

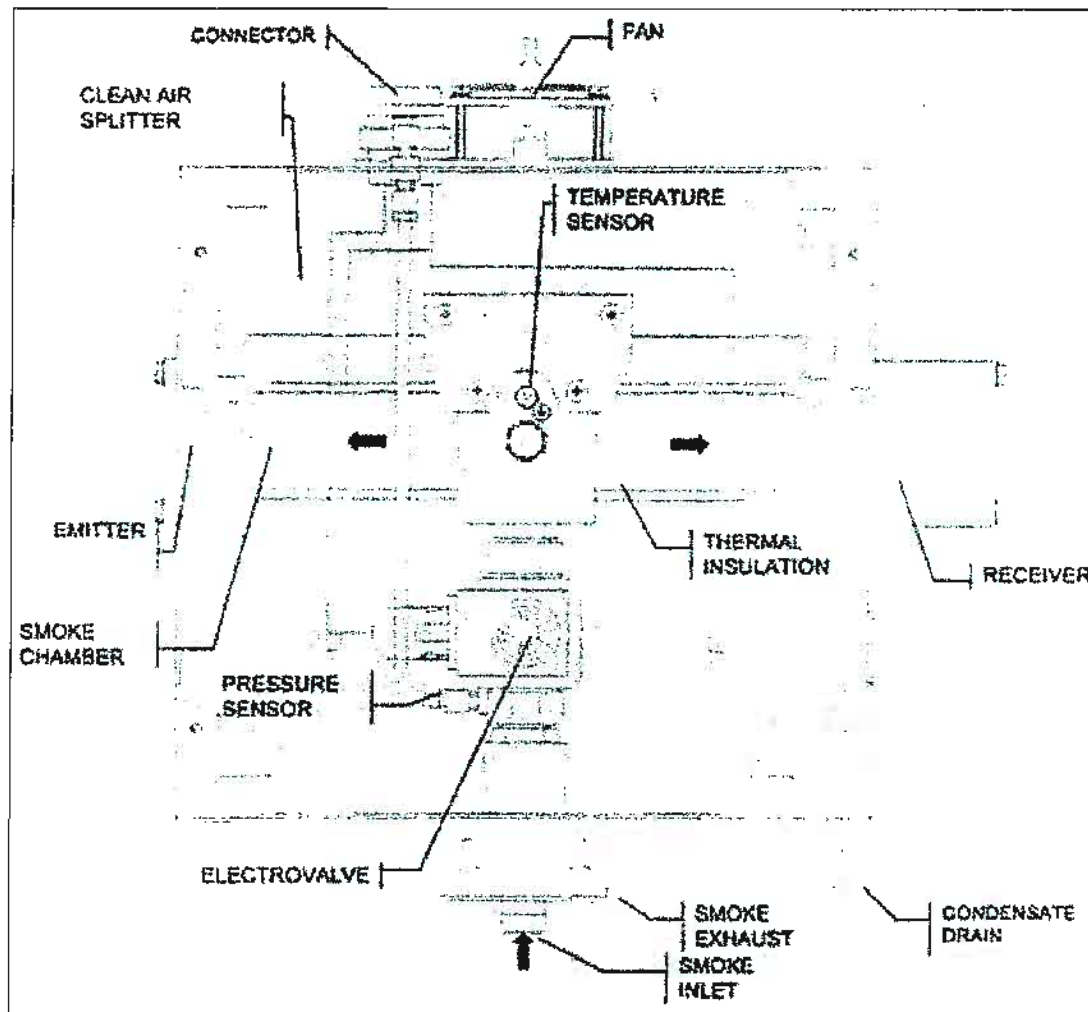
### **3 MITTALAITTEET**

#### **3.1 Mittalaitteiden toimintaperiaate**

Valonläpäisykyky mitataan johtamalla pakokaasu mittauskammioon, jonka toiseen päähän on sijoitettu valonlähde ja toiseen päähän valokenno. Valonlähteen ja valokennon välinen tehollinen matka samoin kun valonlähteen antama valovuoto ovat tunnettuja, ja valokennon vastaanottaman valovuon perusteella voidaan väliin johdetun pakokaasun kyky absorboida valoa ja valon absorptiokerroin laskea kohdassa 2.5 esitetyn kaavan 3 mukaisesti.

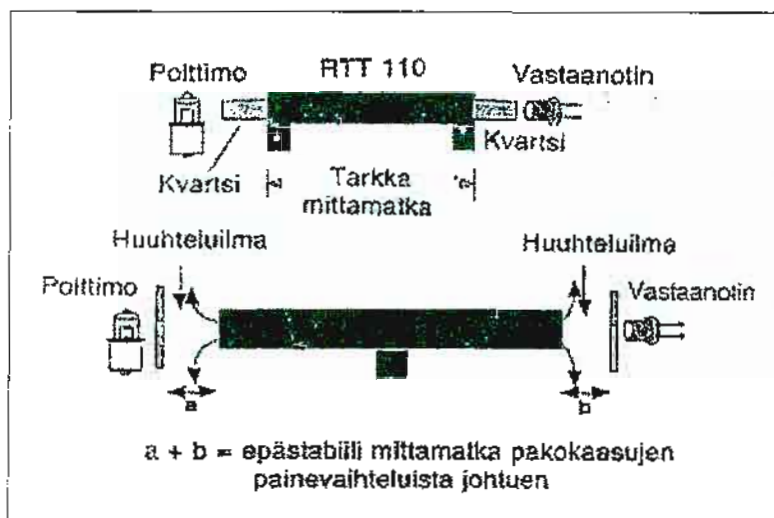
Mittauksissa käytetään yksinomaan osavirtausmittareita, jotka ottavat pakoputkessa virtaavasta pakokaasusta näytteen, jonka katsotaan riittävästi edustavan koko pakokaasua. Näytteenottosondin poikkipinta-alan suhde pakoputken poikkipinta-alaan tulee direktiivin 72/306/ETY mukaan olla vähintään 0,05 ja pakoputken vastapaineen tällä kohdalla olla enintään 75 mmH<sub>2</sub>O. Näytteenottoputki on sijoitettava paikkaan, jossa savun jakautuminen pakokaasussa on likimain tasainen, ja mahdollisimman taakse putkistossa siten, että ennen keräysputkea on vähintään 6 D:n ja sen jälkeen vähintään 3 D:n pituinen suora osuus, joissa D on pakoputken pään halkaisija. Pakokaasu voidaan siirtää sen omalla paineella tai erillisellä pumpulla.

Mitattavan pakokaasun lämpötilan on oltava direktiivin mukaan vähintään 70 °C ja mittauskammio onkin yleensä lämmitettävä. Esimerkiksi Protech Opax 2000 II –savutusmittarin mittakammion toimintalämpötilana pidetään 90–100 °C. Myös mitattavan pakokaasun paine-eron ulkoilmaan nähden on oltava tunnettu ja mittauslaite on näin ollen varustettava tarpeellisilla järjestelmillä paineen ja lämpötilan mittaamiseksi. Kuvassa 4 on erään savutusmittarin periaatteellinen rakennekuva.



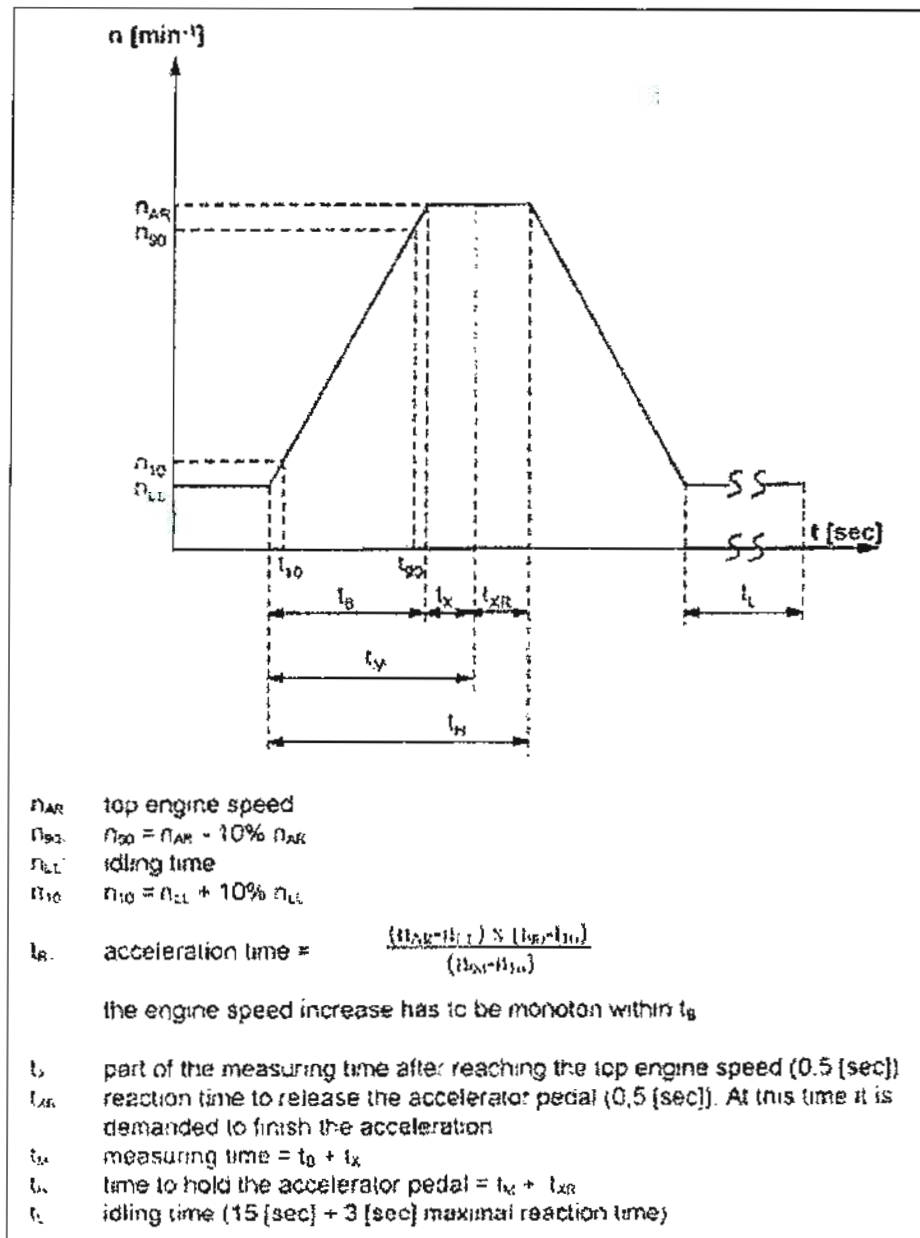
Kuva 4. Erään savutusmittarin rakenne /12/.

Pakokaasulla on ominaisuus noeta tai liata mittakammiossa olevat valolähteen ja -kennon linssit, mistä johtuen on kehitetty erilaisia järjestelmiä linssien puhtaana pitämiseksi. Tavanomaiset menetelmät ovat linssien tehokas lämmittäminen tai ilman puhaltaminen niiden ja mittauskammion välistä. Periaate on esitetty kuvassa 5. Yleisesti savutusmittarit tarkastavat näyttämän automaattisesti valitsemalla ennen mittauksen alkua vallitsevan tilan perustasoksi, jossa valon kulkua ei ole estetty ja jossa mittakammio on periaatteessa täytetty puhtaalla ilmalla. Toimenpide on välttämätön, sillä mittakammioon tai linssihin käytössä joutuvat epäpuhtaudet vaikuttavat näyttämään. Mittarin valmistajasta riippuu kuinka tiheä tarkastusväli on ja tehdäänkö tarkastus myös muissa pisteissä kuin lineaarisen asteikon ääripäissä eli arvoilla 0 ja 100.



Kuva 5. Mittakammion puhtaanapito /8/.

Savutusmittarit mittaavat myös moottorin lämpötilan ja kierrosluvun. Moottorin lämpötila mitataan yleensä voiteluöljystä mittatikun aukosta. Pyörintänopeus voidaan mitata optisesti hihnapyöriltä, puristusanturilla polttoaineen paineputkista tai akkujännitteestä. Pyörintänopeuden mittaaminen akkujännitteestä on yleisin keino ja perustuu siihen, että vaihtosähkögeneraattorin antama jännite vaihtelee tasasuuntauksesta huolimatta, jolloin taajuuden vaihteluista voidaan laskea kierrosnopeus kun tiedetään sylinteriluku, sillä moottorin pyörintänopeus hieman hidastuu puristustahdin ja lisääntyy työtahdin aikana. Mittauksesta annettavaan tulosteeseen kirjataan absorptiokertoimien lisäksi myös tyhjäkäynnin kierrosnopeus, rajakierrosnopeus, kussakin vapaassa kiihdytyksessä saavutettu suurin kierrosnopeus ja nousuaika sekä pitoaika. Kuvassa 6 on moottorin pyörintänopeuskuvaaja yhden vapaan kiihdytyksen osalta.

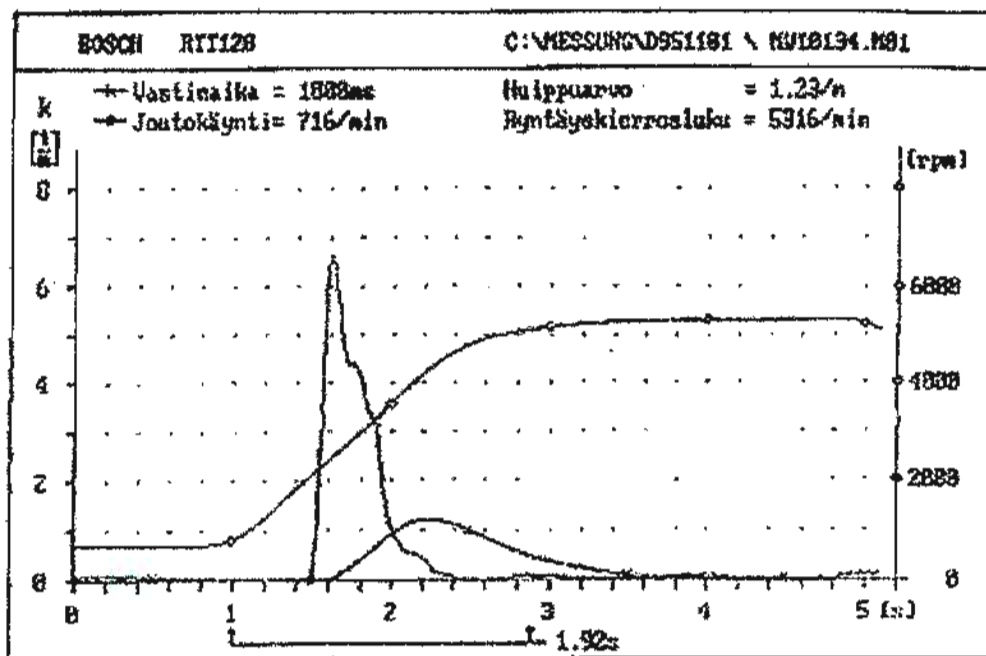


Kuva 6. Moottorin pyörintänopeus testin aikana [7].

Pakokaasun sameus ei ole vakio vaan se muuttuu ajallisesti kierrosluvun mukana riippuen moottorin mekaanisista ominaisuuksista, palotilasta, polttoaineen syötön ajoituksesta ja määrästä sekä pakoputkistosta. Varsinkin turboahtimella varustettujen autojen savutus saattaa kiihdytyksen alussa olla voimakasta ahtopaineen nousuviiveen tähden. Käytännön katsastustoiminnassa on kokemuksesta huomattu ahtaasti mitoitettun tai mutkikkaasti muotoillun pakoputkiston aiheuttavan mittaustuloksissa vaihtelua, mikä johtunee virtauksen kuristumisen aiheuttamasta konsentraation muuttumisesta. Mittalaitteen pitää verra-

ta mittakammion painetta ulkoilman paineeseen, mutta pakoputkiston paine-eroja ei tarkkailla eivätkä ne välttämättä suoraan heijastu mittakammion paineeseen.

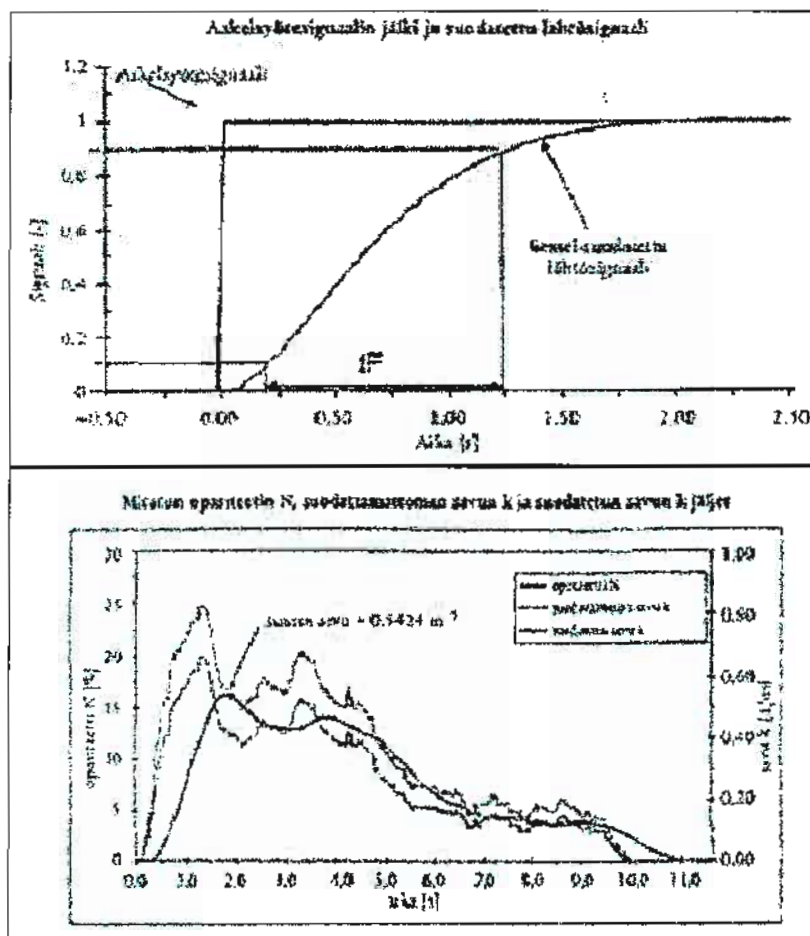
Mitatun valon absorptio perusteella kaavalla 2 tai 3 laskettu valon absorptiokerroin  $k_l$  on aina hetkellinen arvo. Hetkellinen maksimiarvo ei itsessään ole käyttökelpoinen suure savutuksen arvostelemiseksi, vaikka juuri tätä periaatteessa haetaan. Hetkellisen maksimiarvon  $k_{l,max}$  käyttäminen sellaisenaan olisi sangen epävarmaa, sillä arvoa vääristäisi savun kenties epätasainen jakautuminen samoin kuin mahdollinen valokennosta saatu virheellinen jännitteen arvo. Käsittelemättömän opasiteettisignaalin arvot ovat yleensä erittäin hajanaisia suurtaajuisten vaihtelujen vuoksi [6]. Kuvassa 7 on esitetty erään ajoneuvon ns. raakasavutuskäyrä eli hetkellinen valon absorptiokerroin ajan funktiona. Havainnollisuuden takia raakasavutuskäyrään on lisätty moottorin kierrosluvun kuvaaja sekä käsitelty signaali. Raakasavutuskäyrästäkään eivät välttämättä ilmene kaikki hetkelliset mitatut arvot, vaan opasiteetti esimerkiksi voidaan mitata joka millisekunti, joista tallennetaan aina 10 ms:n keskiarvo. Savutusmittauksen tuloksena saatava absorptiokertoimen arvo, jota käytetään yksittäisen vapaan kiihdytyksen absorptiokertoimenä, on raakasavutuskäyrään perustuva laskennallinen suure 0,9-1,1 s vastinajalla. Vastinajalla tarkoitetaan sähköistä vastinaikaa, joka kuluu mittarin 90 % näyttämään täydestä arvosta, kun valon kulku estetään. Mainittu vastinaika perustuu direktiiviin, mutta mittalaitteilla voi olla myös vaihtoehtoisia käyttötiloja eri vastinajalla. Nykyaikaisten mittalaitteiden todellinen vastinaika on huomattavasti pienempi kuin edellytetty vastinaika, jolloin raakasavutuskäyrä mitataan todellisella vastinajalla ja siitä saadaan laskemalla 0,9-1,1 s vastinajan savutus. Esimerkiksi Bosch RTT 100 -savutusmittari mittaa savutuksen 80 ms vastinajalla, jonka perusteella lasketaan 1000 ms vastinajan, tai vaihtoehtoista mittatilaa käytettäessä 400 ms vastinajan, mukainen savutus ja valon absorptiokerroin.



Kuva 7. Raakasavutuskäyrä /8/.

Vapaan kiihdytyksen savuarvon  $k_i$  laskemiseksi hetkellisistä savutusarvoista  $k_i$  ei ole annettu määräyksiä. Hyväksyntätestissä käytetään nk. Besselin algoritmia  $k_i$  n laskemiseksi, mutta käytönaikaiseen valvontaan käytettävän savutusmittarin ei ole velvoitettu noudattavan sitä. Direktiivi on peräisin ajalta, jolloin savutusmittarit olivat käytännössä analogisia ja teknisesti verraten yhtenäisiä. Nykyiset opasimetrit ovat digitaalisia ja valokennolta saatava signaali on siten elektronisesti käsiteltävissä. Koska signaalin käsittely riippuu valmistajasta, nousevat erot merkittäviksi.

Käytännössä kaikki opasimetrit näyttävät viivästyneen ja eritavoin mitatun opasiteettijäljen. Dieselmoottoridirektiivissä määritelty Bessel-suodatus on menetelmä keskiarvon määrittämiseksi suodattamalla suurtaajuiset vaihtelut pois raakasignaalista. Besselin algoritmi emuloi toisen kertaluvun alipäästösuodattinta ja sen kertoimet ratkaistaan iteroimalla. Kyseinen iterointi on varsin työläs eikä siihen ole tarkoituksenmukaista tässä tutustua lähemmin. Kertoimet riippuvat käytetyn mittausjärjestelyn sähköisestä ja fyysisestä vasteajasta sekä näytteenottotaajuudesta. Dieselmoottoridirektiivistä peräisin olevista kuvista 8 ilmenee Bessel-suodatuksen tasoittava vaikutus yksittäiselle askelsignaalille ja vastaavasti koko raakasavutuskäyrälle.



Kuva 8. Bessel-suodatuksen vaikutus /6/.

### 3.2 Yleisistä huolto- ja kalibrointivaatimuksista

Dieselsavuanalysaattorit tarkastavat näyttämän automaattisesti kohdassa 3.1 esitetyn mukaisesti. Linssien nokeentuminen voi kuitenkin edetä niin pitkälle, että mittari ei enää voi korjata näyttämää vaan linssit tulee puhdistaa, mikä on savutusmittarin tavanomaisin perushuoltotoimenpide. Myös mittakammio voi olla puhdistuksen tarpeessa. Mittakammioon asetettavalla himmennetyllä lasilla tehtävä näyttämän tarkastus kuuluu useimpien mittareiden normaaliin käytönaikaiseen ylläpitoon, mutta ei varsinaisesti ole kalibrointia.

Lisäksi käyttäjän tulee säännöllisesti tarkastaa näyteanturin, mittajohtojen ja muiden antureiden sekä mahdollisen näytekaasun poistoletkun kunto. Tukkeentunut poistoletku voi aiheuttaa kaasun tiivistymistä ja siten liian suurta näyttämää. Tukkeentunut näyteanturin letku puolestaan voi rajoittaa pako-

kaasun virtausta ja aiheuttaa liian pientä näyttämää varsinkin, jos näyteputki on pitkä, mutta toisaalta näyteanturista irtoava noki tai karsta aiheuttaa liian suurta näyttämää. Letkujen ja putkien sekä näytteenottoanturin asianmukainen puhdistus on siis tärkeää. Lisäksi niiden tiiveys on tarkastettava, sillä vuodot aiheuttavat kaasun laimentumista ja virtauksen sekoittumista.

Käyttöohjeen mukaiset toiminnot on tietenkin tarkastettava sekä tarvittaessa ryhdyttävä mahdollisen virheilmoituksen edellyttämiin toimenpiteisiin.

Liitteessä 2 olevaan taulukkoon on koottu tiivistelmä erimerkkisten mittalaitteiden huoltotarpeesta. Valmistajan ilmoittamaa huolto- ja kalibrointisuunnitelmaa on noudatettava.

### **3.3 Laitteiden erot**

Hetkellisten savutusarvojen painottamisesta tai suodattamisesta vapaan kiihdytyksen absorptiokertoimen laskemiseksi ei ole asetettu vaatimuksia. Mittaustapahtuman aikana mitatut hetkelliset arvot tai näistä lyhyillä aikajaksoilla lasketut keskiarvot voidaan esittää aika/absorptiokerroin-koordinaatistossa ja etsiä sopiva funktio, joka keskimäärin kuvaa savutusta mittausjakson aikana ja valita sen huippuarvo  $k$ -arvoksi. Tällöin mahdollisen savutuspiikin vaikutus eliminoiduu ainakin riittävästi. Mittalaitteen valmistajasta riippuu, miten sulavaksi kuvaaja muodostetaan ts. millainen funktio valitaan. Eri valmistajien mittalaitteiden välille tulee eroja myös siksi, että savutuspiikkiä painotetaan eri tavalla. Nimenomaan mittalaitteiden laskentaohjelmaa voidaan lähtökohtaisesti pitää merkityksellisimpänä syynä eroaviin tuloksiin. On mahdollista, että eri valmistajien savutusmittareiden ohjelmat ovat niin erilaisia, että ne eivät yksinkertaisesti kykene tuottamaan samoja arvoja. Savupiikin eliminoituminen, eli kuinka suuri vaikutus lyhyellä hetkellisellä voimakkaalla savutuksella on yksittäisessä mittauksessa saatuun  $k_j$ -arvoon, riippuu näytteenottotaajuudesta, vasteajasta ja suodatuksesta.

Hetkellisissä  $k_j$ -arvoissa ja niiden laskemista varten tehtävissä mittauksissa saatava olla vähäisiä eroja mittarin kokoonpanosta riippuen. Yksiselitteistä lienee miten  $k_j$  lasketaan valon vähenemiseen perustuen, mutta valokennon herkkyys ja etenkin sen antama ulostulojännite vaikuttavat mittaustulokseen. Ulostulojännitteen vaihtelualueen laajuus vaikuttaa sen herkkyyteen pienten opasitee-

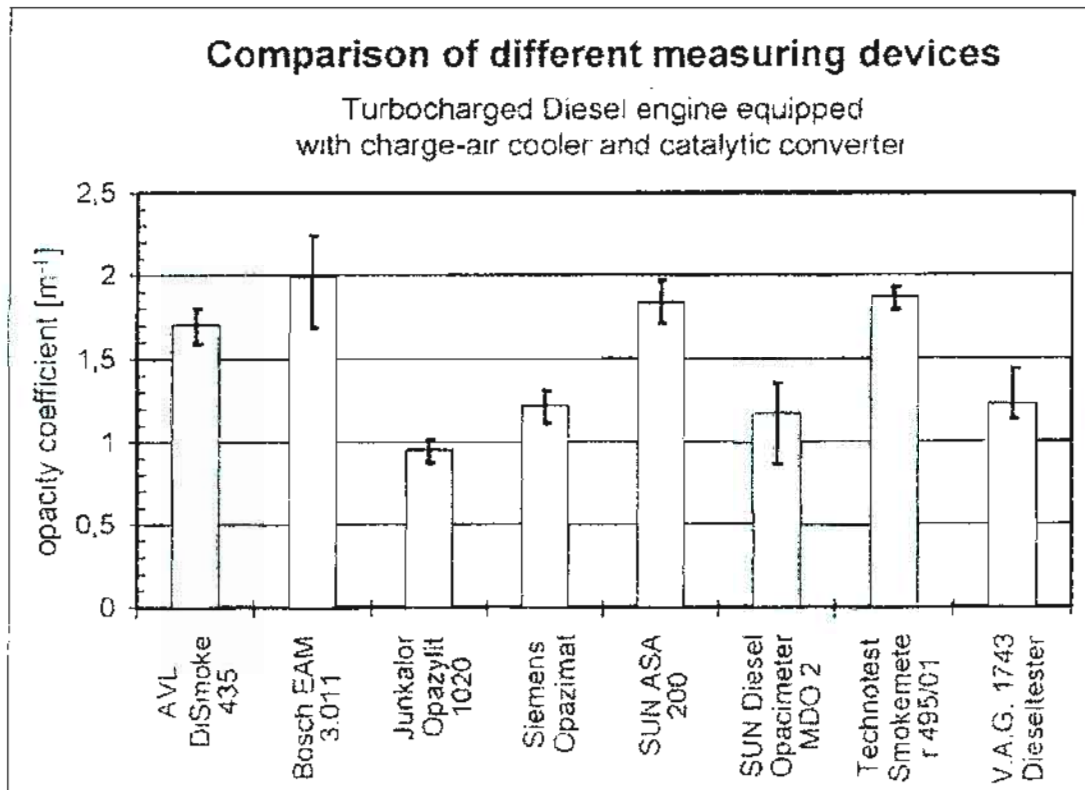


tin muutosten suhteen, mutta laskentaohjelmasta riippuu onko tällä merkitystä.

Pakoputkistossa tapahtuvan virtauksen kuristumisen aiheuttama konsentraation muuttuminen saattaa vaikuttaa eri tavoin erimerkkisillä savutusanalysaattoreilla. Mittalaitteen pitää verrata mittakammion painetta ulkoilman paineeseen, mutta tämä ei suoraan indikoi virtauksen kuristumista. Kuristunutta virtausta ei täten voida välttämättä tunnistaa.

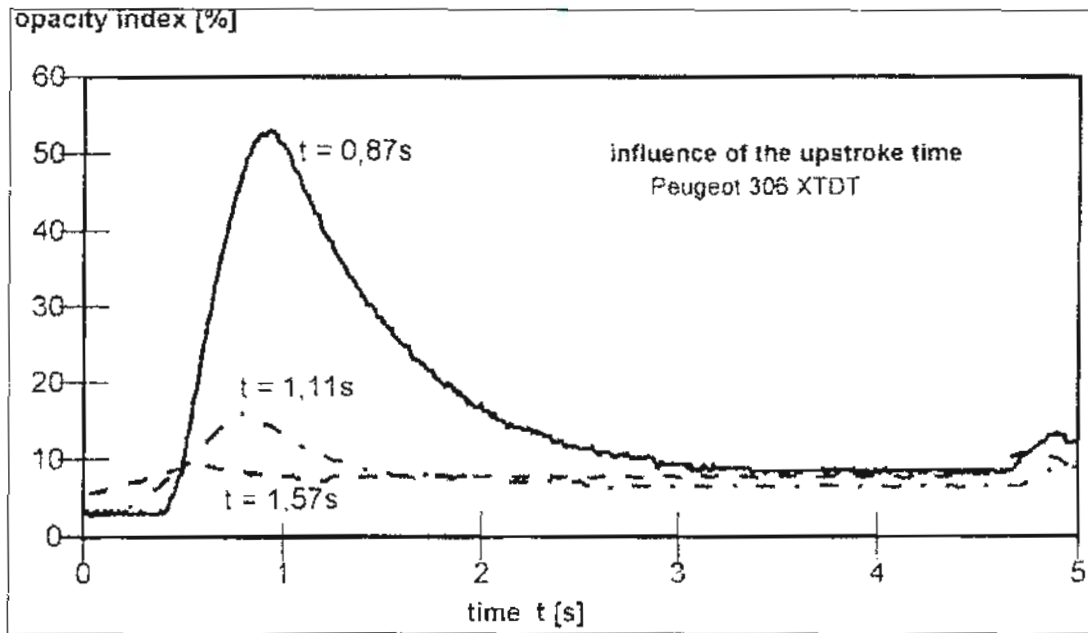
### **3.4 Savutusmittareita vertaileva tutkimus**

Technische Universität Wien on Euroopan komission tuella tehnyt eri valmistajien savutusmittareita vertailevan tutkimuksen. Oli ilmeistä, että oleelliset erot savutusmittauksissa eivät johtuneet ajoneuvosta tai sen esivalmistelusta, vaan nimenomaan käytettävästä opasimetristä. Keskimääräiseen mitattuun absorptiokertoimen arvoon havaittiin saatavan noin 50 %:n poikkeamia /7/. Kuvaan 9 on koottu eri mittareilla saadut keskimääräiset k-arvot ja vaihteluvälit. Samalla opasimetrillä mitatut arvot ovat verraten stabiilit, mutta laitemerkkikohtaiset erot ovat suuret. Erot johtuvat mittareiden mekaanisesta ja sähköisestä kokoonpanosta sekä valokennosta saatavan signaalin käsittelystä /7/.

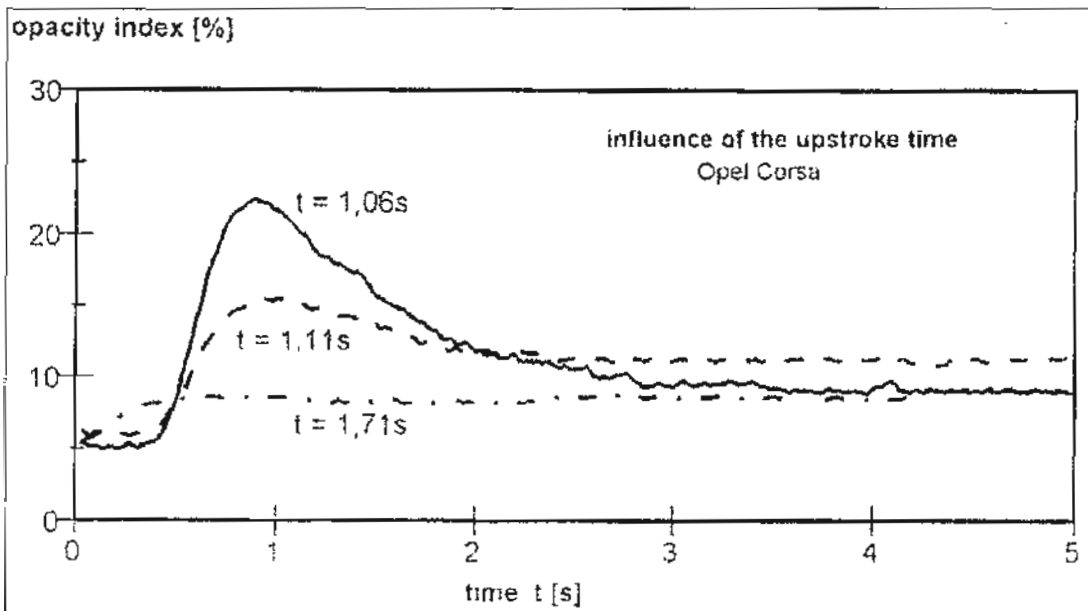


Kuva 9. Merkkikohtaiset näyttämät /7/.

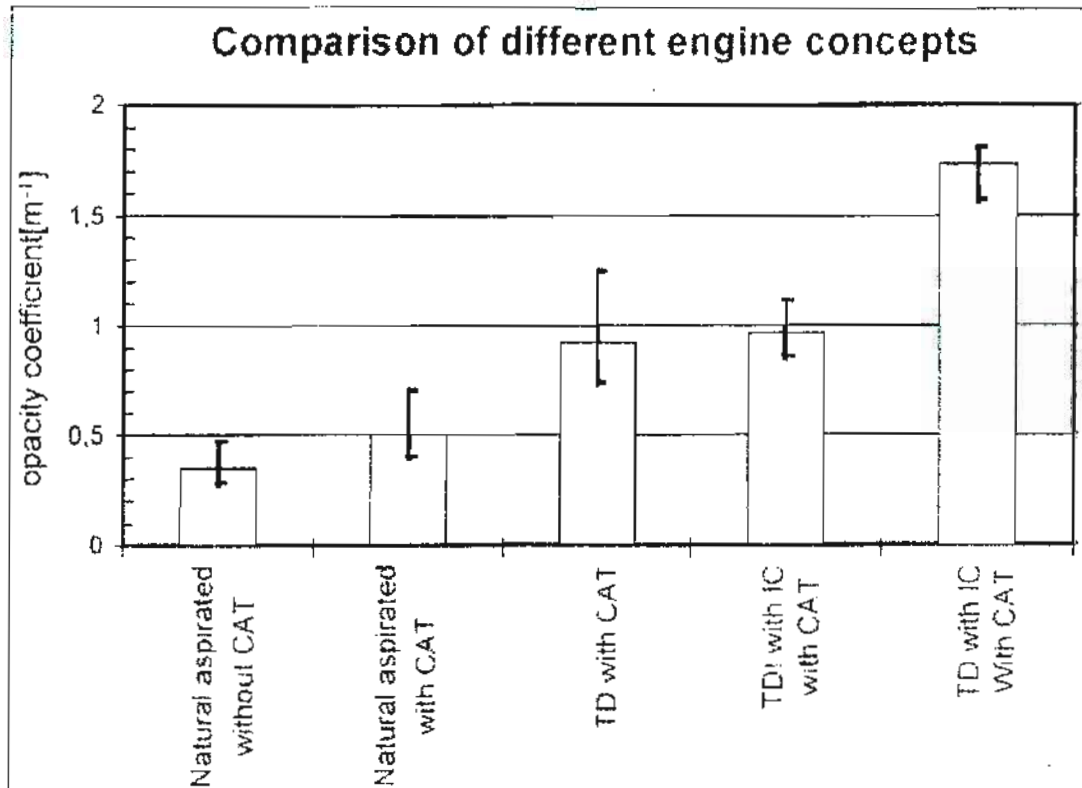
Näytteenottosondin sijoituksella pakoputkessa ei havaittu olevan merkitystä. Sen sijaan nousuajan merkitys havaittiin huomattavaksi. Kuvissa 10 ja 11 on esitetty nousuajan vaikutus hetkelliseen opasiteettiin turboahtimella ja välijäähdyttimellä varustetulla autolla sekä vapaasti hengittävällä moottorilla varustetulla autolla. Nousuajan pidentyessä opasiteetti pienenee voimakkaasti. Konstruktioiden väliset erot johtuvat turbomoottorin toimintaperiaatteesta. Dieselmoottori toimii aina ilman ylimäärällä. Ahdetun dieselmoottorin polttoaine-ilmaseos rikastuu huomattavasti polkaistaessa kaasupoljin ripeästi pohjaan, sillä tällöin syötetään nopeasti runsaasti polttoainetta, kun taas tyhjäkäynnillä olevan ahtimen nopeus ja ahtopaine ovat alhaiset, jolloin ilmaa ei pystytä syöttämään riittävästi. Kuvaan 12 on koottu eri moottorikonstruktiosta mitatut keskimääräiset opasiteetit ja vaihteluvälit. Kokeessa havaittiin mittauksen toistettavuuden edellyttävän nopeaa polkaisua. Nousuaikojen vaihtelun vertaileminen todettiin hyväksi apukeinoksi virheellisten mittausten havaitsemiseksi /7/.



Kuva 10. Nousuajan vaikutus savutukseen; ahdettu moottori /7/.

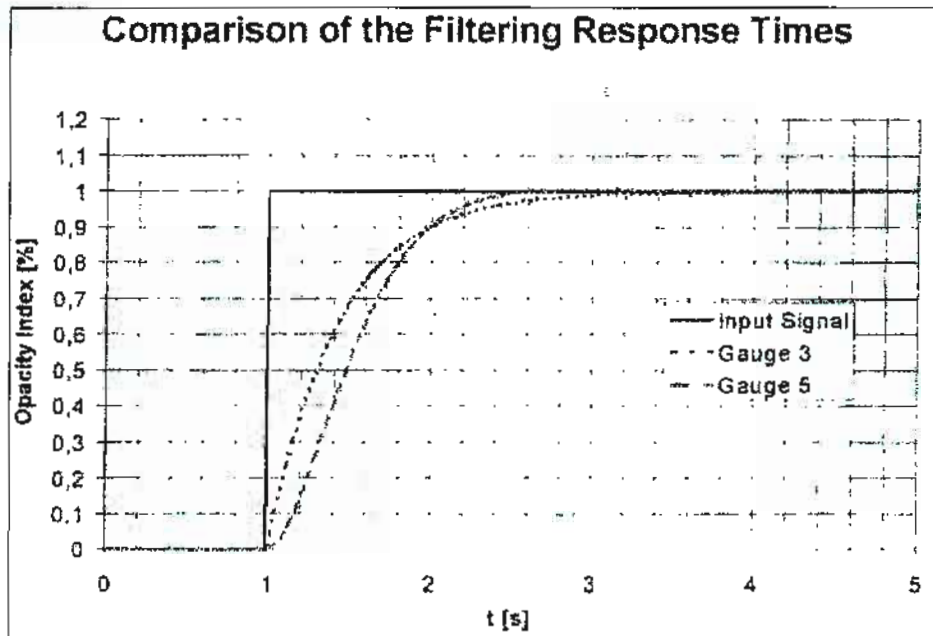


Kuva 11. Nousuajan vaikutus savutukseen; vapaasti hengittävä moottori /7/.

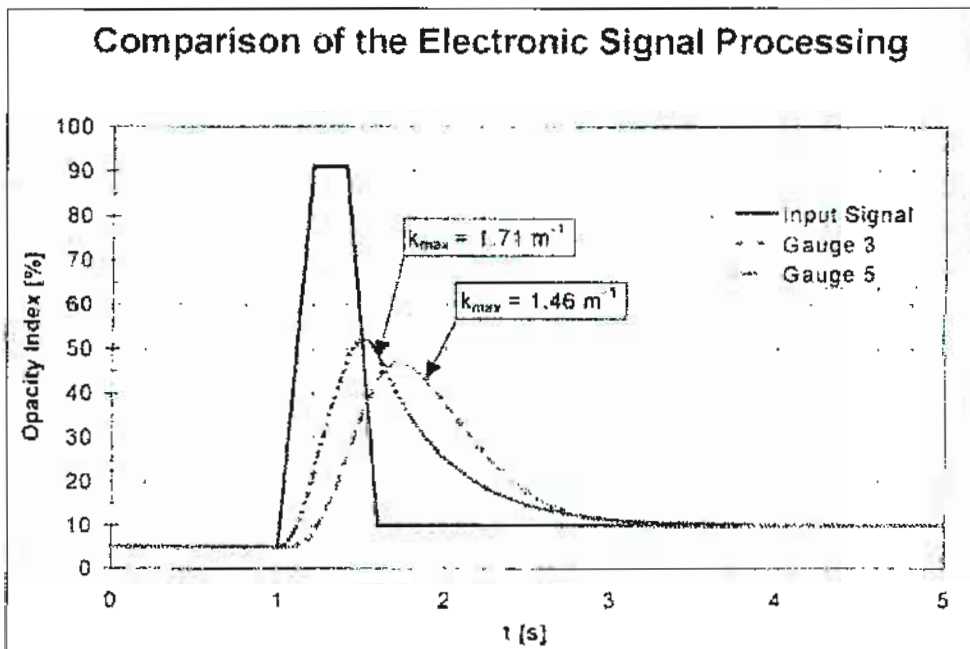


Kuva 12. Moottorikonstruktion vaikutus keskimääräiseen savutukseen [7].

Valokennosta saatavaa analogista signaalia käsitellään ensinkin rajoittamalla sen kaistanleveyttä ja muuntamalla se digitaalseksi. Signaalista lasketaan ja tallennetaan näytteenottotaajuuden mukaiset keskiarvot ja signaali suodataan, minkä jälkeen opasiteetti ja valon absorptiokerroin voidaan laskea. Ku-  
vissa 13 ja 14 on verrattu kahdelle erimerkkiselle mittarille syötetyn signaalin antamia tuloksia suodatuksen vasteajan ja k-arvon suhteen [7].



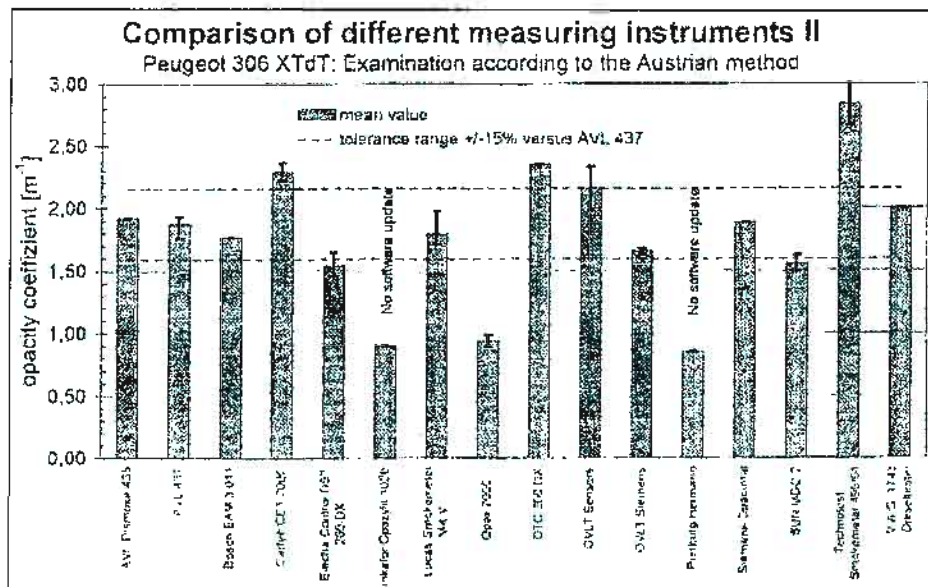
Kuva 13. Suodatuksen ja vasteajan vaikutuksen vertailua askelsyötteellä /7/.



Kuva 14. Signaalinkäsittelyn vertailua /7/.

Kuvassa 15 on koottuna tutkimuksessa käytetyillä opasimetreillä saadut keskimääräiset tulokset ja tulosten vaihtelu erään pyörrekammiodieselmoottorilla, turboahtimella ja välijäähdyttimellä varustetun auton osalta /7/. On syytä mainita, että erimerkkisten mittalaitteiden näyttämien keskinäinen suuruusjärjestys säilyi käytännöllisesti katsoen muuttumattomana myös suoraruiskutuksella,

ahtimella ja välijäähdyttimellä varustetulla moottorilla ja vapaasti hengittävällä moottorilla.



Kuva 15. Savutusmittarien vertailua [7].

### 3.5 Päästömittauksen virhemahdollisuudet

#### 3.5.1 Sisäiset virhemahdollisuudet

Savutustapahtuma ei ole tasainen vaan pakokaasun sameus riippuu ryntäyksen vaiheesta sekä syötettävän polttoaineen määrästä. Koska laitteet laskevat mittausjakson aikana vallinneen keskimääräisen sameuden, vaikuttaa laskentaohjelma tuloksiin, jolloin erimerkkisillä laitteilla ei sisäisistä eroista johtuen yksinkertaisesti ole mahdollista päästä samoihin tuloksiin. Yksiselitteisten määräysten puuttuessa ei sinänsä ole mahdollista nimetä yhden laitteen antamaa tulosta oikeaksi tai toisen vääräksi. Saman valmistajankin laitteissa saattaa tietenkin olla yksilöllisiä eroja. Hetkellisen opasiteetin mittaamisesta saatu tulos vaihdellee yksilöittäin jollain vaihteluvälillä esimerkiksi valolähteen ja valon vastaanottimen takia, mutta ylipäättään tulosten vaihteluvälit huomioon ottaen tämä ei voine olla merkityksellistä.

Mittareissa voi olla eri mittausasetuksia, jolloin käytetään erilaisia sähköisiä vasteaikoja. Lyhyempiä vasteaikoja käyttäen voidaan savutusta mitata tarkemmin, mikä varsinkin vähän savuttavien autojen kohdalla on merkityksellistä pienien

erojen selville saamiseksi. Tämä koskee kuitenkin lähinnä huolto- ja korjaustoimintaa, sillä katsastuksessa olisi käytettävä 900-1100 ms vasteaikaa. Erästä mittarista on valittavissa 400 ms:n ja 1000 ms:n vasteajat, joista 400 ms:n vasteajalla saadaan n. 1,5 – 2 -kertaisia tuloksia 1000 ms:n vasteajalla saataviin nähden.

Laitteessa saattaa olla suoranainen tekninen vika, esimerkiksi huollon laiminlyömisestä aiheutuva mittakammion likaisuus tai vuotavia liitoksia näytteenottoputkistossa. Näytteenottojärjestelmä tulisiikin säännöllisesti tarkastaa silmämääräisesti, mutta virtausta kuristavat pienet tukkeumat voivat silti olla vaikeasti todettavissa. Letkut on kuitenkin helppo puhdistaa virtaussuuntaa vastaan puhalletulla paineilmalla. Koska mittarit pääsääntöisesti tarkastavat näyttämän automaattisesti ennen mittauksen aloittamista mittakammion likaisuuden kompensoimiseksi ja ovat suorastaan varustetut likaisuudesta varoittavalla järjestelmällä, pitäisi mittakammion likaisuuden olla helposti havaittavissa ja korjattavissa.

### **3.5.2 Ulkoiset virhemahdollisuudet**

Tarkoitus on mitata nimenomaan moottorin savutusta. Auton huolellinen esivalmistelu eli varmistuminen siitä, että mittauksia tehdään vain lämpimällä moottorilla, jolle on tehty riittävät puhdistusryntäykset, on välttämätöntä. Edelleen esivalmisteluihin kuuluu voiteluöljyn ja jäähdytysveden määrän tarkastaminen. Jos öljyä tai vettä on liian vähän, on riski, että moottori vaurioituu ryntäyksessä, ja toisaalta liian suuri öljyn määrä voi lisätä huohotusta, mikä näkyy savutuksessa moottorin polttaessa voiteluainetta.

Mittaus ulkona pakkasella taikka vesi- tai lumisateessa vääristää tuloksia. Lämpötilan laskiessa saattaa savutus ensin laskea ja sitten nousta jyrkästi. Vääriin tuloksiin vesi- tai lumisateella on ilmeisesti syynä huuhteluilman joukossa oleva kosteus tai lumi. Myös lämpötilan on väitetty vaikuttavan mittauksituloksiin. Hieman 0 °C alapuolella savutus pienenee n. 10-30 % kylmän imuilman takia, mutta n. -10 °C lämpötilassa saadaan n. 20 % suurempi savutusarvo. Korkeampi arvo on seurausta kylmästä pakokaasusta muodostuvasta vesihöyrystä /8/. Ilmankosteus vaikuttaa mitattuihin arvoihin sekä palotapahtuman että mittarin huuhteluilman kautta.

Pakoputkesta voi tulla valkeaa savua moottoria kiihdytettäessä, jos se on ollut pitkään tyhjäkäynnillä. Savu on hiilivetyjen, vesihöyryn ja typpimonoksidin kemiallinen vaaraton yhdistelmä, joka muodostuu kylmässä katalysaattorissa sen lämmitessä nopeasti /9/.

Koska mittaus perustuu valon läpäisykykyyn, vaikuttavat niin vaalea vesihöyry kuin voiteluöljyn aiheuttama sininen savu ja pakoputkistosta irtoava noki mitaustulokseen. Jos peräkkäin mitatut  $k_f$ -arvot muodostavat laskevan sarjan, on tämä merkki puutteellisesta esivalmistelusta ja mittauksia on jatkettava kunnes ajoneuvo tasaantuu ja saadaan luotettavia tuloksia. Käytännön merkitystä tällä on katsastusta ajatellen vain silloin, kun mitattavat arvot ovat niin suuria, että ajoneuvo olisi hylättävä.

Korkea savuarvo ei tietenkään sinänsä ole merkki virheellisesti mittauksesta vaan kohonnut savutus voi johtua viasta mitattavassa autossa. Varsin yleinen vika on yksinkertaisesti likainen ilmasuodatin, jolloin moottorin ilmavirtaus kurostuu eikä moottori toimi tarkoitetulla ilmaylimäärällä. Paljon ajettu kulunut moottori voi savuttaa voimakkaasti männänrenkaiden ohi tai venttiilinvartta pitkin palotilaan joutuneen voiteluöljyn takia. Useilla moottoreilla n. 1,5 litran öljyn kulutus tuhatta kilometriä kohden edellyttää moottorin korjaamista savutusmittauksen läpäisemiseksi /8/. Suurentunutta savutusta aiheuttavat myös vialliset ruiskutussuuttimet, liian alhainen ruiskutusaine ja viallinen taikka väärin säädetty ruiskutuspumppu sekä elektronisissa järjestelmissä viallinen ohjainlaite tai vialliset tunnistimet. Autossa oleva vika saattaa aiheuttaa myös virheellisen joutokäynnin pyörintänopeuden tai ryntäyspyörintänopeuden taikka liian suuria poikkeamia mitatuissa  $k_f$ -arvoissa /8/.



## **4 MITTAUKSET, TULOKSET JA JOHTOPÄÄTELMÄT**

### **4.1 Mittausten tarkoitus**

Tätä tutkimusta varten tehtyjen mittausten tarkoituksena oli kerätä aineistoa, jota luokittelemalla ja tilastollisesti tarkastelemalla voitaisiin tehdä johtopäätöksiä siitä, miten eri tekijöiden vaihtelu vaikuttaa mittaustulokseen. Mittaustuloksia kerättiin sekä dieselkorjaamoilta että katsastustoimipaikoilta ja lisäksi tehtiin vertailumittauksia referenssilaitteilla. Referenssimittauksin varmistetaan mittausten luotettavuus ja saadaan vertailukohta, miten arvot vaihtelevat yhdellä mittalaitteella mitattuna. Tavoitteena oli mittausten perusteella pystyä tilastollisesti osoittamaan sään, lämpötilan, esivalmistelujen ja savutusmittarin merkin vaikutus mittaustulokseen jollain luottamusvälillä.

Mittaustulosten ohella kerättiin myös tarpeellisiksi katsotut tausta- ja säätiedot. Taustatietoihin kirjattiin esimerkiksi tehtiinkö mittaus sisällä vai ulkona. Huomio kiinnitettiin myös erityisesti mittaajan suorituksen huolellisuuteen ja tarkkuuteen mahdollisten epätarkkuuksien vaikutuksen eliminoimiseksi ja toisaalta selvittämiseksi. Tutkimus perustuu siis havaintoihin, sillä olosuhteisiin ei vaikuta eikä kyseessä siten ole koe, vaan seurataan olosuhteiden muutosten vaikutusta. Tiukasti ottaen kausaalisia johtopäätöksiä ei tosin voida tehdä havaintoihin perustuvan tutkimuksen perusteella, mutta tässä asiassa tarkoituksenmukaiseen tarkkuuteen on syy-yhteyksien löytämisessä mahdollista päästä.

### **4.2 Mittaukset dieselkorjaamoilla**

#### **4.2.1 Taustaa**

Dieselkorjaamoita ja muita päästötarkastusten tekijöitä valvotaan lähinnä niille tehtävin tarkastuskäynnein, sillä päästöjen tarkastaminen ei edellytä lupaa vaan riittää, että siitä tehdään ilmoitus Ajoneuvohallintokeskukseen.

Osana Ajoneuvohallintokeskuksen dieselpäästömittaajiin kohdistamaa valvontaa tehtiin joulukuun 2001 ja tammikuun 2002 aikana 55 tarkastuskäyntiä koko maan alueella. Tämän tutkimuksen takia tarkastuskäyntien kohteeksi valittiin sellaiset korjaamot, jotka olivat ilmoittaneet aloittavansa dieselajoneuvojen

päästötarkastukset tai vaihtaneensa mittalaitetta vuosien 1999 – 2001 aikana, millä pyrittiin rajaamaan vanhimmat mittarit pois tutkimuksesta. Tarkastuspaikalle ei kerrottu kyseessä olevan tutkimuksen. Esimerkki tarkastuspöytäkirjasta on liitteenä 1.

#### **4.2.2 Lähtökohdat**

Tarkoitus oli selvittää mittauksen luotettavuus, joten oli huolehdittava siitä, että mitattava ajoneuvo oli sellaisessa kunnossa, että siitä oli periaatteessa mitattavissa vertailukelpoisia tuloksia. Tämän saavuttamiseksi auto huollettiin ja polttoaineensyöttölaitteiston suuttimet tarkastettiin ja säädettiin. Auton moottorin jakohihna vaihdettiin täsmällisen toiminnan ja kestävyuden tähden ja pakoputkisto uusittiin sen varmistamiseksi, ettei siinä ole vuotoja ja ettei siitä irtoava noki tai karsta pääse vaikuttamaan tuloksiin. Ajoneuvoksi valittiin vuosimallia 1987 oleva turboahdetulla nelisylinterisellä iskutilavuudeltaan 2,47 litran dieselmoottorilla varustettu maastohenkilöauto, jonka mallisten autojen mitatuissa savutusarvoissa tiedettiin olleen varsin suuria vaihteluita.

Moottorin lämpötilan merkitys savutuksen kannalta katsottiin niin merkittäväksi, että päätettiin olla tutkimatta sitä erikseen. Tästä johtuen huolehdittiin siitä, että moottori oli saavuttanut normaalin käyntilämpötilan vietäessä auto tarkastuspaikkaan. Tarkastuspaikoilla ei kerrottu, että kyseessä on tutkimus, minkä takia pakokaasupäästöjen tarkastusta ei käytännössä voitu tehdä itse, vaan oli tyydyttävä tarkkailemaan mittauspaikan edustajan suoritusta. Toisaalta korjaamojen ammattitaitoisen henkilökunnan voidaan olettaa tekevän tasalaatuisia suorituksia, eikä tästä katsottu aiheutuvan liikaa epävarmuutta, mutta olisi kiinnitettävä erityisesti huomiota mittauksien huolellisuuteen. Olisi ollut mielenkiintoista ottaa selville tarkastuspaikkojen käyttämien mitta-reiden huolto- ja kalibrointitiedot, mutta tämä osoittautui käytännössä mahdottomaksi, koska ei voitu kertoa kysymyksessä olevan tutkimuksen.

Mittausten yleisen luotettavuuden tähden kunakin päivänä, jona mittauksia korjaamoilla suoritettiin, tehtiin ensin vertailumittaus referenssimittalaitteella. Vertailumittariksi valittiin tunnetun valmistajan savutusanalysaattori, joka pidettiin mukana.

### 4.2.3 Oletukset ja tavoite

Lähtökohtana oletettiin, että ulkoiset tekijät kuten ilman lämpötila ja kosteus sekä se, suoritetaanko mittaus sisällä vai ulkona, vaikuttavat mittaustulokseen. Tarkoitus oli täten kerätä tilastollista aineistoa ja sitä analysoimalla yrittää löytää näiden korrelaatio savutukseen ja varmistaa johtopäätökset vertailemalla niitä referenssimittalaitteen näyttämiin. Koska mittaukset tehtäisiin joulutammikuun aikana koko maassa, olisi odotettavissa varsin vaihtelevia olosuhteita. Kenttätutkimukseen käytettävissä olevan ajan takia ei ollut mahdollista järjestellä mittauksia vallitsevan säätilan mukaan, vaan ainoastaan voitaisiin kerätä sää tiedot.

Toiseksi merkittäväksi tekijäksi savutukseen oletettiin kaasupolkimen pohjaan painamisen nopeus. Näin ollen haluttiin tutkia, voidaanko tulosteesta ilmenevän nousuajan ja savutuskertoimen välillä havaita korrelaatiota.

Lisäksi laskettaisiin mittaustulosten keskiarvo ja hajonta laitevalmistajakohtaisesti, joita voitaisiin verrata aikaisempien tutkimusten tuloksiin, ja selvitettäisiin onko havaittavissa sellaisia arvojen kasautumisia, joiden voitaisiin katsoa johtuvan laitemallikohtaisista eroista.

### 4.2.4 Mittaustulokset ja johtopäätelmät

#### 4.2.4.1 Mittaustulosten yleinen tarkastelu

Mittaukset osoittivat odotukset tulosten vaihtelusta oikeutetuksi. Taulukkoon 2 on koottu mittausten tuloksena saadut valon absorptiokertoimet merkeittäin suuruusjärjestyksessä sekä taulukkoon 3 näiden keskiarvo, keskihajonta ja variaatiokerroin sekä mediaani ja vaihteluvälin pituus. Mittaustulos saatiin kaikkiaan 55 eri tarkastuspaikasta ja lisäksi mitattiin 15 referenssiarvoa. Mitatut valon absorptiokertoimet ovat suhdeasteikon muuttujia, sillä käytetyn asteikon pisteiden välimatkoilla on mielekäs kuvaava merkitys ja asteikolla on absoluuttinen nollapiste. Keskihajonta osoittaa monenko yksikön päässä keskiarvosta yksittäiset k-arvot keskimäärin sijaitsevat. Variaatiokerroin on hajontaluku, joka tarkoittaa keskiarvoon suhteutettua hajontaa ja tekee eri suuruusluokkien hajonnat keskenään vertailukelpoisiksi. Variaatiokerroin siis ilmaisee, kuinka lähellä mitattujen arvojen keskiarvoa mitatut arvot keskimäärin

sijaitsevat. Vaihteluvälin pituus on suurimman ja pienimmän mitatun arvon erotus. Mediaani ilmaisee havaintoaineiston keskimmäisen arvon ja se on keskiarvoa parempi jakauman keskikohtaa ilmaiseva luku silloin, kun aineistossa on paljon poikkeavia arvoja.

*Taulukko 2. Mittaustulokset korjaamoilla ja referenssiarvot.*

| Merkki | Valon absorptiokerroin |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A      | 0,62                   | 1,76 | 1,65 | 1,95 | 2,22 |      |      |      |      |      |
| B      | 0,55                   | 0,94 | 1,00 | 1,00 | 1,02 | 1,12 | 1,16 | 1,19 | 1,19 | 1,22 |
|        | 1,29                   | 1,35 | 1,37 | 1,48 | 1,61 | 1,69 | 1,72 | 1,81 | 1,97 | 2,04 |
| D      | 0,78                   | 1,00 | 1,12 | 1,23 | 1,30 | 1,49 | 1,56 | 1,66 | 1,94 | 2,02 |
|        | 2,27                   | 2,95 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| E      | 0,90                   | 1,05 | 1,47 | 1,64 | 1,71 | 1,77 |      |      |      |      |
| F      | 2,31                   | 2,65 | 2,75 |      |      |      |      |      |      |      |
| J      | 0,34                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| M      | 0,84                   | 1,20 | 1,48 | 1,54 | 1,67 | 1,75 | 2,16 |      |      |      |
| O      | 2,56                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Ref    | 1,11                   | 1,18 | 1,25 | 1,29 | 1,43 | 1,52 | 1,56 | 1,58 | 1,72 | 1,72 |
|        | 1,75                   | 1,75 | 1,75 | 1,98 | 2,28 |      |      |      |      |      |

*Taulukko 3. Eräitä tunnuslukuja merkeittäin.*

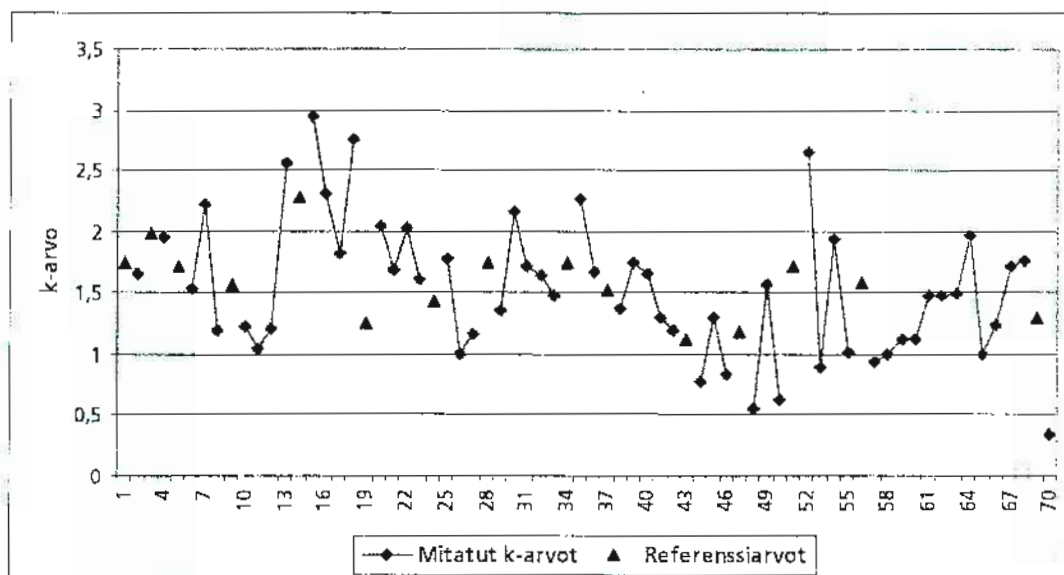
| Merkki    | Keskiarvo | Keskihajonta | Variaatio-<br>kerroin | Mediaani | Vaihteluvälin<br>pituus |
|-----------|-----------|--------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| A         | 1,64      | 0,61         | 0,37                  | 1,65     | 1,60                    |
| B         | 1,34      | 0,38         | 0,28                  | 1,26     | 1,49                    |
| D         | 1,61      | 0,61         | 0,38                  | 1,53     | 2,17                    |
| E         | 1,42      | 0,36         | 0,26                  | 1,56     | 0,87                    |
| F         | 2,57      |              |                       | 2,65     | 0,44                    |
| J         | 0,34      |              |                       | 0,34     | 0,00                    |
| M         | 1,52      | 0,42         | 0,28                  | 1,54     | 1,32                    |
| O         | 2,56      |              |                       | 2,56     | 0,00                    |
| Ref       | 1,59      | 0,31         | 0,20                  | 1,58     | 1,17                    |
| Korjaamot | 1,53      | 0,56         | 0,36                  | 1,49     | 2,61                    |
| Kaikki    | 1,50      | 0,47         | 0,32                  | 1,55     | 2,61                    |

Tarkastuspaikoilla mitatut arvot vaihtelivat välillä 0,34 – 2,95 [ $\text{m}^{-1}$ ], mitä voidaan pitää kestäättömänä, kun otetaan huomioon hyväksymisen, hylkäämisen ja ajokieltoon määräämisen raja-arvot. Huomionarvoista kuitenkin on, että yhdessäkään tarkastuspaikassa ei mitattu arvoa  $k > 3,0 \text{ m}^{-1}$ , jolloin auto olisi ollut hylättävä. Tarkastuspaikoilla mitattujen k-arvojen aritmeettinen keskiarvo oli 1,53 ja keskihajonta 0,56. Tarkastuspaikkojen mediaani 1,49 on suhteellisen lähellä keskiarvoa ja arvot jakautuvatkin verraten tasaisesti vaihteluvälille. Vaikka hajonta on suuri ja vaihteluväli pitkä, ei aineistossa kokonaisuudessa ole

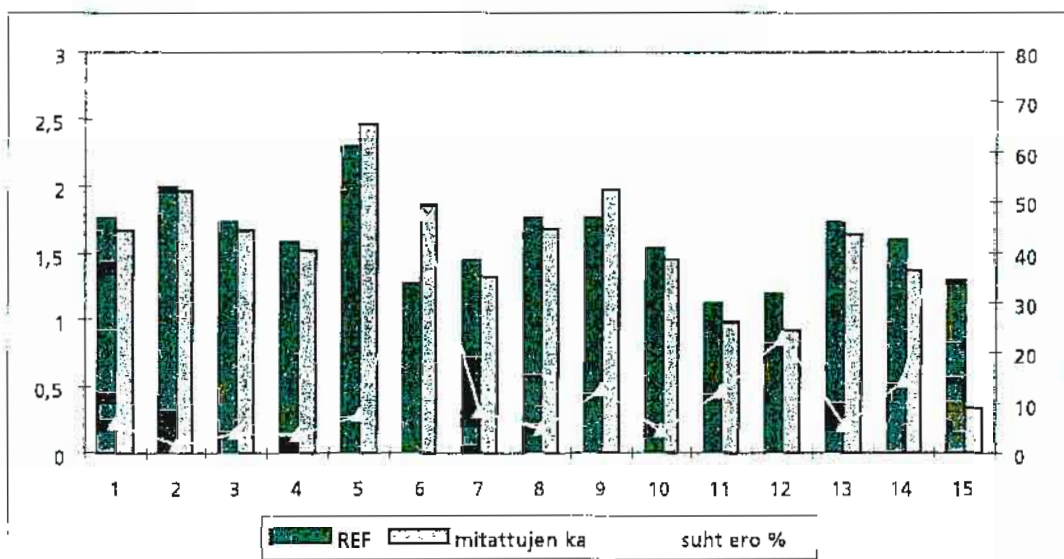
varsinaisesti poikkeavia arvoja, mikä on havaittavissa myös liitteessä 8 olevista kuvaajista, joissa on esitetty mitatut arvot merkeittäin suuruusjärjestyksessä.

Referenssiarvot vaihtelivat tasaisesti välillä  $1,11 < k < 2,28$  ja niiden aritmeettinen keskiarvo oli 1,59 sekä keskihajonta 0,31. Referenssiarvojen variaatiokerroin 0,20 oli pienin kaikista, mikä on sinänsä ymmärrettävää ottaen huomioon sen, että mitattiin yhden auton savutusta samalla mittarilla saman mittajaan toimesta. Vaihtelu on kuitenkin huomattavan suurta. Tämän vaihtelun voisi olettaa johtuvan pääosin ulkoisten olosuhteiden ja mahdollisten muiden vakioimattomien muuttujien vaihtelusta, kuten kaasupolkimen pohjaan painamisen nopeudesta.

Testattavaksi otettujen mittauspaikkojen maantieteellisen sijainnin takia yhtä referenssimittauksia kohden sattui vaihteleva määrä varsinaisia tarkastuspaikan tekemiä mittauksia. Kuvasta 16 ilmenee kukin mitattu referenssiarvo ja siihen liittyvät korjaamoilla mitatut arvot. Vaikka vaihtelut ovat suuria ja vaihteluvälin pituus yhtä referenssimittauksia kohden enimmillään  $R_{\max} = 2,65 - 0,90 = 1,75 \text{ [m}^3\text{]}$  (13. referenssimittaus,  $k_{\text{ref.13}} = 1,72$ ; kuvan 16 mittaukset 51-53), voidaan kuvasta 17 nähdä, että kunkin referenssiarvon ja vastaavien mittaus tulosten keskiarvon ero on lopulta useimmiten sängen pieni. Keskiarvo ei yksin ole käytökelpoinen keskiluku kuvaamaan analysoitavien antamia tuloksia suuren hajonnan takia, mutta toisaalta käyttämällä keskilukuna esim. mediaania suhteellinen ero referenssiarvoon olisi yleensä ollut suurempi. Arvo  $k = 2,65$  mitattiin merkkiä F ja arvo  $k = 0,90$  merkkiä E olevilla savutusmittareilla. Ylipäättään merkkiä F olevilla mittareilla saatiin huomattavasti suurempia arvoja kuin merkkiä E olevilla laitteilla. Kuten taulukosta 2 ilmenee, suurinkin mittarilla E saatu arvo on paljon pienempi kuin pienin mittarilla F mitattu arvo. Liitteeseen 8 on pylväsdiagrammeiksi koottu merkkikohtaiset keskiarvot sekä kutakin referenssiarvoa vastaavat merkkikohtaiset keskiarvot ja erikseen taulukon 2 merkeittäin saadut arvot.



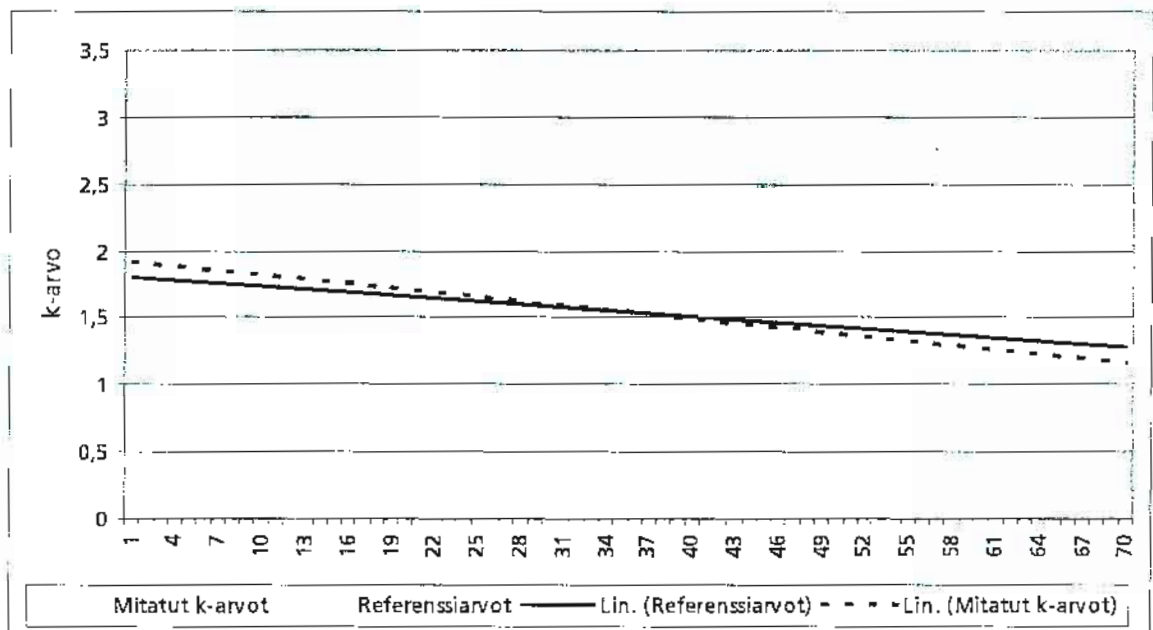
Kuva 16. Mitatut arvot mittausjärjestyksessä.



Kuva 17. Referenssiarvoa vastaava keskiarvo ja niiden suhteellinen ero.

Mittaustulosten hajonta jatkui huomattavana koko testisarjan ajan. Kuvaan 18 on sovitettu pienimmän neliösumman suora sekä referenssiarvoille että tarkastuspaikoilla saaduille arvoille (vrt. Kuva 16). Molemmat suorat ovat laskevia, mistä nähdään, että mittaustulokset keskimäärin pienenevät testin edetessä. Tämä oletettavasti johtuu auton ominaisuuksien muuttumisesta testin aikana, koska ilmiö on havaittavissa sekä referenssi- että korjaamomittauksista. Yksit-

täisten arvojen vaihtelu ei kuitenkaan juuri muutu testin edetessä, vaan tulokset ovat sikäli tasaisia. Referenssilaitteen kalibrointia ei siinä mielessä voitu tarkastaa testin päätyttyä, että varsinaista dynaamista kalibrointia ei mittarille voi tehdä. Savutuskammion mahdollisesta likaantumisesta aiheutuvan näyttämän muuttumisen mittalaite korjaa automaattisesti.



Kuva 18. Mittaustulosten pienimmän neliösumman suorat.

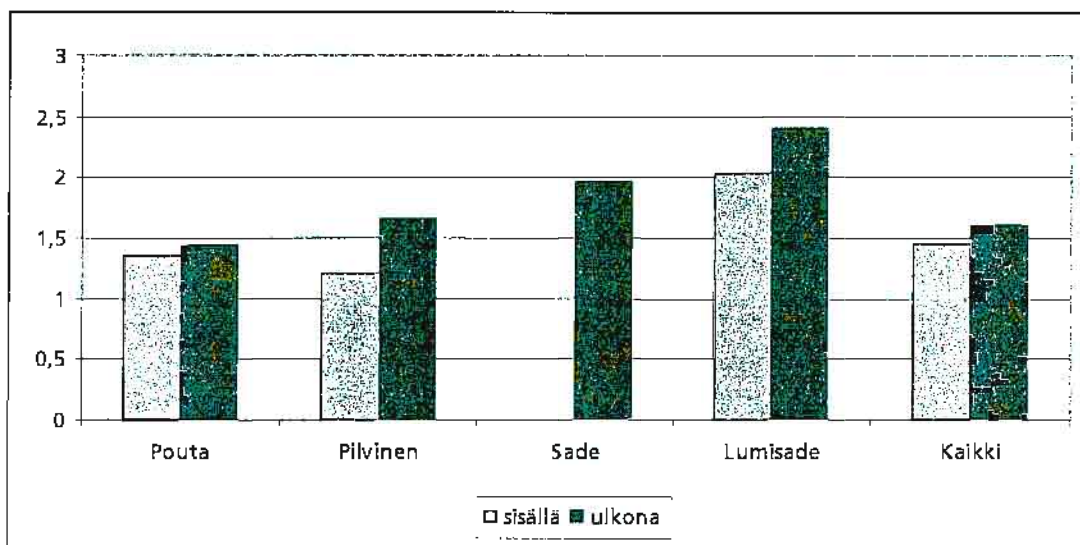
#### 4.2.4.2 Sääolosuhteiden vaikutuksesta

Ulkoisten tekijöiden oletettiin vaikuttavan mittaustuloksiin, joten mitatut arvot luokiteltiin sisällä korjaamohallissa ja ulkona tapahtuneisiin mittauksiin. Myös lämmittämättömässä hallissa tapahtuneet mittaukset katsottiin ulkona tapahtuneiksi. Tuloksia ei luokiteltu merkkikohtaisesti, sillä otokset olisivat muodostuneet niin pieniksi, että tilastollinen tarkastelu ei olisi ollut luotettavaa. Sääolosuhteet luokiteltiin viiteen ryhmään: poutasää, pilvinen sää, vesisade, sumu ja lumisade. Vesirateella saatiin vain yksi havainto ja sumussa ei yhtään.

Kuvassa 19 olevissa kuvaajissa keskiarvot sisällä on laskettu poutasään osalta 19 havaintoon, pilvisen sään osalta neljään ja lumisateen osalta viiteen havaintoon perustuen. Vesirateella ei tehty yhtään mittausta sisätiloissa. Ulkona poutasäällä tehtiin 21 havaintoa, pilvisellä säällä ja vesirateessa yksi havainto ja lumisateessa neljä havaintoa. Poutasää on siten ylliedustettuna havaintoaineistos-



sa, kun taas muiden säätilojen osalta tuloksia on liian vähän, että tuloksia voitaisiin tilastollisessa mielessä pitää luotettavina.



Kuva 19. Keskimääräinen k-arvo säätilan mukaan.

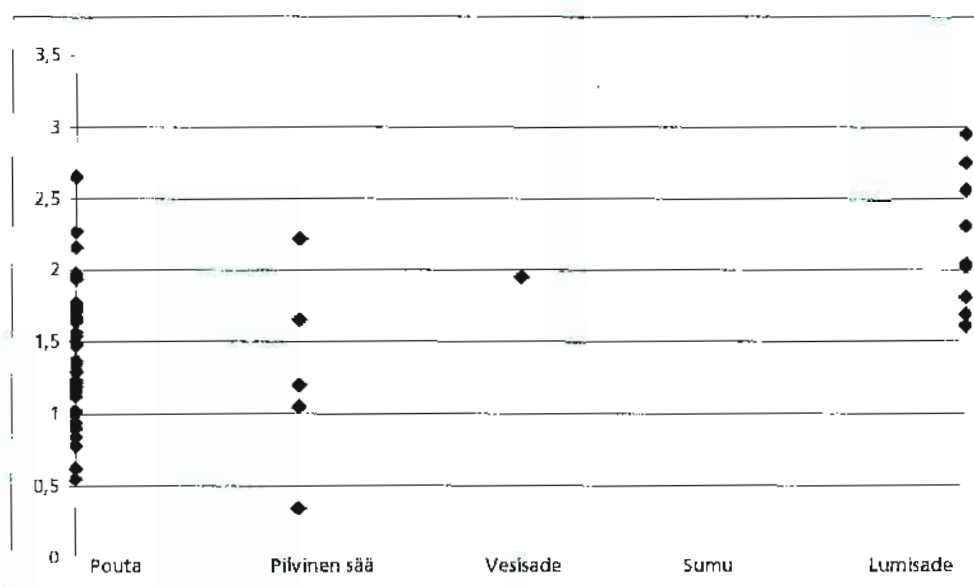
Toisaalta taulukosta 4 ilmeneviä hajontalukuja tarkastellen hajonta on ollut kohtuullista muiden kuin sisällä mitattujen pilvisen sään arvoja tarkastellen. Voidaan katsoa, että säätilalla on oletettu vaikutus mittaustuloksiin siten, että huonommalla säällä saadaan suurempia absorptiokertoimen arvoja.

Taulukko 4. Tunnuslukuja olosuhteiden mukaan.

| Sää      | keskiarvo |        | keskihajonta |        | variaatiokerroin |        |
|----------|-----------|--------|--------------|--------|------------------|--------|
|          | sisällä   | ulkona | sisällä      | ulkona | sisällä          | ulkona |
| Pouta    | 1,36      | 1,43   | 0,45         | 0,46   | 0,33             | 0,32   |
| Pilvinen | 1,20      | 1,65   | 0,78         |        | 0,64             |        |
| Sade     |           | 1,95   |              |        |                  |        |
| Lumisade | 2,03      | 2,39   | 0,48         | 0,45   | 0,24             | 0,19   |
| Kaikki   | 1,45      | 1,60   | 0,56         | 0,56   | 0,38             | 0,35   |

Kuvasta 20 ilmenee havainnollisesti, miten mitatut arvot jakautuvat eri säätilojen kesken. Poutasään ja pilvisen sään välillä ei ole havaittavissa merkittävää eroa. Vesisateessa on tehty vain yksi havainto ja sumussa ei lainkaan havain-toja. Lumisateen aikana mitatut arvojen keskiarvo 2,19 on 57 % suurempi kuin pilvi- ja poutasäällä mitattujen arvojen keskiarvo 1,39.





Kuva 20. K-arvot säätiloittain.

#### 4.2.4.3 Lämpötilan vaikutuksesta

Lämpötilan vaikutusta arvioitiin luokittelemalla aineisto ensinnäkin sisällä ja ulkona tehtyihin mittauksiin. Koska valtaosa mittauksista oli tehty poutasäällä, tarkasteltiin erikseen poutasäällä ja kaikissa sääolosuhteissa tehtyjä havaintoja. Muiden sääolosuhteiden osalta ei saatu riittävän suurta otosta, että erillinen tarkastelu olisi ollut mielekästä.

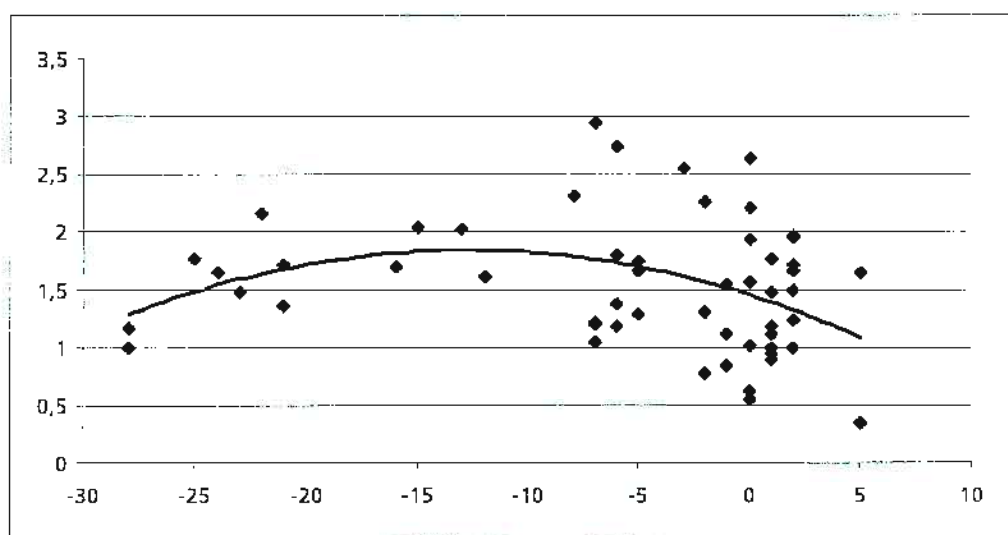
Kuvista 21 ja 22 ja taulukosta 5 nähdään, että savutusarvot kohoavat nopeasti lämpötilan laskiessa  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alapuolelle ja laskevat hieman pakkasen edelleen kiristytessä. Kuvissa olevat kuvaajat ovat pienimmän neliösumman menetelmällä ratkaistuja 2. asteen regressiokäyriä. Poutasäällä pakkasen vaikutus on aluksi vähäisempi kuin keskimäärin. Poutasään osalta lämpötilan lasku näyttäisi vaikuttavan lähes lineaarisesti, mutta tämä saattaa johtua vajaasta havaintoaineistosta, sillä lämpötila-alueella  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ei ole havaintoja. Toisaalta kylmemässä kuin  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n lämpötilassa on tehty havaintoja vain poutasäällä.

Lämpötilan vaikutusta mitattuun savutukseen tutkittiin myös merkkikohtaisesti tarkoituksena selvittää vaikuttaako lämpötilan muutos joillakin analysoitavilla enemmän kuin toisilla. Merkkiä A ja F olevat mittarit antoivat pienempiä arvoja lämpötilan laskiessa  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alapuolelle. Mitattuja arvoja ei tosin ollut kovin montaa eikä yhtään alle  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa. Kuvien 21 ja 22 regressiokäyriin ei

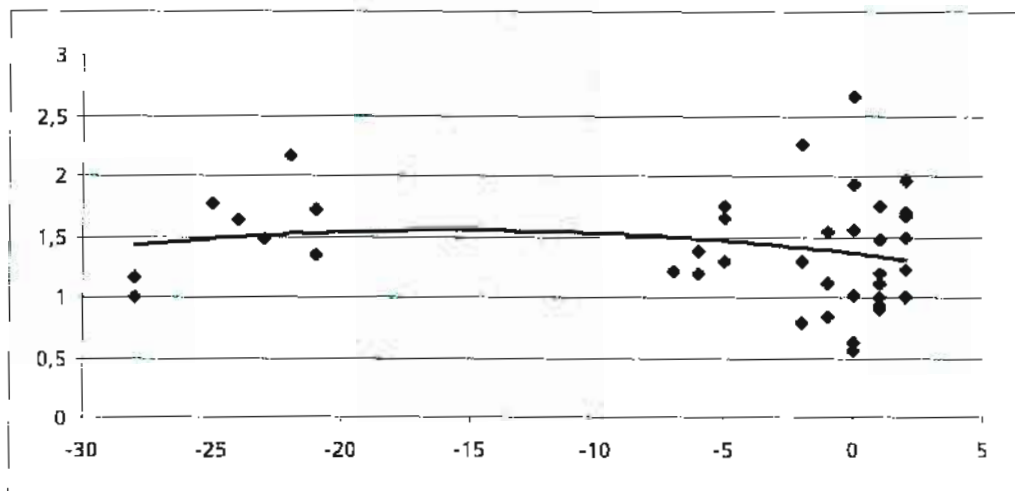
näiden mittareiden huomiotta jättämisellä ollut juurikaan vaikutusta. Kuvassa 23 on esitetty lämpötilan vaikutus mitattuun k-arvoon merkeittäin ja pienimmän neliösumman menetelmällä lasketut regressiokuvaajat osoittavat k-arvon muiden kuin mittareiden E ja M osalta ensin suurenevan ja sitten pienenevän lämpötilan laskiessa. Kuvan 21 regressiokäyrä jyrkkenei hieman jättämällä nämä mittalaitteet tarkastelun ulkopuolelle, mutta sen muotoon vaikutus oli vähäinen. Analysaattorilla B mitattuja arvoja oli selvästi eniten, 36 % kaikista, joten on helposti ymmärrettävissä, että analysaattorin B kuvaaja kuvassa 23 on voimakkaasti samanlainen kuin kuvassa 21 oleva kaikkia mittareita koskeva kuvaaja. Kuitenkaan Analysaattorilla B mitattujen arvojen huomiotta jättäminen ei juurikaan vaikuttanut kuvan 21 regressiokäyrän muotoon. Liitteeseen 9 on koottu edellä mainitut ilman eräitä mittalaitteita lasketut regressiokäyrät.

*Taulukko 5. Keskimääräiset k-arvot eräillä lämpötila-alueilla säätilan mukaan.*

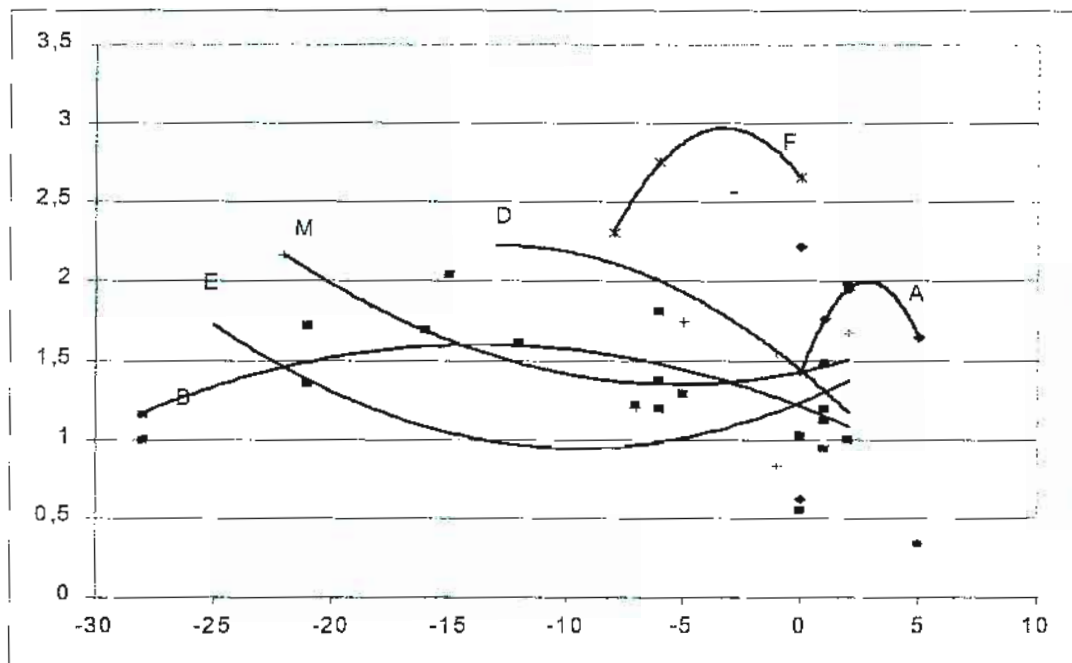
| Lämpötila-alue | Keskiarvo     |                 |
|----------------|---------------|-----------------|
|                | Poutasää      | Kaikki säätilat |
| -30 - -20      | 1,53          | 1,53            |
| -21 - -11      | ei havaintoja | 1,84            |
| -10 - 0        | 1,37          | 1,60            |
| +1 - +5        | 1,35          | 1,35            |



*Kuva 21. Lämpötilan vaikutus savutukseen.*



Kuva 22. Lämpötilan vaikutus savutukseen poutasäällä.



Kuva 23. Lämpötilan vaikutus mittarin näyttämään.

Jos kuvassa 23 olevina mittarikohtaisina regressiokäyriä käytettäisiin pienimmän neliösumman suoria, jotka ovat liitteessä 9, havaittaisiin niiden olevan laskevia A:n ja F:n suoria lukuun ottamatta. Tämä tukee käsitystä, että lämpötilan laskiessa savutus lisääntyy, mutta ei ota huomioon sitä, että lämpötilan edelleen laskiessa savutus saattaa vähentyä, mutta olla silti suurempaa kuin suojasäällä. Mittareittain katsottuna tulokset ovat ristiriitaisia, sillä osa mittareista antaa suurempia ja osa hieman pienempiä tuloksia, kun lämpötila laskee. Ko-

konaisuutena kuitenkin kuvan 21 mukainen trendi on voimassa, vaikka tarkastelun ulkopuolelle jätettäisiinkin joitakin mittareita. Keskimäärin savutus lisääntyy suojakeliin nähden kuvissa 21 ja 22 olevien kuvaajien mukaisesti jopa 25 – 40 % lämpötilan laskiessa n. -10 – -15 °C:een ja vähenee jälleen, kun lämpötila edelleen laskee.

#### 4.2.4.4 Nousuajasta

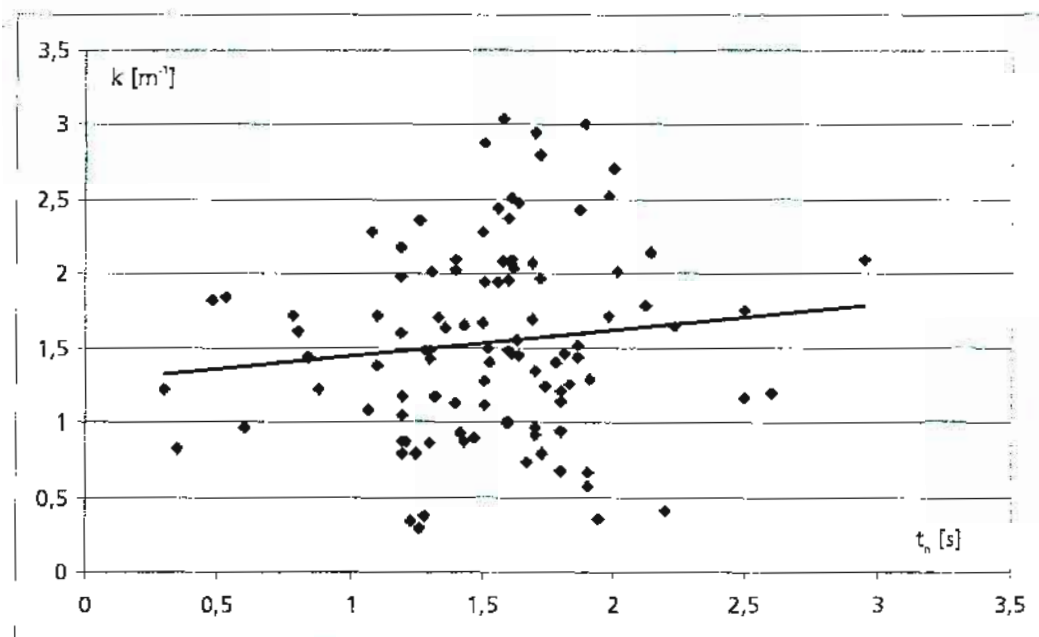
Painettaessa kaasu pohjaan hitaasti, on savutus vähäisempää kuin nopeasti painettaessa, sillä polttoainetta ei tällöin syötetä yhtä paljoa. Polkimen pohjaan painamisen nopeus ei ilmene mistään, mutta haluttiin tutkia, voidaanko savutusmittauksesta saadusta tulosteesta ilmenevän nousuajan perusteella arvioida onko mittaus tehty ohjeen edellyttämällä tavalla ja voidaanko nousuajan ja mitatun valon absorptiokertoimen välillä löytää korrelaatiota. Oletettiin, että nousuajan pidentyessä savutus vähenee.

Yksi päästötarkastus sisältää yleensä useamman yksittäisen mittauksen, koska tarkastuksen tuloksena saatava valon absorptiokertoimen arvo on kolmen yksittäisen mittaustuloksen keskiarvo, paitsi milloin on mitattu raja-arvon huomattavasti alittava  $k_f$ -arvo. Keskiarvona saatua valon absorptiokertoimen arvoa ei voida liittää nousuaikaan. Koska kutakin yksittäistä  $k_f$ -arvoa vastaa tunnettu nousuaika, on nousuajan tarkastelua varten saatu laajempi otos kuin muiden taustatekijöiden suhteen. Koska yksittäiset  $k_f$ -arvot usein vaihtelevat tarkastuksen edetessä, valittiin tarkasteluun kunkin päästötarkastuksen kolme viimeistä arvoa ja niitä vastaavat nousuajat. Selvästi virheelliset tulokset karsittiin pois, ja niitä olikin verraten paljon. Yleisimmin virhe oli nousuajan epämieliekäs arvo tai se, ettei sitä ollut tulostunut lainkaan, mitkä useimmiten johtuivat epäonnistuneesta pyörintänopeuden mittauksesta. Otokseen saatiin 107  $k_f$ -arvoa ja niitä vastaavaa nousuaikaa, jotka lajiteltiin vielä käytetyn analysaattorin mukaan merkkikohtaisesti.

Kuvassa 24 on esitetty kukin  $k_f$ -arvo ja sitä vastaava nousuaika. Pisteisiin pienimmän neliösumman menetelmällä sovitettu suora on nouseva, mikä antaa ymmärtää, että oletuksen vastaisesti nousuajan pidentyessä savutus lisääntyisi. Liitteeseen 10 on koottu vastaavat analysaattorikohtaiset kuvaajat, joista voidaan havaita, että mittarien A, J ja M osalta savutus lisääntyy, mittarien B, D ja

F osalta savutus vähenee ja mittarin E osalta säilyy ennallaan nousuajan pidentyessä. Analysaattorin O osalta ei saatu mielekästä havaintoa. Mittarin J osalta havaintoja on ainoastaan kolme, joten tulos ei ole tilastollisesti mitenkään merkittävä.

Huomionarvoista on, että nousuajan vaikutus savutukseen voi olla lisäävä tai vähentävä. Nousuajan perusteella ei näin ollen voida arvioida vapaan kiihdytyksen oikeaa suorittamista. Vaikka kaikki havainnot huomioon ottaen savutus lisääntyy nousuajan pidentyessä, ei varmoja johtopäätöksiä savutuksen ja nousuajan välisestä yhteydestä voida vetää. Erot tuloksissa saattavat johtua mittareiden ominaisuuksista ja ohjelmista, ts. vasteajasta, näytteenottotaajuudesta ja signaalin suodatuksesta.



Kuva 24. Yksittäiset  $k$ -arvot nousuajan funktiona ja PNS-suora.

## 4.3 Mittaukset katsastustoimipaikoilla

### 4.3.1 Tausta ja tavoite

Ajoneuvohallintokeskus valvoo katsastustoimipaikkoja säännöllisin tarkastuskäynnein erityisen valvontasuunnitelman mukaan. Keväällä 2002 oli tarkoituksena tarkastaa 80 katsastustoimipaikan toiminnan laatu. Koska sangen laaja katsastusasematesti oli suoritettava maalisi- – toukokuun aikana, jouduttiin

käyttämään kahta testiautoa. Testiautoiksi valittiin samanmerkkiset ja -malliset vuosimallien 1986 ja 1987 henkilöautot, punainen ja valkoinen, jotka oli varustettu vapaasti hengittäväillä nelisyliinterisillä iskutilavuudeltaan 1,99 litran dieselmootoreilla. Testiautojen moottorit huollettiin asianmukaisesti ja kunnostettiin tarvittavilta osin sekä uusittiin pakoputkistot niistä irtoavan noen vähentämiseksi. Tavoite oli, että autot vastaisivat toisiaan mahdollisimman hyvin. Tämän tutkimuksen kannalta olisi sikäli ollut edullista tehdä mittaukset yhdellä autolla, että tällöin olisi yhden auton kohdalta saatu varsin suuri otos. Toisaalta kahta eri autoa käyttämällä saatiin kaksi sarjaa mittaustuloksia, joita voidaan vertailla keskenään. Valkoisella testiautiolla käytiin 37:llä ja punaisella testiautolla 43 katsastusasemalla. Katsastustoimipaikoille ei kerrottu kyseessä olevan tutkimuksen.

Moottorille kiihdytettäessä syötetyn polttoaineen määrä vaikuttaa savutukseen. Yleinen oletus on, että kaasupolkimen pohjaan painamisen nopeus vaikuttaa mittaustulokseen, ja että taitava mittaaaja voi siten vaikuttaa tulokseen. Katsastustoimipaikoilla tehtävien mittausten yhteydessä haluttiin erityisesti tutkia polkaisun vaikutusta mitattuun k-arvoon. Tätä varten punainen testiauto varustettiin laitteistolla, jolla mitattiin kaasupolkimen asentoa ajan suhteen. Olennaisesti laitteisto koostui kaasuvivustoon vaijerilla kytketystä potentiometristä ja erillisellä kytkimellä käytettävästä tietojenkeruulaitteesta, jonka näytteenottotaajuus oli 50 Hz. Tietojenkeruulaite tallensi 0,02 sekunnin välein päivämäärän, kellonajan, laitteen käynnistämisestä kuluneen ajan ja potentiometrin antaman jännitteen. Laitteisto piilotettiin kojelaudan alle siten, ettei katsastaja voinut havaita sitä.

#### **4.3.2 Tulokset ja johtopäätelmät**

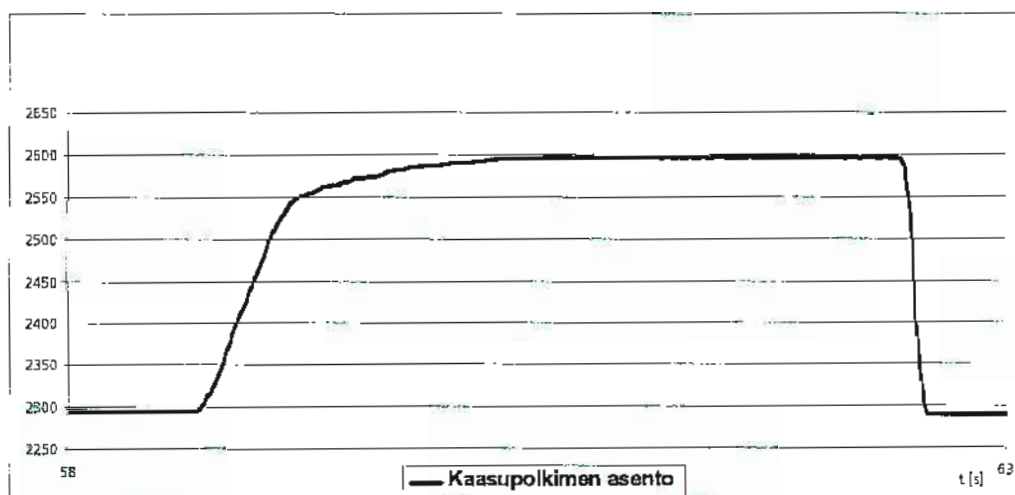
##### **4.3.2.1 Tuloksista yleisesti**

Katsastustoimipaikoilla tehtyjen mittausten tuloksena saatiin katsastuksen arvosteluperusteena käytetyt absorptiokertoimen arvot kultakin katsastustoimipaikalta eli valkoisen auton osalta 37 ja punaisen auton osalta 43 arvoa. Nämä arvot ovat joko yksittäisestä vapaasta kiihdytyksestä saatuja arvoja, jos on mitattu raja arvon huomattavasti alittava arvo  $k_{\leq 1,5} \text{ m}^{-1}$ , tai kolmesta peräkkäisestä vapaasta kiihdytyksestä saatujen absorptiokertoimien aritmeettinen keskiar-

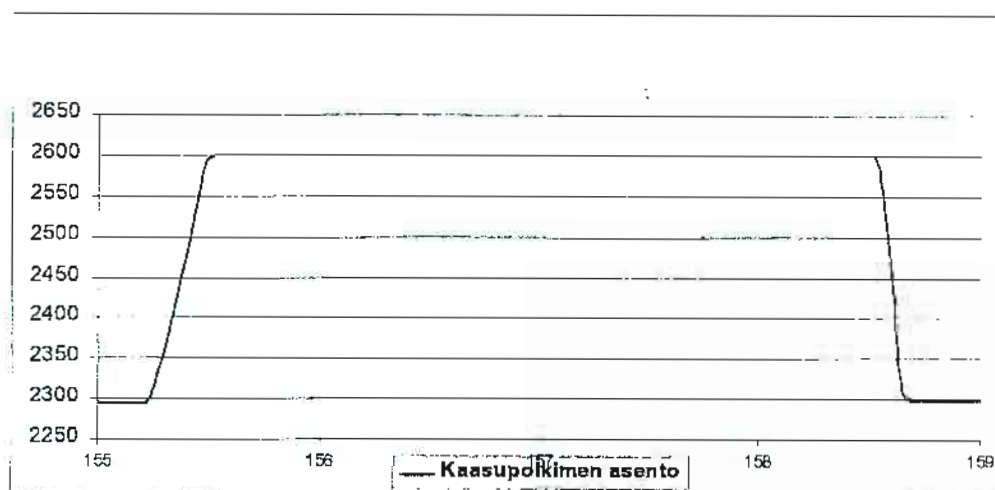
vo, jolloin hyväksynnän raja arvo on  $2,5 \text{ m}^{-1}$ . Katsastustoimipaikat eivät yleensä anna asiakkaalle savutusmittauksesta erillistä tulostetta vaan katsastaja merkitsee tuloksen käsin katsastuskorttiin eikä tulostetta voitu erityisesti pyytää, koska katsastajalle ei voitu kertoa kysymyksessä olleen tarkastuskäynnin. Tulosteet kuitenkin arkistoidaan katsastuksen asiapapereihin. Valvontakäyntien jälkeen tulosteet pyydettiin niistä katsastustoimipaikoista, joissa oli saatu mitattua polkaisuaika.

Polkaisuajaksi määritettiin aika, joka kuluu kaasupolkimen liikkeen alkamisesta siihen, kunnes poljin on täysin pohjassa. Polkaisuajan mittauksessa onnistuttiin 20 katsastustoimipaikalla, joissa saatiin mitattua yhteensä 40 sellaista polkaisuaikaa, johon voitiin liittää luotettava nousuaika ja valon absorptiokerroin  $k_p$ .

Mittaukset katsastustoimipaikoilla tehtiin kuutena päivänä. Kunkin testipäivän jälkeen tehtiin referenssimittauksia, joita kertyi yhteensä 41. Kuvassa 25 on esitetty kaasupolkimen asentoa kuvaava käyrä viiden sekunnin ajalta yhden polkaisun aikana erään katsastuksen yhteydessä. Kuvasta näkyy, että tässä tapauksessa polkimen painamisen nopeus on loppuvaiheessa alentunut. Koko polkaisuaika ennen kuin poljin on ollut aivan pohjassa on tässä tapauksessa ollut 1,60 sekuntia, mikä on sallittua pidempi aika. Kuvassa 26 on nähtävissä referenssimittauksen yhteydessä tehty ohjeen mukainen polkaisu, jossa polkaisuaika on 0,30 sekuntia ja jossa poljin on painettu pohjaan nopeasti ja portaattomasti.



Kuva 25. Kaasupolkimen liike eräässä katsastuksen polkaisussa.



Kuva 26. Kaasupolkimen liike eräessä referenssipolkaisussa.

#### 4.3.2.2 Polkaisuaikojen vaikutus savutukseen

Taulukkoon 6 on koottu katsastustoimipaikoilla yksittäisistä vapaista kiihdytyksistä mitatut valon absorptiokertoimet ( $k_f$ ) polkaisuajan mukaan luokiteltuina sekä eräitä hajontalukuja. Variaatiokertoimista nähdään, että mitattujen arvojen keskimääräinen vaihtelu keskiarvon ympärillä pienenee polkaisuajan kasvaessa. Tästä voidaan päätellä hitaamman polkaisun ja polttoaineen syötön vaikuttavan mittaustuloksia tasoittavasti.

Taulukkoon 7 on vastaavasti koottu referenssimittauksissa saadut  $k_f$ -arvot polkaisuajan mukaan luokiteltuina. Vaikka tulokset ovat ylipäättään merkittävästi tasaisemmat kuin katsastustoimipaikoilla, tässäkin havaitaan variaatiokertoimen olevan suurin lyhimmillä polkaisuilla.

Edelleen kuvassa 27 ovat referenssimittauksissa ja katsastuksessa saadut  $k_f$ -arvot mittaussjärjestyksessä ja kuvaan 28 on havainnollistettu niiden hajonta. Katsastusten osalta huomioon on otettu vain ne  $k_f$ -arvot, joihin liittyvä polkaisuaika on mitattu. Varsinkin katsastusten osalta vaihteluväli on pitkä, mutta tähän vaikuttaa yksi oleellisesti muita korkeampi arvo. Etenkin referenssimittausten osalta hajonta on itse asiassa kohtuullinen. Huomionarvoista on, että absorptiokertoimet vaihtelevat lähellä raja-arvoa  $1,5 \text{ m}^{-1}$ , kuitenkin pääosin sen yläpuolella, mikä ei oikeuta välittömään hyväksymiseen tarkastusta jatkamatta. Referenssimittauksissa saatujen  $k_f$ -arvojen variaatiokertoimeksi tuli 7 % ja katsastuksissa saatujen 20 %. Kaikkien  $k_f$ -arvojen osalta variaatiokerroin oli 15 %.

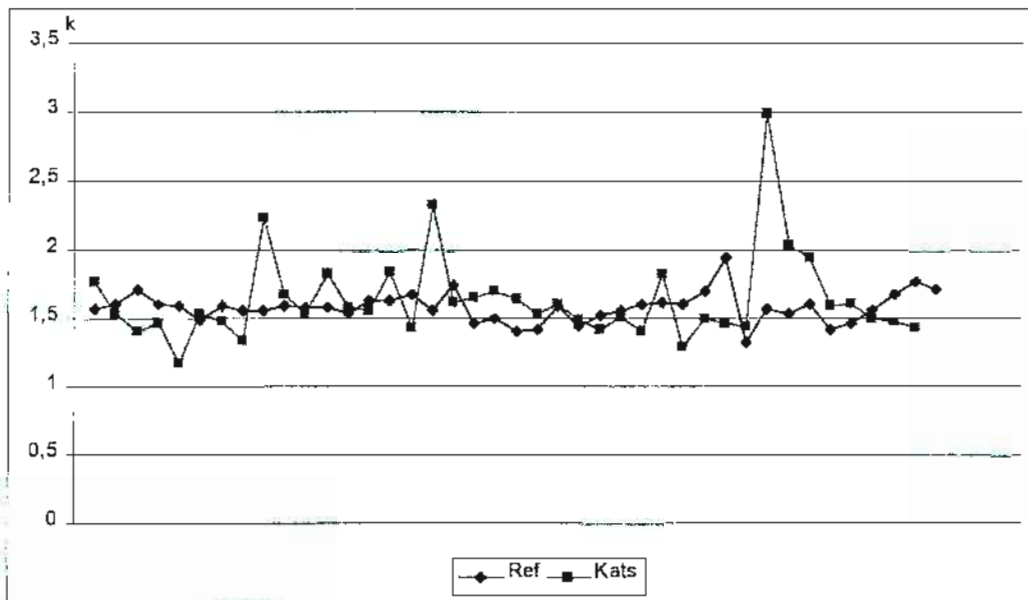


*Taulukko 6. Savutusarvot katsastuksessa polkaisuaajan mukaan luokiteltuna.*

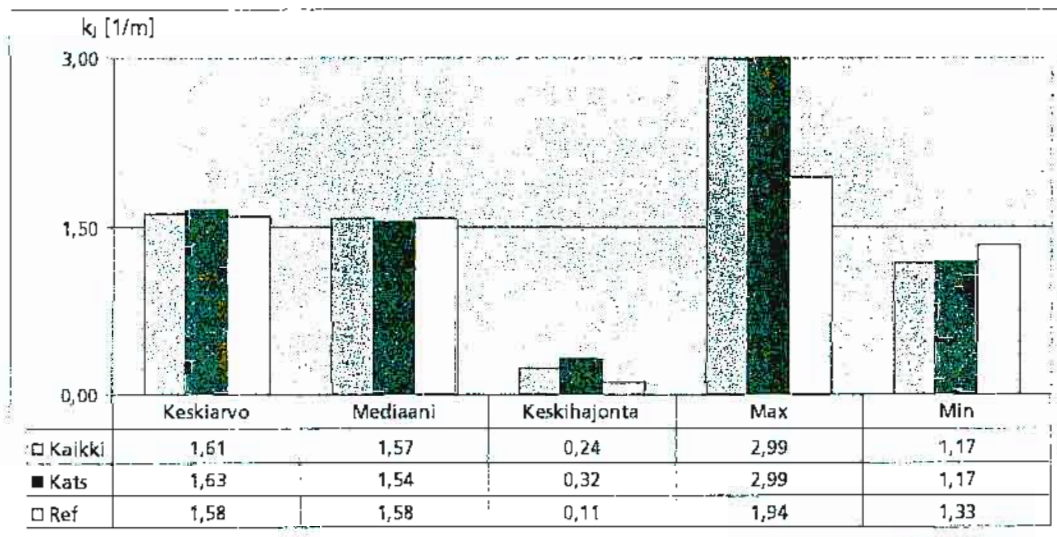
| Polkaisuaika [s] | 0,20-0,29 | 0,30-0,39 | 0,40-0,49 | 0,50-0,59 | 0,60-0,69 | 0,70-0,79 | 0,80-0,89 | 0,90-0,99 | 1,00-1,09 | 1,10-1,19 | 1,20-1,60 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Valon            | 1,43      | 1,41      | 1,43      | 1,17      | 1,29      | 1,34      | 1,41      | 1,83      | 1,42      | 1,47      | 1,48      |
| absorptio-       | 1,44      | 1,48      | 1,49      | 1,54      | 1,82      | 1,77      | 1,58      |           | 1,46      |           | 1,53      |
| kerroin          | 1,5       | 1,5       | 1,51      |           | 2,23      |           |           |           | 1,56      |           | 1,54      |
| [1/m]            | 1,59      | 1,6       | 1,53      |           |           |           |           |           |           |           | 1,64      |
|                  | 1,65      | 1,6       | 1,67      |           |           |           |           |           |           |           |           |
|                  | 1,54      | 1,62      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|                  | 2,03      | 1,64      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|                  | 2,99      | 2,33      |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Keskiarvo        | 1,82      | 1,67      | 1,53      | 1,36      | 1,78      | 1,56      | 1,50      | 1,83      | 1,48      | 1,47      | 1,55      |
| Keskihajonta     | 0,52      | 0,30      | 0,09      |           | 0,47      |           | 0,12      |           | 0,07      |           | 0,07      |
| Variaatiokerroin | 29 %      | 18 %      | 6 %       |           | 26 %      |           | 8 %       |           | 5 %       |           | 4 %       |

*Taulukko 7. Savutusarvot referenssimittauksissa polkaisuaajan mukaan luokiteltuna.*

| Polkaisuaika [s] | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  |
|------------------|------|------|------|------|
| Valon            | 1,33 | 1,49 | 1,56 | 1,46 |
| absorptio-       | 1,41 | 1,50 | 1,57 | 1,94 |
| kerroin          | 1,42 | 1,56 | 1,61 |      |
| [1/m]            | 1,42 | 1,56 | 1,63 |      |
|                  | 1,44 | 1,56 | 1,71 |      |
|                  | 1,46 | 1,58 |      |      |
|                  | 1,52 | 1,58 |      |      |
|                  | 1,54 | 1,59 |      |      |
|                  | 1,54 | 1,59 |      |      |
|                  | 1,56 | 1,60 |      |      |
|                  | 1,57 | 1,61 |      |      |
|                  | 1,59 | 1,63 |      |      |
|                  | 1,59 | 1,68 |      |      |
|                  | 1,61 | 1,75 |      |      |
|                  | 1,61 |      |      |      |
|                  | 1,62 |      |      |      |
|                  | 1,67 |      |      |      |
|                  | 1,70 |      |      |      |
|                  | 1,71 |      |      |      |
|                  | 1,77 |      |      |      |
| Keskiarvo        | 1,55 | 1,59 | 1,62 | 1,70 |
| Keskihajonta     | 0,11 | 0,07 | 0,06 |      |
| Variaatiokerroin | 7 %  | 4 %  | 4 %  |      |



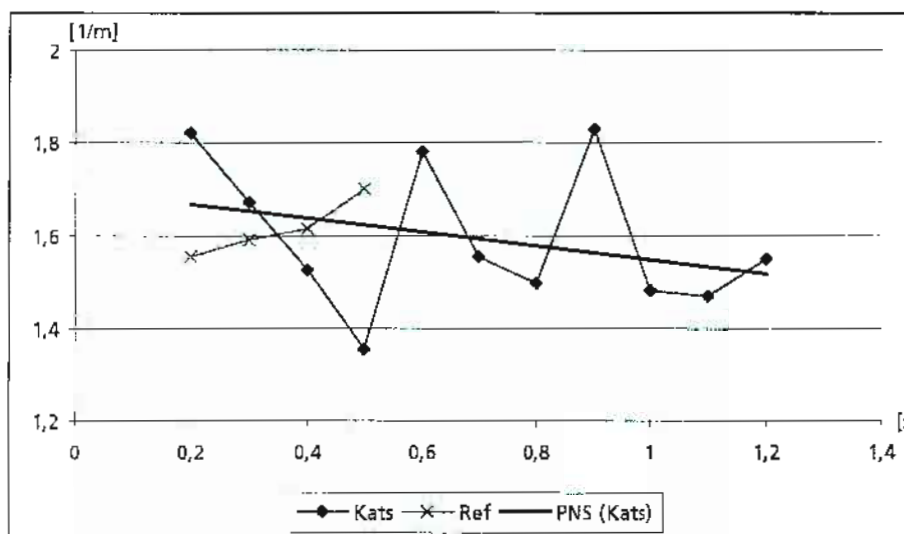
Kuva 27. Arvot mittausjärjestyksessä.



Kuva 28. Mitattujen arvojen hajonta.

Kuvaan 29 on piirretty  $k_j$ -arvojen polkaisuaikakohtaiset keskiarvot. Referenssimittauksissa polkaisut olivat Ajoneuvohallintokeskuksen ohjeen dnro 2115/204/2000 mukaisesti hyvin nopeita. Katsastuksissa mitattiin myös pidempiä aikoja eivätkä absorptiokertoimien keskiarvot käyttäydy pidemmällä kuin 0,5 s polkaisuaajoilla yhtä lineaarisesti kuin lyhemmillä, minkä takia kuvaajaan on lisätty katsastuksessa mitattujen arvojen osalta myös pienimmän neliösumman menetelmällä laskettu lineaarinen regressiokäyrä. Polkaisuaikojen ollessa

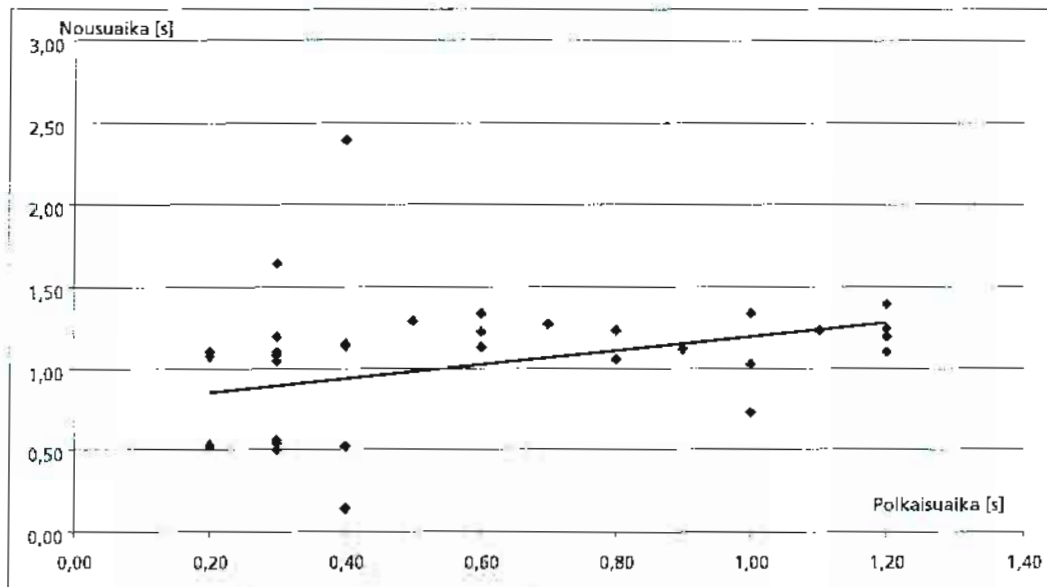
0,2 – 0,5 s pienenevät katsastuksessa mitatut absorptiokertoimien keskiarvot kuten oletettua. Yllättäen referenssimittauksissa mitatut arvot käyttäytyvät täsmälleen päinvastoin. Katsastuksessa mitattujen absorptiokertoimien keskiarvot eivät kuvasta 29 katsoen käyttäydy kovinkaan tasaisesti polkaisuaajan ollessa vähintään 0,6 s, mutta mitattuja arvoja polkaisuaikaluokkaa kohden on enimmilläänkin vain neljä. Niiden kaikkien keskiarvo on  $1,59 \text{ m}^{-1}$  ja keskihajonta  $0,23 \text{ m}^{-1}$  eli mitatut arvot vaihtelevat keskimäärin 15 % keskiarvon ympärillä. Vastaavasti alle 0,6 s polkaisuajoilla keskiarvo on  $1,68 \text{ m}^{-1}$  ja keskihajonta  $0,38 \text{ m}^{-1}$ . Katsastuksissa mitattujen arvojen perusteella voidaan todeta absorptiokertoimen keskimäärin pienenevän, kun polkaisuaika pidentyy, mutta referenssimittaukset eivät tue tätä.



Kuva 29. Absorptiokertoimien keskiarvot polkaisuaajan suhteen.

Aikaisemmin kohdassa 4.2.4.4 on todettu, että nousuajan pituuden vaikutus saatavaan tulokseen riippuu mittarista. Käytännössä polkaisunopeus on niin suuri, että pyörintänopeuden nousu riippuu moottorin inertian ja rajamomentin suhteesta. Kuvassa 30 näkyvä pienimmän neliösumman menetelmällä sovitettu suora osoittaa nousuajan pidentyvän polkaisuajan pidentyessä. Nousuajat sattuvat tässä tapauksessa valtaosin välille 1,0 – 1,5 s ja niin käy kaikilla polkaisunopeuksilla, joten nousuajan perusteella ei voi luotettavasti arvioida polkaisun nopeutta. Keskimäärin polkaisuajan pidentyminen kuitenkin pidentää nousuaikaa. Analogisesti kohdan 4.2.4.4 kanssa voidaan vetää johtopäätös, että käytetyn mittarin ominaisuudet vaikuttavat siihen, miten polkaisuajan pi-

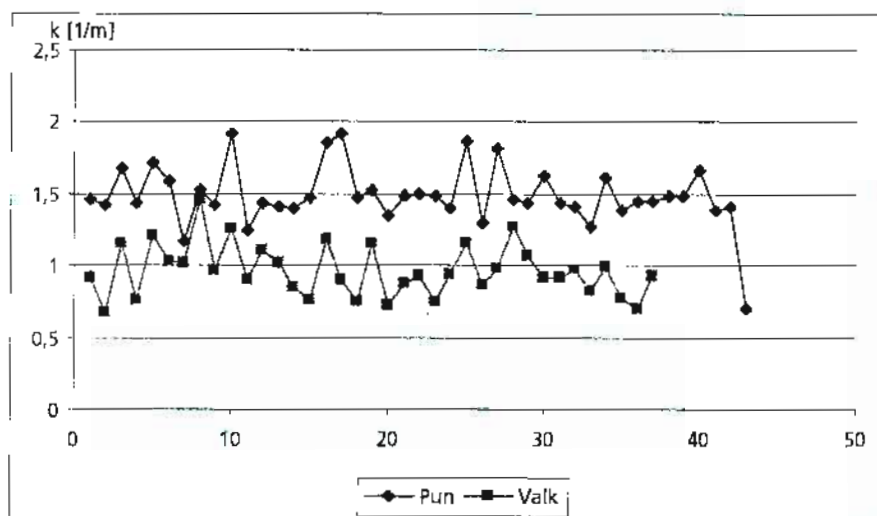
dentyminen vaikuttaa savutusmittauksen tulokseen. Referenssilaitteella ilmeisesti polkaisuaajan pidentyminen suurentaa absorptiokerrointa kun taas katsastustoimipaikoilla käytössä olevat mittarit keskimäärin tällöin näyttävät pienempää savutusarvoa, mikä on kokemuksiin perustuva olettaus.



Kuva 30. Nousuaika polkaisuaajan funktiona.

#### 4.3.2.3 Päästötarkastusten tuloksista

Katsastuksen arvosteluperusteena käytetyt k-arvot on koottu mittausjärjestyksessä kuvaan 31. Taulukossa 8 on päästötarkastuksen tuloksia kuvaavia tilastollisia tunnuslukuja. Punaisen auton savutus havaitaan selvästi valkoista suuremmaksi, mutta molempien tulokset ovat sangen tasaisia verrattuna taulukosta 3 tai kuvasta 16 ilmeneviin dieselkorjaamoilla saatuihin tuloksiin. Erityisesti, jos punaisen auton viimeinen, muista poikkeava mittaustulos  $k_{pun,43}=0,70 \text{ m}^{-1}$  jätettäisiin huomiotta, olisi vaihteluväli vain  $0,74 \text{ m}^{-1}$  ja mitatut arvot vaihtelisivat enää 12 % keskiarvon ympärillä. Vaihtelu on joka tapauksessa niin suurta, että absoluuttisesti oikean mittaustuloksen osoittaminen on mahdotonta. Vaihtelu on keskimäärin enemmän kuin 30 % hyväksymiseen johtavasta raja-arvosta.



Kuva 31. Katsastustulokset mittausjärjestyksessä.

Taulukko 8. Katsastustulosten eräitä tunnuslukuja.

| Auto      | Keskiarvo | Mediaani | Keskihajonta | Variaatiokerroin | Max  | Min  | Vaihtelu |
|-----------|-----------|----------|--------------|------------------|------|------|----------|
| Punainen  | 1,48      | 1,46     | 0,21         | 14 %             | 1,91 | 0,70 | 1,21     |
| Valkoinen | 0,96      | 0,93     | 0,18         | 19 %             | 1,46 | 0,67 | 0,79     |

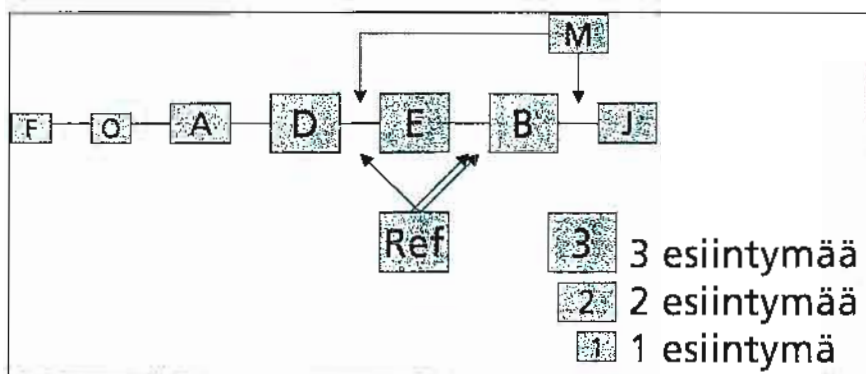
#### 4.4 Analysaattorien merkkikohtaisista eroista

Sekä dieselkorjaamoilla että katsastustoimipaikoilla mitattujen valon absorptiokertoimien vaihtelu on niin voimakasta ja hajonta niin suurta, että perustetta luotettavien mittalaittekohtaisten korjauskertoimien määrittämiselle ei ole. Tätä korostaa vielä se, että sääolosuhteiden sekä polkaisu- ja nousuaikojen vaikutus mittaustulokseen voi olla suurentava tai pienentävä. Taulukon 3 mukaisesti analysaattorin merkkikohtainen variaatiokerroin vaihtelee välillä 0,26 – 0,38.

Mittalaitte-ajoneuvokohtaisten korjauskertoimien laatiminen ei myöskään ole mahdollista. Yhdestä ajoneuvosta mitatut arvotkin vaihtelevat liikaa. Dieselkorjaamotarkastusten ohessa tehdyissä referenssimittauksissa saatiin variaatiokertoimeksi 0,20 mutta katsastusten ohessa vain 0,07. Variaatiokerroin 0,07 on riittävän pieni siihen, että kohtuullinen luotettavuus voitaisiin saavuttaa. Katsastustoimipaikoilla käytettyjen autojen tulokset olivat tasaisia, joten eräille automalleille voisi olla mahdollista laatia korjauskertoimia. Tämä ei kuitenkaan

ole mielekästä, sillä katsastuksessa ongelmatapauksia eivät ole nämä autot vaan ne, joista mitattujen k-arvojen vaihtelu on suuri.

Analysaattorin merkin ja saatavan absorptiokertoimen välillä on kuitenkin mahdollista havaita riippuvuuksia. Ajoneuvohallintokeskus on vuonna 2000 teettänyt päästötarkastuksia dieselkorjaamoilla ja toiminnan laadunvalvonnan yhteydessä katsastustoimipaikoilla. Näissä tutkimuksissa sekä nyt dieselkorjaamoilla tehdyistä mittauksista saatujen tulosten perusteella voidaan analysaattorit asettaa suuruusjärjestykseen merkeittäin, mikä on esitetty kuvassa 32.



Kuva 32. Merkkikohtainen suuruusjärjestys kolmesta havaintoaineistosta.

Järjestys on tehty perustuen kussakin tutkimuksessa saatuun merkkikohtaiseen keskiarvoon siten, että keskiarvo suurenee oikealle eli mittari J näytti keskimäärin suurimpia arvoja. Pienimpiä arvoja antavia merkkiä F ja O olevia mittareita oli mukana vain nyt tehdyssä tutkimuksessa. Merkkiä M olevan analysaattorin keskiarvot asettuivat tutkimuksissa eri kohtiin, mutta järjestys A-D-E-B-J oli kaikissa sama. Referenssilaitteella saadut tulokset osoittautuivat kahdesti E:n tuloksia suuremmiksi ja kerran pienemmiksi. Referenssilaitte oli kaikissa tutkimuksissa merkkiä B.

Havaittu riippuvuus voi johtua ainoastaan analysaattoreiden erilaisesta sähköisestä ja mekaanisesta kokoonpanosta ja etenkin valokennosta saatavan signaalin käsittelystä.