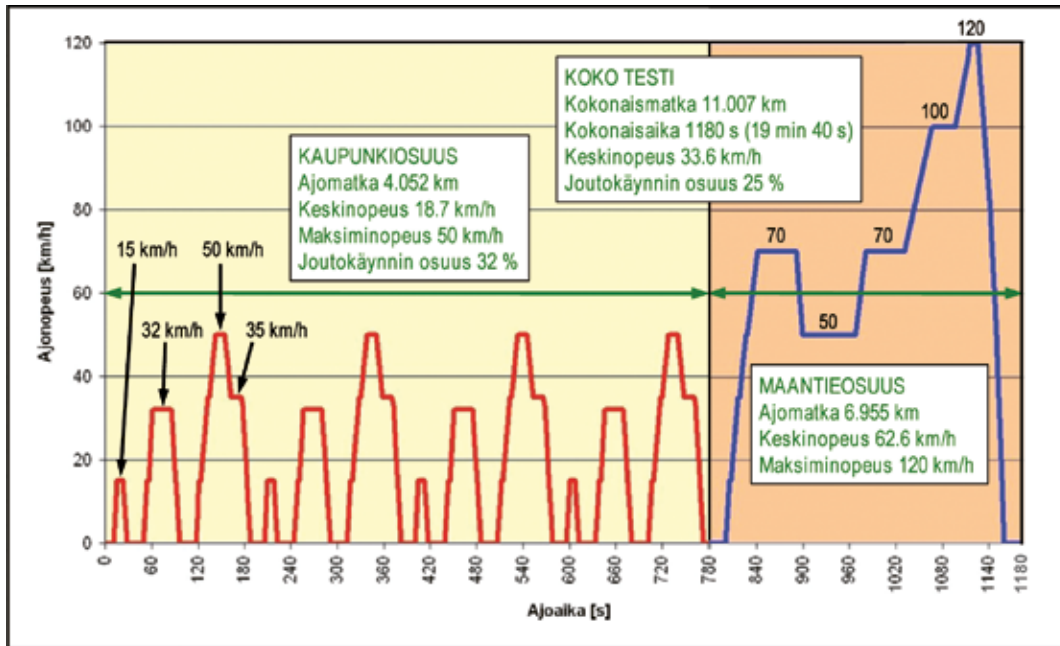


Testitilanteessa autoa ajava kuljettaja seuraa tietokonenäytössä näkyvää ajo-ohjelmaa (ajosykliä). Hän valitsee ajonopeuden sekä kullakin hetkellä käytettävän vaihteen näytön antamien ohjeiden mukaan.

Virallinen EU-testisykli (kuva 2) koostuu kaupunki- ja maantieajoa simuloivista osuuksista. Kaupunkiosuuden kesto on 400 s, maantieosuuden 780 s, joten koko testin kesto on 1180 s (19 min 40 s). Kokonaisajomatka on 11.007 km. Testin nopeuskäyrä on kuin viivoittimella piirretty sisältäen vakiokiihtyvyy-, vakionopeus- ja vakiohidastuvuusjaksoja.

Testin aikana pakokaasut mitataan, ja koska käytettävän erityisen testipolttoaineen koostumus tunnetaan tarkalleen, polttoaineenkulutus määritetään syntyneistä päästöistä laskennallisesti. Polttoaineenkulutusta ei siis varsinaisesti mitata, vaan kulutustulokset perustuvat päästömittauksen tuloksiin perustuvaan laskentaan.

Testituloksina ilmoitetaan säännellyt pakokaasupäästöt (CO, HC, NO_x ja dieselistä lisäksi partikkelit) sekä hiilidioksidipäästö koko testin matkalta. Tulokset ilmoitetaan yksikössä g/km. Lisäksi ilmoitetaan polttoaineenkulutus, joka määritetään kaupunki- ja maantieosuuksilta erikseen sekä koko



Kuva 2. Virallinen EU-ajosykli pakokaasupäästöjen ja kulutuksen määrittämiseksi.

testin ajalta ns. yhdistettynä kulutuslukemana. Kulutustulokset ilmoitetaan yksikössä l/100 km.

Kaupunkiajo-osuudessa auto lähtee paikaltaan liikkeelle kaikkiaan 12 kertaa, ja osuuden alun ja lopun lisäksi se sisältää 11 joutokäyntijaksoa. Joutokäynnin (auton paikallaan olon) osuus kaupunkiosuuden ajasta on 32 %. Käytettävä maksiminopeus on 50 km/h. Muut käytettävät vakionopeudet ovat 15 km/h, 32 km /h ja 35 km/h.

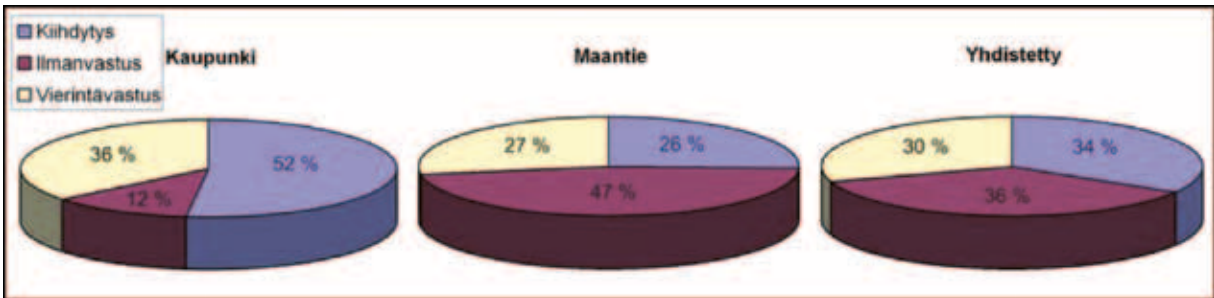
Heti kaupunkiosuuden jälkeen ajettava maantieajo-osuus ei sisällä pysähdyksiä. Käytettävät vakionopeustasot ovat 70 km/h, 50 km/h, uudelleen 70 km/h, 100 km/h ja 120 km/h. Suurinta nopeutta käytetään vain 10 sekunnin ajan.

Koska testissä ei pyritä simuloimaan vasta- tai myötämäkiajoa, testin aikana vallitsevat ajovastuslajit ovat kiihdytys-, ilman- ja vierintävastus. Näiden keskinäiset suhteet poikkeavat toisistaan selvästi kaupunki- ja maantieosuuksilla.

Eri vastuslajien määräsuhteet selvitettiin laske- malla eri vastuksien voittamiseen vetopyöriltä tarvittava energia VW Golfiin viidennelle malli- sukupolvelle (2003–2008). Osoittautui, että EU- normitestin kaupunkiosuudessa tarvittavasta vetopyöräenergiasta kiihdyttämisen kuluu 52 %, ilmanvastukseen 12 % ja vierintävastukseen 36 % (kuva 3).

Kiihdytyksen osuus on yli puolet kaupunkiosuu- den kokonaisenergiasta. Vierintävastuksen osuus on yli kolmannes, ja se on kolminkertainen ilman- vastukseen nähden. Runsaan kiihdytysenergian tarpeen takana ovat lukuisat kiihdytysjaksot, ja ilmanvastuksen pienen osuuden selittäväksi tekijänä ovat pienet ajonopeudet.

Maantieosuudessa kiihdytyksen osuus (26 %) on enää suunnilleen neljännes. Vierintävastuksen osuus (27 %) on tämän kanssa samaa suuruus- luokkaa. Sen sijaan ilmanvastuksen osuus on suuri, melkein puolet (47 %) kokonaisvastuksista. Ajo-



Kuva 3. Kiihdytys-, ilman- ja nousuvastuksen jakauma normitestissä VW Golfilla.

nopeuden merkitys ilmastuksen kasvattajana nousee siis selvästi esille.

Koko testissä eli yhdistetyissä tuloksissa kaikkien kolmen vastuslajin osuudet ovat melko lähellä toisiaan. Pienimmäksi jää vierintävastus (30 %). Sitä hieman suurempi on kiihdytysvastuksen osuus (34 %) ja suurimman osan vastuksista muodostaa ilmanvastus (36 %). Jakauma on kuitenkin melko tasainen.

Yleisesti ottaen kaikki kolme vastuslajia ovat henkilöautoilla suunnilleen yhtä merkityksellisiä koko runsaan 11 km:n testimatkaa tarkasteltaessa. Jos Golfille tehty laskelma olisi tehty koriltaan pitempiperäiselle ilmanvastuksellisesti edullisemmalle, mutta samanpainoiselle autolle, pienempi ilmanvastuskerroin olisi alentanut ilmanvastuksen osuutta, jolloin vierintävastuksen osuus olisi vastaavasti kasvanut. Tällaisella autolla oltaisiin Golfiakin lähempänä tasakolmanneksiin jakautunutta energiatarvetta.

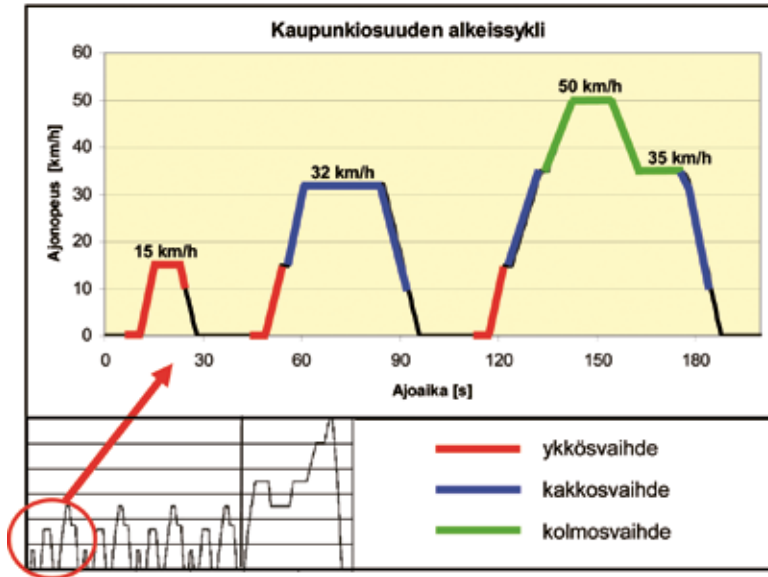
EU-testisykliä usein arvostellaan siksi, että vakioituine kiihtyvyyks-, hidastus- ja tasanopeusjaksoineen se ei vastaa kovinkaan hyvin todellisessa liikenteessä tapahtuvaa ajoa. Sykliä on kritisoitu myös siitä, että kiihtyvyydet ovat rauhallisempia kuin normaali liikenteessä on tavanomaista.

Toteamusta kiihdytysten rauhallisuudesta seuraa usein epäily siitä, että päästöt ja kulutus olisivat testisyklissä todellisessa ajossa syntyviä pienemmät. Kritiikki todennäköisesti osuu oikeaan muiden päästöjen kuin hiilidioksidin osalta. Sen sijaan

hiilidioksidipäästön ja kulutuksen suhteen kritiikki ei välttämättä osu oikeaan. Kulutushan saattaa hitaasti kiihdytettäessä olla korkeampi kuin mootoria runsaammin ja oikealla tavalla (pienillä kierroksilla) kuormitettaessa, kuten luvussa 8.4 on todettu. Ja hiilidioksidipäästöhän riippuu suoraan poltettavan hiilen määrästä eli kulutuksesta.

Kun testattavassa autossa on manuaalivaihteisto, vaihteiden käyttö on määritelty testinormissa yhtä yksiselitteisesti kuin ajonopeuskin. Kaikilla käsivaihteistolla varustetuilla autoilla vaihtamiset siis tapahtuvat samoissa kohdissa sykliä. Sen sijaan automaattivaihteisissa autoissa auto valitsee kulloinkin käytettävän vaihteen, koska testi ajetaan vaihteiston ollessa normaalissa D-asennossa.

Eri vaihteiden käyttö testin kaupunkiosuudessa ilmenee kuvasta 4, johon on kuvattu kaupunkiosuuden ns. alkeissykli, joka toistetaan testissä neljä kertaa.



Kuva 4. Vaihteiden käyttö EU-testisyklin kaupunkisuudessa.

Ensimmäisessä liikkeellelähdössä käytetään vain 1-vaihdetta maksiminopeuden ollessa 15 km/h. Toisella kerralla nopeudella 15 km/h vaihdetaan 2-vaihteelle. 3-vaihte tulee mukaan vasta kolmannen liikkeellelähdön jälkeen nopeudesta 35 km/h alkaen. Hidastusvaiheissa kytkinpoljin painetaan pohjaan nopeudella 10 km/h, ja loppumatkat rullataan joutokäynnillä. Vaihteiden 1, 2 ja 3 suhteelliset ajomatkat kaupunkisyklissä ovat 8 %, 43 % ja 48 %. Joutokäynnillä rullattavaksi osuudeksi matkasta jää n. 1 %.

Kolmista suurempia vaihteita ei kaupunkisyklin aikana käytetä, mikä on vastoin taloudellisen ajamisen periaatteita. Nykyautoilla nopeutta 50 km/h voitaisiin hyvin ajaa nelosella tai jopa viitosella.

Vaihtamisten on siis tapahduttava kaikilla manuaalivaihteisilla autoilla samoissa kohdissa, vaikka moottorin ominaisuuksien ja valittujen välityssuhteiden kannalta jotkut muut vaihtamiskohdat saattaisivat olla taloudellisemmat. Toisaalta, vaihtamiskohtien ollessa määrätty, autonvalmistajilla voi olla suuri kiusaus valita välityssuhteet siten, että testiolosuhteissa saadaan mahdollisimman pieni kulutus, vaikka valitut välityssuhteet eivät normaaliajaja ajatellen kenties sopivimmat olisikaan.

Kolmosvaihteen välityssuhteella on viralliseen kaupunkikulutukseen suuri merkitys, koska lähes puolet (48 %) matkasta ajetaan kolmosella. Käytettävästä polttoaineesta poltetaan merkittävä osuus kolmosvaihteella myös siksi, koska ajonopeus ja ilmanvastus ovat tällä vaihteella suurimmillaan.

Näin ollen mahdollisimman ”suuri” kolmosvaihte eli sen välityssuhteen valinta mahdollisimman pieneksi alentaa moottorin pyörintänopeutta kaupunkisyklin suurimpien ajonopeuksien aikana. Tämän seurauksena mitä todennäköisimmin alenee myös kulutus. Jos autonvalmistaja on tehnyt tällaisen välityssuhdevalinnan, seurauksena voi olla epäloogisen suuri porras kakkos- ja kolmosvaihteiden välillä.

Virallisiin testituloksiin liittyviä laskentaesimerkkejä

Virallinen hiilidioksidipäästöarvo, joka on koko testin (kaupunki- ja maantieosuus) matkalta mitattu tulos, vastaa koko testin matkalta mitattua yhdistettyä kulutuslukemaa. Hiilidioksidipäästö voidaan laskea melko hyvällä tarkkuudella polttoaineenkulutuksesta, ja toisaalta kulutus hiilidioksidipäästöstä, koska tiedetään, että bensiinilitra tuottaa palaessaan n. 2 350 g ja diesellitra puolestaan n. 2 650 g CO₂:ta. Dieselin suurempi hiilidioksidituotto aiheutuu sen suuremmasta tiheydestä: litrassa dieseliä on n. 13 % enemmän massaa ja energiaa kuin litrassa bensiiniä.

CO₂-laskentaesimerkki bensiinautosta (vrt. taulukko 2.1) (Lähde: media.autotietokanta.fi, 18.1.2013)

VW Golf Comfort Plus 1.2 TSI 63 kW
Ilmoitettu virall. yhdistetty kulutus: 5.5 l/100 km

Lasketaan vastaava CO₂-päästö:
 $0.055 \text{ l/km} * 2350 \text{ g/l} = 129.3 \text{ g/km}$
Virallinen ilmoitettu CO₂-päästöarvo on laskennan mukainen eli 129 g/km

CO₂-laskentaesimerkki dieselautosta
(Lähde: media.autotietokanta.fi, 18.1.2013)

VW Golf Comfortline 2.0TDI 110 kW Blue Motion Techn. DSG-autom.
Ilmoitettu virall. yhdistetty kulutus: 4.4 l/100 km

Lasketaan vastaava CO₂-päästö:
 $0.044 \text{ l/km} * 2650 \text{ g/l} = 116.6 \text{ g/km}$
Virallinen ilmoitettu CO₂-päästöarvo on laskennan mukainen eli 117 g/km.

Kaupunki-, maantie- sekä yhdistetyn kulutuslukeman välillä vallitsee riippuvuus, joka perustuu testin osuuksien ajomatkoihin. On helposti todettavissa, että yhdistetty kulutuslukema osuu aina kaupunki- ja maantiekulutusten väliin. Useinkaan ei sen sijaan tulla ajatelleeksi, että yhdistetty kulutus on aina lähempänä maantie- kuin kaupunkikulutusta, koska maantieosuuden ajomatka on pitempi eli sen painoarvo suurempi.

Jos halutaan laskea yhdistetty kulutus kaupunki- ja maantiekulutusten perusteella, se täytyy laskea painotettuna keskiarvona, jossa kaupunkilukemaa painotetaan testin kaupunkiosuuden matkalla (4.052 km) ja maantielukemaa maantieosuuden matkalla (6.955 km).

Laskentaesimerkki, yhdistetty kulutus
(Toyota Avensis 1.6 Valvematic, bens., 2013):

Ilmoitettu virallinen kaupunkikulutus: 8.5 l/100 km
Ilmoitettu virallinen maantiekulutus: 5.3 l/100 km

Lasketaan yhdistetty kulutus:

$$\frac{(8.5 \text{ l/100 km} * 4.052 \text{ km}) + (5.3 \text{ l/100 km} * 6.955 \text{ km})}{11.007 \text{ km}}$$

Tulokseksi saadaan 6.48 l/100 km. Virallinen yhdistetyn kulutuksen arvo kyseiselle automallille on laskennan mukainen eli 6.5 l/100 km.

Manuaali- ja automaattivaihteisen auton välinen kulutusero

Manuaali- ja automaattivaihteisten autojen välisestä taloudellisuuserosta keskustellaan paljon. Perinteinen momentinmuuntimella varustettu automaattivaihteisto on hyötysuhteeltaan mekaanista (manuaalista) huonompi. Ero on kuitenkin kaventunut uusien vaihteistosukupolvien myötä, jotka entistä useammin ohittavat luistavan momentinmuuntimen ja kytkevät voimalinjaan kiinteän mekaanisen yhteyden moottorin ja vetopyörien välille. Tällöin hyötysuhde paranee.

Markkinoilla on myös monia uusia automaattivaihteistotyyppisiä, joissa ei ole lainkaan perinteistä momentinmuunninta. Esimerkiksi ns. kaksoiskytkinvaihteistot, joita markkinoidaan mm. nimillä DSG, S-tronic ja Powershift, pystyvät hyvin yhdistämään mekaanisen vaihteiston taloudellisuuden ja automaatin käytön vaivattomuuden. Samoin käytössä on myös portaattomia vaihteistoja (CVT = Continuously Variable Transmission), joiden hyötysuhde saattaa olla perinteistä mekaanista huonompi, mutta jotka mahdollistavat muita vaihteistotyyppisiä paremmin optimaalisen moottorin pyörintänopeuden eri ajotilanteisiin.

Portaallisenkin automaattivaihteiston etu on, että siinä voidaan käyttää useampia vaihteita kun manuaalivaihteistossa, joten taloudellinen moottorin kierrosluku kuhunkin ajotilanteeseen löytyy varmemmin. Harva kuljettaja olisi varmaankaan halukas tai kyvykäs käyttämään optimaalisesti kaikkia vaihteita, jos henkilöauton manuaalivaih-

teistossa olisi esimerkiksi 8 vaihdetta kuten joissakin automaateissa.

Saman automallin manuaali- ja automaattivaihteisen version virallisia kulutustuloksia vertailtaessa saattaa nykyisin tulla vastaan tapauksia, joissa automaattivaihtoehdo ei kuluta enempää, tai kuluttaa jopa vähemmän kuin vastaava manuaalivaihteinen. Tällainen oli aiemmin harvinaista, ja sitä pidettiin takavuosina jopa mahdottomana. Kehitys on edennyt hyvään suuntaan.

Toisaalta täytyy myös pitää mielessä se mahdollisuus, että manuaalivaihteinen saattaisi ehkä kuluttaa testisyklissä virallista ilmoitettua lukemaa vähemmän, jos ylöspäin vaihtamiset voisi tehdä pienemmillä nopeuksilla kuin testinormi määrää. Moderni automaattivaihteinenhan auto pyrkii vaihtamaan testisyklissäkin suuremmille vaihteille niin pienillä nopeuksilla kuin moottorin ominaisuuksien puolesta on mahdollista.

Automaattivaihteiston valintaa ei siis nykyautoissa kannata taloudellisuuden menettämisen pelossa hylätä. On lisäksi syytä muistaa, että monen taitamattoman kuljettajan ajaminen manuaalivaihteistolla liian pienillä vaihteilla eli korkeilla kierroksilla saattaa käytännössä kuluttaa polttoainetta enemmän kuin minkäänlainen automaattivaihteisto.

Todellisen kulutuksen ja normikulutusten välinen riippuvuus

Autonvalmistajat pyrkivät normitestin tuloksissa mahdollisimman pieniin lukemiin. Tähän vaikut-

tavat kaupalliset kilpailutekijät, joihin liittyy mm. kulutuksesta riippuvan CO₂-päästön ottaminen monissa maissa autoilun verotuksen kriteeriksi. Lisäksi autonvalmistajiin kohdistuu taloudellisuuden kasvattamisen paineita EU:ssa vähitellen voimaan tulevan valmistajakohtaisen CO₂-päästökeskiarvoajan takia, joka lasketaan kunkin valmistajan eri mallien myyntimäärillä painotettuna. Tavoitteena on saavuttaa keskiarvo 130 g/km vuoteen 2015 mennessä ja 95 g/km vuoteen 2020 mennessä.

Melko harvoin kuulee, että todellisessa ajossa saavutettaisiin normikulutusten suuruisia kulutuslukuja. Yleensä käytännön kulutus on normiarvoja suurempi. Tosin joissakin tapauksissa virallisten normikulutusten saavuttaminen tai jopa alittaminen voi olla hyvissä olosuhteissa taitavan kuljettajan käsissä mahdollista.

Normikulutusten saavuttamisen vaikeus arkielämässä johtuu osittain siitä, että norminmukaisessa testauksessa olosuhteet ovat optimaaliset, eivätkä yhtä edulliset olosuhteet ole useinkaan auton arkikäytössä mahdollisia. Lisäksi virallisia normitestejä ajavat kuljettajat ovat hioutuneita tarkan ajamisen ammattilaisia, mitä kuka tahansa autonkäyttäjä ei välttämättä ole.

Osittain kyse on myös testausmenetelmän puutteista ja porsaanrei'istä. Vaikka itse testausmenetelmän kuvaus on varsin yksityiskohtainen, tulostettuna kunnioitettavan paksuinen pino paperia, kaikkea ei normissa ole otettu huomioon. Autonvalmistajilla tuntuu riittävän motivaatiota kulutuskikkailumahdollisuuksien hyödyntämiseen.

Ajovastukset, joita testissä käytetään, ovat lopputuloksen kannalta merkittävä tekijä. Testissä simuloidaan ajoa ilman kuormaa, mikä tietysti minimoi kulutuksen. Lisäksi testausta tekevää virallista puolueetonta laboratoriota ei velvoiteta määrittämään testattavaksi tuotavan auton ajovastuksia, vaan alustadynamometrin kuormitus voidaan säätää perustuen testattavan auton valmistajan ilmoittamiin vastusarvoihin. Tässä kohtaa valmistajalle jää mahdollisuus ilmoittaa vastusarvot kenties hieman alakanttiin, jolloin moottori tekee testin aikana vähemmän työtä kuin todellisessa ajossa.

Spekulatiivisesti voidaan ajatella, että autonvalmistaja on saattanut mitata testaukseen tulevan automallin ajovastukset yksilöllä, johon on tehty aerodynaamisia viilauksia ja/tai jossa on käytetty normaalia kevyemmin vieriviä renkaita tai ylikorkeata rengaspainetta. Tällöin määrittämisen tuloksena on saatu todellista pienemmät vastusarvot. Jos tällaisella autoyksilöllä mitatut vastusarvot ilmoitetaan testauslaboratoriolle ja alustadynamometri säädetään niiden perusteella, testin aikana dynamometrin auton moottorille aiheuttama kuormitus on pienempi kuin todellisuuudessa. Lopputuloksena ovat käytännön ajoa pienemmät kulutuslukemat.

Tämäntapaiseen toimintaan, jos sitä nyt edes esiintyy, on vaikea puuttua, koska vastusarvot eivät ole suoranaisesti tekaistut, vaan ne perustuvat todellisiin mittauksiin. Kokonaan toinen asia on se, että sarjatuotannosta myyntiin tulevat autoyksilöt eivät välttämättä liukukaan yhtä pienen tehon

turvin. Testissä käyneen autoyksilön ja tuotannosta myyntiin tulevien autojen riittävää samankaltaisuutta tosin valvotaan ns. COP-testeillä (Conformity of Production). Tämänäyttypistä viranomaistoimintaa olisi varmaankin tarpeen tarkentaa ja toteuttaa nykyistä aktiivisemmin.

Lämmityslaitte ja ilmastointi on virallisessa testauksessa kytketty off-asentoon. Tämä menettely on vastoin useita käytännön tilanteista. Määräyksen tarkoituksena on vakioida testiolosuhteet ja eliminoida näiden laitteiden käytöstä aiheutuvat muuttujat testitilanteesta. Jos lämmitystä tai ilmastointia käytettäisiin, ongelmaksi muodostuisi, missä lämmityslaitteen säätöjen asennossa ja millä lämmityspuhaltimen nopeudella mikin automalli tulisi testata, jotta tasapuolisuus säilyisi. Ongelmaa lisää vielä se, että markkinoilla on laaja kirjo periaatteeltaan kahdenlaisia, joko manuaalisia tai automaattisia, lämmitys- ja ilmastointilaitteita.

Ilmastointilaitteen vaikutus kulutukseen on yleensä suuruusluokkaa 0.4–0.8 l/100 km (luku 8.14). Vaikutus on suurimmillaan pienillä nopeuksilla. On selvää, että viralliset normikulutukset olisivat suuruusluokkaa 10 % korkeammat, jos ilmastointi olisi käytössä. Ilmastointi on varusteena yleistynyt runsaasti, joten sen kulutusta lisäävä vaikutus koskee kesäaikana lähes kaikkia uudehkoja ja uusia autoja.

Ilmastointilaitteissakin on tapahtunut kehitystä, ja uudemmat ovat tyypillisesti taloudellisempia kuin vanhat. Lisäksi näyttää siltä, että mekaanisen käytön asemesta sähköllä toimivat ilmastointilaitteet,

joita esimerkiksi hybridi-autoissa käytetään, olisivat taloudellisempia kuin perinteiset. Toisaalta, koska myös moottorit ovat entistä taloudellisempia, on vaikeaa tietää, onko ilmastoinnin osuus kulutuksesta kasvanut vai vähentynyt.

Lämmityslaitteen käyttämättä jättäminen pienentää kulutusta normitestissä kahdesta syystä. Ensinnäkin moottorin lämpeneminen on nopeampaa, koska jäähdytysnestettä ei jäähdytetä siirtämällä siitä lämpöä auton sisätiloihin. Nopeammin lämpenevä moottori kuluttaa vähemmän. Toiseksi lämmityslaitteen puhaltimen tarvitsema sähköenergia jää kuluttamatta, joten auton laturin kuormitus vähenee. Lämmityslaitteen käytön vaikutuksen kulutukseen voidaan tosin arvioida olevan pienempi kuin ilmastoinnin.

Lämpötila, jossa testi voidaan suorittaa, saa korkeimmillaan olla jopa +30 °C. Voidaan olettaa, että autonvalmistajat hyödyntävät tätä mahdollisuutta. Kun moottori käynnistetään näin lämpimänä, se kuluttaa vähemmän ja saavuttaa normaalin käyntilämpötilansa nopeammin kuin esimerkiksi +20 °C:ssa käynnistettäessä, pakkaslämpötiloista puhumattakaan. Eroa normaalitilanteeseen aiheuttaa myös se, että kun auto käynnistetään +30 °C:een lämpötilassa, myös ilmastointia todennäköisesti käytettäisiin.

Auton akun lataaminen täyteen on luvallista ennen testiä. On mahdollista, että akku onnistutaan ylilataamaan siten, että auton laturi ei juuri tee työtä virallisen testin aikana. Teoriassa lienee mahdollista myös se, että testiauto ohjelmoitaisiin siten,

että laturi ei tuota testin aikana lainkaan sähköä, vaan pyörii täysin vapaana.

Henkilöauton pakolliset sähkönkuluttajat tarvitsevat tehoa Volkswagenin ilmoituksen mukaan 280 W. Tähän kuuluvat polttoaine- ja sytytysjärjestelmä sekä moottorinohjaus. Ajovaloja ei virallisessa testissä tarvitse käyttää. Kun teho 280 W kerrotaan testin kestoajalla (1180 s eli 1180/3600 h), saadaan testin aikana tarvittavaksi sähköenergiaksi n. 92 Wh. Kun tämä jaetaan nimellisjännitteellä 12 V, päädytään tulokseen 7.7 Ah. Tämän verran sähköä olisi kyllä saatavissa täyteen varatusta akusta ilman laturin käyttöäkin, koska käynnistysakkujen kapasiteetti on yleensä vähintään luokkaa 60 Ah.

Jos tarvittava 92 Wh tuotetaan laturilla, lukema täytyy jakaa laturin hyötysuhteella 0.90 sekä hihnavedon hyötysuhteella 0.97. Kampiakselilta tarvitaan mekaanista energiaa n. 105 Wh. Kun tämä jaetaan testin aikana vallitsevalla moottorin keskimääräisellä hyötysuhteella 0.25 (kirjoittajan määrittänyt VW Golf 1.6 FSI:lle), saadaan tarvittavan bensiinienergian määräksi n. 420 Wh eli 0.42 kWh. Kun tämä jaetaan bensiinin energiasisällöllä 8.8 kWh/l, päädytään polttoainetarpeeseen 0.048 l testin (11.007 km) aikana. Kun tämä lasketaan 100 km:lle, saadaan tulos 0.43 l/100 km.

Mahdollinen laturin toimimattomuus testin aikana saattaa siis pienentää polttoaineenkulutusta testissä n. 0.4 litralla 100 kilometriä kohden. Tämän suuruusluokan arvo pätee kaikille autoille, koska auton perustoimintojen sähköntarve ei juurikaan

riipu auton koosta. Esimerkissä käytettiin VW:n suorasuihkutteisen FSI-moottorin hyötysuhdetta, joka on ottomoottorille korkea. Hyötysuhteeltaan huonompi ottomoottori saattaa kuluttaa testissä jopa 0.5 l/100 km pelkästään perussähkön tuottamiseksi autolle.

Viralliset normikulutusarvot ovat puutteistaan huolimatta paras käytettävissä oleva tapa verrata eri automallien kulutusta toisiinsa. Vaikka järjestelmä ei ole aukoton, testausmenetelmä asettaa kuitenkin kaikki autot mahdollisimman tarkkaan ”samalle viivalle”, eli tulosten pitäisi olla vertailukelpoisia keskenään. Automallikohtaiset erot ovat siis melko luotettavasti virallisten normitestien tuloksista havaittavissa, vaikka todellisen arkikäytön kulutuslukemat olisivatkin korkeampia kuin normikulutusarvot.

Mainittakoon vielä, että plug-in-hybridien normikulutusarvot mitataan sekä akku täynnä (nollakulutus) että tyhjänä. Lopputulos ilmoitetaan näiden kahden keskiarvona. Kulutus ilman ”seinäsähköä” on siis virallinen kulutuslukema kaksinkertaisena.

LIITE 2: Joutokäyntikulutuksen määrittäminen auton ajotietokoneen avulla

Joutokäyntikulutus voidaan määrittää litroina tunnissa, jos autossa on ajotietokone, joka näyttää keskikulutuksen valitusta nollaushetkestä alkaen. Seuraavassa kuvattavan menettelyn käyttö ei tietenkään ole tarpeen niissä autoissa, joiden ajotietokone näyttää suoraan l/h-lukeman.

Ideana on kirjata muistiin keskikulutus tietyltä ajomatkalta, pysäyttää auto sekä seurata, missä tahdissa keskikulutusnäyttö kasvaa, kun moottori käy, mutta matkamittari ei enää rulla.

TÄSSÄ OHJEET VAIHEVAIHEELTA:

JOUTOKÄYNTIKULUTUKSEN MÄÄRITTÄMINEN AUTON AJOTIETOKONEEN AVULLA

1. Nollaa ajotietokoneen kaikki näytöt.
2. Aja vähintään n. 2.0 km siten, että ajat hyvin hitaasti viimeiset 100 m, jotta saat auton pysäytetyksi heti, kun ajotietokoneen näyttöön on naksautanut viimeinen 0.1 km. Matkan pituus tai ajotapa ei ole oleellinen, mutta matka täytyy tietää tarkasti.
3. Käynnistä sekuntikello ja lue ajotietokoneen keskikulutusnäyttö [l/100 km] samalla hetkellä, kun auto pysähtyy. Kirjaa kulutuslukema muistiin.
4. Anna auton käydä joutokäyntiä 3...6 min (= 0.05 ... 0.10 h). Mitä pitempi aika, sitä tarkempi tulos. Seuraa, kuinka lukema kasvaa keskikulutusnäytössä.
5. Lue ja kirjaa kulutuslukema [l/100 km] muistiin haluamasi joutokäyntiajan kuluttua. Voit halutessasi odottaa valitsemasi ajan jälkeistä seuraavaa kulutusnäytön naksahdusta, ja kirjata muistiin kulutuksen sekä sitä vastanneen ajanhetken. Muuta joutokäyntiaika tunneiksi (laske aika sekunteina ja jaa lukema 3600:lla).
6. Laske tulos litroina tunnissa seuraavalla kaavalla:

$$K_j = \frac{[(k_2 / 100) - (k_1 / 100)] * s}{t} \text{ [l/h]}, \text{ jossa}$$

K_j on kulutus joutokäynnillä [l/h]

k_1 on kulutus joutok. alkaessa [l/100 km]

k_2 on loppukulutus [l/100 km]

s on ajettu matka [km]

t on joutokäyntiaika [h]

Laskentaesimerkki:

$$s = 2,0 \text{ km}$$

$$k_1 = 6,0 \text{ l/100 km}$$

$$k_2 = 8,0 \text{ l/100 km}$$

$$t = 0,05 \text{ h (= 3 min)}$$

$$K_j = \frac{[(8,0 / 100) - (6,0 / 100)] * 2,0}{0,05} \text{ l/h} = \underline{\underline{0,80 \text{ l/h}}}$$

LIITE 3: Etanolia sisältävän polttoaineen vaikutus kulutukseen

Yleisimmän bensiinilaadun eli 95-oktaanisen etanolipitoisuutta kasvatettiin vuoden 2011 alussa 10 prosenttiin. Tavoitteena on bensiiniautojen kasvihuonevaikutusten vähentäminen korvaamalla osa bensiinimoottoreissa poltettavasta fossiilisesta polttoaineesta uusiutuvista raaka-aineista valmistetulla biokomponentilla.

EU:n asettamat velvoitteet edellyttävät, että biokomponenttien osuutta energiankäytöstä on lisättävä. Vaatimus v:ksi 2020 on 20 % kokonaisenergiasta ja 10 % liikenteen energiasta, johon voidaan laskea biopolttoaineet sekä uusiutuvasti tuotettu sähkö.

Bensiinin biokomponenttina on päädytty käyttämään etanolia, koska sitä on verrattain helppo valmistaa uusiutuvista lähteistä. Lisäksi etanoli sopii pieninä pitoisuuksina bensiiniin sekoitettuna suurimpaan osaan käytössä olevasta autokalustosta. Etanoli on syövyttävämpää kuin bensiini. Etanolipitoisuudella 10 % voi olla vaara, että polttoainejärjestelmän letkuissa, tiivisteissä jne. voi ajan oloon ilmetä vuotoja, jos järjestelmän materiaalit eivät ole etanoliseosteiselle bensiinille tarkoitettuja.

E10-bensiinin sopivuus kuhunkin automalliin pitää varmistaa auton valmistajan edustajalta. Myös nettisivusto www.e10bensiini.fi sisältää kattavat tiedot 95E10-bensiinin sopivuudesta. Vuodesta 2012 al-

kaen kaikissa Suomessa myytävissä uusissa henkilöautoissa E10-bensiinin käyttö on mahdollista, jos oktaaniluku 95 riittää. Jos auton polttoainejärjestelmä ei ole 10-prosenttista etanoliseosta kestävä, tai jos oktaaniluku 95 ei riitä, on käytettävä 98E5-bensiiniä, jonka etanolipitoisuus on 5 %.

E10-bensiinin vaikutuksesta polttoaineenkulutukseen keskusteltiin paljon polttoaineen markkinoille tulon jälkeen. Keskustelussa oli sensaatiohakuisuutta sekä tietämättömyyttä uuden polttoaineen eroavuudesta vanhaan nähden. Epätietoisuutta ilmeni myös auton polttoaineenkulutukseen liittyvien tekijöiden vaikutuksista sekä kulutuksen mittaamisen vaikeudesta normaaliliikenteessä.

Todellisuudessa E10-bensiinin polttoaineenkulutuslisä on tyypillisesti 0–2 %:n luokkaa E5-polttoaineeseen nähden ja 1–3 %:n luokkaa alkoholitoimaan bensiiniin nähden. Vaihteluväli aiheutuu eri automallien erilaisesta reagoinnista E10 polttoaineeseen.

E10-bensiinin energiasisältö on vajaat 2 % pienempi kuin E5-bensiinin. Kulutuslisä ei kuitenkaan ole välttämättä edes tämänsuuruinen, koska etanolipitoisuuden kasvu usein parantaa polttoaineen puristuskestävyyttä eli kykyä estää polttoaineen ennen aikaista syttymistä (nakuttavaa palamista), vaikka oktaaniluku on sama.

Moottorinohjaukseen liittyvä nakutuksen tunnistus pyrkii estämään nakutusta, mutta myös säättämään sytytyksen niin aikaiselle kuin mahdollista, siis lähelle nakutusrajaa. Etanoliseosteisella polttoaineella moottori saattaa siten käydä hieman suuremmalla sytytysennakolla kun pelkällä bensiinillä. Suurempi sytytysennakko yleensä parantaa moottorin hyötysuhdetta. Tämän takia siirtyminen E5:stä E10:een ei välttämättä lisää kulutusta lainkaan, vaikka E10:n energiasisältö on hieman pienempi.

Korkeaseosetanolia E85 (tai esim. RE85) ei voida käyttää tavallisissa, vaan ainoastaan ns. FFV-autoissa (Fuel Flexible Vehicle). Näiden mallinimessä usein esiintyy sanan ”flexible” (joustava) johdannaisia kuten hi-flex, flex(i)fuel tms. Näiden autojen polttoainejärjestelmän materiaalivalinnoissa on otettu huomioon etanolin syövyttävä vaikutus. Samoin polttoaine-ilma -seossuhteen säätöalueessa on otettu huomioon etanolin bensiiniä pienempi energiasisältö eli suuremman suihkutusmäärän tarve. Näissä autoissa voidaan käyttää E85-polttoainetta tai bensiiniä missä suhteessa tahansa.

LIITE 4: Sähköenergian riittävyys sähköautoille

Usein kuulee pohdittavan, riittäisikö sähkön-tuotantokapasiteetti, jos sähköautojen käyttö yleistyisi voimakkaasti. Todennäköisesti sähköautojen käyttö tulee lisääntymään verrattain hitaasti, joten niiden lataamiseen tarvittavan sähköenergian tuottamiseen, siirtoon ja jakeluun valmistautumiselle jää aikaa. Mitä ilmeisimmin pullonkaulaksi ei ainakaan alkuvaiheessa muodostu tuotantokapasiteetti, vaan todennäköisesti sähkön siirtoon, jakeluun ja itse lataukseen tarvittaviin laitteisiin liittyvät rajoitteet.

Sähköautojen energiantarpeen suuruusluokka on kuitenkin mielenkiintoinen kysymys. Tämän havainnollistamiseksi seuraavassa on esitetty laskelma kuvitteellisesta tilanteesta, jossa kaikki Suomen moottoribensiinillä ja dieselpolttoaineella kulkevat ajoneuvot olisi korvattu sähkökäyttöisillä. Lähtökohdana on Tilastokeskuksen vuoden 2011 polttoaineenmyyntitilasto, jonka mukaan moottoribensiiniä myytiin 2 161 188 m³ (tuhatta litraa) ja dieseliä 2 872 301 m³.

Laskennan avulla arvioitiin, kuinka paljon näillä polttoainemäärillä tuotettiin mekaanista energiaa (työtä) bensiiniä ja dieseliä käyttäneiden autojen vetopyörille. Laskennassa käytettiin bensiinimoottorille hyötysuhdearvoa 0.20, dieselmoottorille arvoa 0.25, ja bensiini- sekä dieselautojen voimansiirron hyötysuhteelle arvoa 0.90.

Tuloksena saadusta vetopyöräenergiasta laskettiin ikään kuin takaperin, kuinka paljon sähköenergiaa tarvittaisiin, jotta sähköautojen vetopyöriltä saataisiin ulos sama määrä mekaanista energiaa. Sähkömoottorin hyötysuhteeksi oletettiin arvo 0.75 sisältäen sähkön siirron, jakelun sekä auton akuston lataamisen ja purkamisen häviöt. Sähköauton voimansiirron hyötysuhteeksi arvioitiin poltto-moottoriautoja pienempi arvo 0.95, koska niissä on yleensä vain yksi kiinteä välitys. Bensiinin ja dieselin energiasisältönä käytettiin arvoa 42.5 MJ/kg, joka tyypillisten polttoainetiheyksien vallitessa vastaa bensiinille arvoa 8.8 kWh/l ja dieselille 9.9 kWh/l.

Polttoaine-energiaa käytettiin Suomessa v. 2011 bensiininä n. 19 TWh ja dieselinä runsas 28 TWh. Näiden summaksi muodostuu runsas 47 TWh. Hyötysuhteet huomioon ottaen tällä saatiin aikaan vetopyöräenergiaa bensiiniautoissa vajaat 3.5 TWh ja dieselautoissa vajaat 6.5 TWh. Koko Suomen autokaluston vetopyöräenergian summaksi muodostui näin hieman alle 10 TWh.

Kun sähköautoon liittyvien hyötysuhteiden avulla laskettiin, paljonko sähköenergiaa tarvittaisiin tämänsuuruisen mekaanisen energian tuottamiseen sähköautojen vetopyörillä, päädyttiin lukemaan hieman alle 14 TWh. Käytännössä tarvittaisiin todennäköisesti vielä lisäsähköä autojen sisätilojen lämmittämiseen, mutta sen arviointi on jätetty

tarkastelun ulkopuolelle. Saatu tulos vastaa runsasta 16 prosenttia Suomen vuoden 2011 sähkönkulutuksesta, joka Tilastokeskuksen mukaan oli 84.4 TWh.

Oletetaan, että tarvittava n. 14 TWh:n sähköenergia tuotettaisiin vakioteholla voimalaitoksella, jonka käyttökerroin on 90 % (tarkoittaa, että voimala tuottaa nimellistehoaan 90 %:n ajan vuoden tunteista). Tarvittava sähköteho saadaan jakamalla vaadittava energiamäärä 90 %:lla vuoden tunteista eli 7884 tunnilla. Lopputulos on n. 1750 MW.

Tulos 1750 MW on enemmän kuin Olkiluotoon rakenteilla olevan kolmannen ydinvoimalayksikön teho, joksi on suunniteltu 1600 MW. Sen sijaan Olkiluodon ykkös- ja kakkosyksiköt yhdessä riittäisivät juuri ja juuri tarvittavan 1750 MW:n sähkötehon tuottamiseen. Sähköautojen tarvitseman sähkön tuottamiseen tarvittaisiin siis kaksi ”normaalikokoista” tai yksi jättisuuri voimalaitosyksikkö.