

Moottoroidut kaksipyöräiset: niiden kulutusta ja pakokaasupäästöjä koskevan tietämyksen päivittäminen

Uusien moottoroituja kaksipyöräisiä koskevien L-luokan päästöstandardien (Euro4 vuonna 2007 ja Euro5 vuonna 2020) täytäntöönpanon yhteydessä, ADEME on laatinut ajantasaistetun arvionsa ajoneuvojen kulutuksesta ja pakokaasupäästöistä. L3e-A1-luokan ($\leq 125 \text{ cm}^3$) ja L3e-A2- tai L3e-A3-luokan (tilavuus yli 125 cm^3) moottoripyörät ja skootterit on arvioitu todellista käyttöä edustavilla sykleillä. Lisäksi arvioidaan kolmea sähkökäyttöistä hyötöajoneuvoa kulutuksen ja ympäristövaikutusten kannalta.

1. Tiivistelmä

ADEME on päivittänyt vuonna 2008 julkaistun EURO 3 -luokan moottoripyörien pakokaasupäästöjä koskevan arviointinsa vuonna 2017 (Euro 4) ja vuonna 2020 (Euro 5), kun moottoriajoneuvojen 2- ja 3-pyöräisiä ajoneuvoja koskevat viimeisimmät eurooppalaiset päästöstandardit pannaan täytäntöön. Arvioinnissa käytettiin kahta moottoripyörä- ja skootteriluokkaa: L3e-A1-moottoripyörät (kevytmoottoripyörät, $\leq 125 \text{ cm}^3$) ja ja L3e-A2- tai L3e-A3-luokan moottoripyörät, joiden sylinteritilavuus on suurempi ($300\text{--}1250 \text{ cm}^3$).

Tulokset käytönaikaisista päästöistä työmatkakäytössä osoittavat että:

Polttoaineen kulutus on parantunut Euro3-luokituksen jälkeen, ja on huomattavasti alhaisempi kuin autojen kulutus. Alhaisimmat kulutukset ovat 125cm^3 -kokoluokan kulutukset (keskimäärin $2,7 \text{ l}/100 \text{ km}$), ja ne kasvavat loogisesti moottorikoon kasvaessa, ylittämättä kuitenkaan $4,8 \text{ l}/100 \text{ km}$ tehokkaimman mallin (100 kW) osalta. Vertailun vuoksi mainittakoon, että Ranskan autokantaa edustava Euro6-d bensiinikäyttöinen auto, joka mainitaan jäljempänä tässä raportissa, kuluttaa $8,1 \text{ l}/100 \text{ km}$ samalla matkalla (samoissa liikenneolosuhteissa, sillä auto on liikenneuuhkille herkempi moottoroitu kaksipyöräinen).

CO₂-päästöt ovat loogisesti samansuuntaiset kuin kulutus, $48\text{--}63 \text{ g}/\text{km}$ 125cm^3 osalta ja $107 \text{ g}/\text{km}$ tehokkaimman moottoripyörän osalta, eli arvot ovat kolmanneksen ja puolet viimeaikaista malleja edustavien autojen arvoista samalla reitillä.

Pakokaasupäästöjen osalta:

125 cm^3 kevytmoottoripyörät ovat edelleen voimakkaita hiilimonoksidipäästöjen aiheuttajia verrattuna Euro6-bensiinautoihin. Ero syntyy pääasiassa pitkittyneessä ajossa täydellä teholla (moottoriteijassa maksiminopeudella $90\text{--}110 \text{ km}/\text{h}$ mallista riippuen). Näissä olosuhteissa kevytmoottoripyörien CO-päästöt ovat 3-5-kertaiset verrattuna Euro6-bensiinautoon. (Simuloitu HBEFA-Työkalulla)

Samaan aikaan hiukkaspäästöt ovat korkeat (massa ja lukumäärä, joita ei säännellä kaksipyöräisten osalta), mutta ne noudattavat kuitenkin autojen hyväksynnän raja-arvoa hiukkasten massan osalta, mutta eivät määrän osalta. Myös palamattomien hiilivetyjen päästöt ovat suuret, erityisesti kylmänä ja dynaamisen ajon aikana. NO_x-päästöt pysyvät sen sijaan hallinnassa ja ovat lähellä EURO6-bensiinautojen tasoa.

Suuremman moottoritilavuuden omaavien moottoripyörien hiilimonoksidipäästöt ovat pienemmät kuin bensiinikäyttöisten autojen päästöt, mutta niiden hiilivetypäästöt ovat yleensä suuremmat (jopa kaksinkertaiset, maksiskootterit), tai samaa suuruusluokkaa (moottoripyörät). Isojen moottoripyörien (yli 900 cm^3) NO_x -päästöt ovat pienemmät kuin bensiinikäyttöisten autojen päästöt. Toisaalta keskikokoisten moottoripyörien NO_x-päästöt ovat korkeammat ja verrattavissa Euro6-dieselautojen päästöihin. Yli 125 cm^3 moottoripyörien hiukkaspäästöt ovat keskimäärin samaa suuruusluokkaa (massaltaan ja lukumäärältään),

kuin Euro6-bensiiniautojen päästöt, ja ne ovat edelleen samaa tasoa autojen hyväksyntää koskevien säännösten raja-arvojen kanssa.

Sähkökäyttöisten moottoroitujen kaksipyöräisten markkinoita koskevan tietämyksen täydentämiseksi mitattiin kolmen sähkökäyttöisen mallin energiankulutus samassa käyttöympäristössä, minkä ansiosta sähköistämisen hyödyt (kasvihuoneilmiövaikutus, käyttökustannukset) voidaan esittää omassa luvussaan.

Yhteenvedona voidaan todeta, että pienen koon ja pienemmän massan ansiosta moottoroidut kaksipyöräiset ovat energiatehokkuuden ja siten myös kulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen kannalta merkittävästi parempi vaihtoehto, erityisesti silloin kun moottoritulavuudet pidetään kohtuullisella tasolla (isojen uusien moottoripyörien moottorit voivat olla jopa 150 kW, mikä ei ole järkevää päivittäiseen liikkumiseen, ja heikentää hyötysuhdetta päästöjen ja kulutuksen osalta).

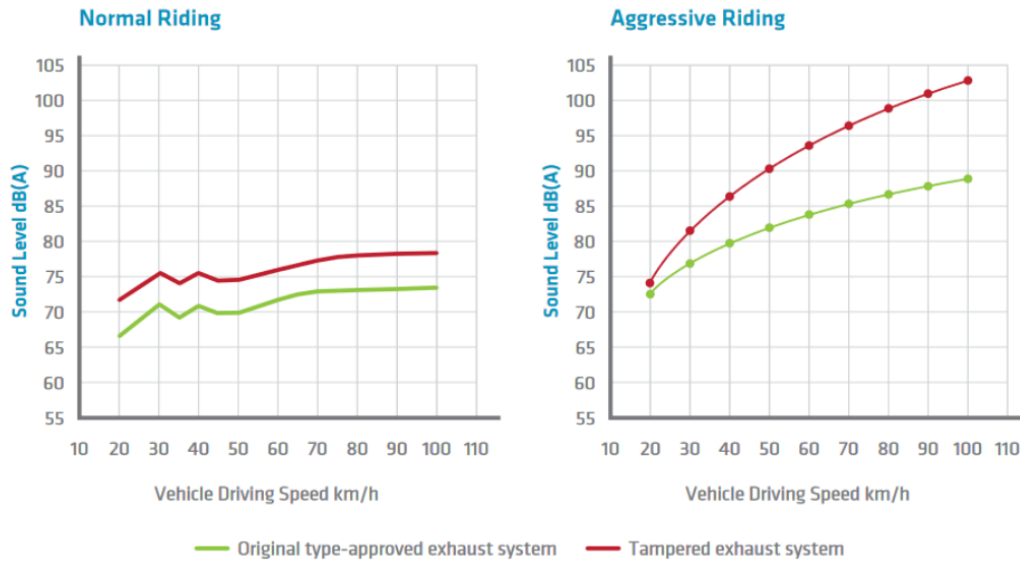
Näin ollen moottoroitu kaksipyöräinen on ajoneuvo, joka voi osaltaan vähentää hiilidioksidipäästöjä ja käyttökuluja korvaamalla henkilöauton (lukuun ottamatta kimpapakyytejä). Jos käyttötarve edellyttää moottoritieajoa, on aiheellista harkita sellaisen moottoripyörän käyttöä, jonka sylinteritulavuus on hieman suurempi kuin 125 cm³. Näin voidaan hyödyntää tehokkaampaa pakokaasujen jälkikäsittelyä ilman, että kulutuksesta aiheutuu suuria haittoja (500 cm³ moottoripyörä ja mitatun otoksen parhaat maksiskootterit havainnollistavat tätä). Tarvittava koulutus (A-ajokortti) mahdollistaa myös turvallisuuden kannalta edullisten ajotaitojen syventämisen. 250-300 cm³ moottoripyörien tarjonta on myös hyvin laaja.

Vaihtoehtoisesti sähkökäyttöisiä moottoripyörämalleja alkaa olla laajasti saatavilla (moottoripyörä tai skootteri, kaikissa luokissa). Niiden hankintahinta on paljon korkeampi kuin polttomoottorilla toimivien vastaavien ajoneuvojen (noin +50 % vastaavasta 125 cm³ moottoripyörästä), joten ne ovat vaikeammin saavutettavissa. Alhaisemmat kokonaiskustannukset mahdollistavat investoinnin kannattavuuden päivittäisessä työmatka -ja asiointi käytössä. Tähän taloudelliseen etuun liittyy erilaisia vaikutuksia: pienempi vaikutus ilmastomuutokseen (koko elinkaaren aikana), pakokaasupäästöjen puuttuminen, moottorin melun puuttuminen, parempi ajettavuus moottorin suorituskyvyn ansiosta, kun vaihdelaatikkoa ei tarvita, ja huomattavasti pienempi energiankulutus kuin sähköautoilla.

Tämä tutkimus osoittaa, että 125 cm³ kevytmoottoripyörällä moottoritiellä ajoa lukuun ottamatta, moottoripyörien pakokaasupäästöt ovat päästöluokitusten mukaisesti samaa suuruusluokkaa kuin nykyaikaisten henkilöautojen päästöt.

Teknisen valvonnan (katsastus) osalta asetus ja määräysluonnos on parhaillaan julkisessa kuulemisvaiheessa (Ranskassa), ja tulee olemaan mielenkiintoista arvioida sen vaikutusta moottoroitujen kaksipyöräisten ajoneuvojen ympäristövaikutuksiin. On myös huomattava, että vaatimustenvastaisuudet (erityisesti ei-hyväksytyt äänenvaimentimet, joita edustavat alla olevien kaavioiden punaiset käyrät) voivat jäädä valvonnalta huomaamatta suhteellisen nopean ja yksinkertaisen vaihtamisen ansiosta.

Joitakin vaikutuksia ei voida käsitellä teknisellä valvonnalla: 2- tai 3-pyöräisten moottoripyörien melupäästöt voivat muuttua ärsyttäväiksi jo pelkästään aggressiivisen ajotavan vuoksi, kuten ACEM:n (Euroopan moottoripyörävalmistajien yhdistys) julkaisemasta alla olevasta kaaviosta käy ilmi: teknisen valvonnan toteuttaminen ei vaikuta tähän tärkeään käyttäytymistekijään.



2. Taustaa tutkimukselle

Parc Auto Kantar 2023 -tutkimuksen mukaan niiden ranskalaisten kotitalouksien osuus, jotka omistavat vähintään yhden moottoroidun kaksipyöräisen ajoneuvon, on noin 8,6 prosenttia vuonna 2022 (8,7 prosenttia vuonna 2021), ja suurin osa niistä omistaa lisäksi auton (vain 0,5 prosentilla kotitalouksista on yksinomaan kaksi- tai kolmipyöräinen ajoneuvo).

Moottoriajoneuvokannasta, jonka määräksi sama tutkimus arvioi noin 3 miljoonaa ajoneuvoa, mopojen osuus on 18 prosenttia, ja suuntaus on ollut laskeva jo usean vuoden ajan. Kaluston kasvu johtuu siis pääasiassa isommista ajoneuvoluokista (125 cm³ ja suuremmat).

Sähkökäyttöisten mallien osuus moottoripyöräkalustosta jatkaa kasvuaan ja nousee 2,7 prosenttiin vuonna 2022 (0,3 % vuonna 2020, 1,4 % vuonna 2021). Mopojen osuus kasvaa erityisesti, sillä niiden osuus sähkökäyttöisten kaksipyöräisten myynnissä oli yli 30 % vuonna 2022, eli 31 000 uutta rekisteröintiä (125 cm³ ja isompien osalta 6,2 % vuoden 2022 myynnistä oli sähkökäyttöisiä, kun se vuonna 2021 oli 2,2 %).

Vuotuinen ajokilometrimäärä vaihtelee ajoneuvoluokasta riippuen, ja on arviolta keskimäärin 3 700 km vuodessa, mutta käyttäjäkohtaista vaihtelua on paljon (Kantar 2023 mukaan 4 % mopon ja kevyt-mp:n käyttäjistä, sekä 12 % suurten mp:n käyttäjistä sanoo ajavansa yli 10 000 km vuodessa). Tullin virallisesti käyttämässä Cycle Official Rating -luokituksessa 125 cm³ skootterille lasketaan 6 000 km/vuosi kolmen ensimmäisen käyttövuoden aikana, ja sen jälkeen 4 000 km/vuosi. ADEME:n viimeisimmät arviot ja julkaisut kaksi- ja kolmipyöräisten päästöistä ovat peräisin Euro3 -moottoripyörästandardin käyttöönotosta vuonna 2008. Tähän L-luokan ajoneuvoryhmään kuuluviin ajoneuvoihin sovellettavia eurooppalaisia sääntelyvaatimuksia tiukennettiin peräkkäin vuosina 2017 ja 2020, minkä takia tämä päivitetty tutkimus tehtiin.

For positive-ignition engines		Cycle	CO threshold	HCtotal threshold	NMHC threshold	NOx threshold
Euro3	<150cc	6 x ECE	2 000	800 mg/km		
	>150cc	6xECE+EUDC	mg/km	300 mg/km		150 mg/km
Euro4	< 130km/h max	WMTC	1 140	380 mg/km		70 mg/km
	≥ 130 km/h max		mg/km	170 mg/km		90 mg/km
Euro5		WMTC	1 000 mg/km	100 mg/km	68 mg/km	60 mg/km

ECE tarkoittaa vanhaa kaupunkimittaussykliä hyväksyntää varten, EUDC vanhaa kaupunkien ulkopuolista sykliä. WMTC (World Motorcycle Test Cycle), uusi maailmanlaajuinen yhdenmukaistettu testisykli 2- ja 3 pyöräisille. CO (hiilimonoksidi), HC (palamattomat hiilivedyt), NMHC (muut kuin metaanihiilivedyt), NOX (typen oksidit)

Euro5-moottoripyörästandardin erityispiirteenä on, että siinä asetetaan samat raja-arvot pakokaasupäästöille WMTC-syklissä kuin mitä sovelletaan nykyisiin bensiinikäyttöisiin autoihin (Euro6-d-autostandardi) WLTP-syklissä. Nämä kaksi sykliä kuvaavat hyvin todellista käyttöä, ja ne on nykyään yhdenmukaistettu maailmanlaajuisesti.

3. Tutkimusasetelma

Vaikutusten kuvaamiseksi todellisessa käytössä käytettiin samaa periaatetta kuin aiemmin: pakokaasupäästöjen mittaaminen rullapenkillä testisyklillä, joka jäljittelee todellista liikennettä 31 kilometrin pituisella kaupunki- ja esikaupunkimatkalla, joka edustaa lähiö-Pariisin työmatkaliikennettä ja ajoa ruuhka-aikana (moottorin kylmäkäynnistys 20 C lämpötilassa). Lisäksi mitattiin myös hiukkaspäästöt (massa ja lukumäärä) kevyistä moottoripyöristä, vaikkei säätelyvaatimuksia niistä ole.

Vertailun tekemiseksi laskettiin kahden Euro6-d-auton päästöt HBEFA-simulointityökalulla (digitaalinen työkalu, joka perustuu laajaan tietokantaan lukuisista laboratorioissa testatuista ajoneuvoista). Näissä kahdessa ajoneuvossa oli bensiini- ja dieselmoottori, ja ne edustavat Ranskan viimeaikaisen ajoneuvokannan ajoneuvoja (bensiniimalli on pienempi kuin dieselmalli). HBEFA-työkalun avulla on mahdollista simuloida todellisia päästöjä ”Pariisin esikaupunki ruuhka-aikojen matkalla, joka alkaa 20 C lämpötilassa”. Simulaatiossa henkilöauton matka-aika määriteltiin pidemmäksi kuin moottoroidun kaksipyöräisen käyttämä matka-aika. Kuten 2008 tehdyssä tutkimuksessa todetaan, testissä käytetyt moottoripyörät noudattavat tiukasti asetettuja nopeusrajoituksia koko reitillä. ”Lane splitting” (tai kaistan jakaminen, eli kyky liikkua pysähtyneen liikenteen ohi kaistalta toiselle) on huomioitu testissä, jotta testisykli vastaisi moottoripyörän todellista käyttöä. Tämä antaa moottoripyörille mahdollisuuden säästää huomattavasti aikaa, kun autoliikenne hidastuu tai pysähtyy merkittävästi.

Ranskassa vuosina 2019-2020 eniten myydyistä moottoripyöristä ja skoottereista, jotka ovat Euro4- tai Euro5- hyväksytyjä, mitattiin 4 kpl 125cm³- mallia ja 7 mallia, joiden moottorin iskutilavuus on yli 125 cm³. Mopoja ei otettu mukaan, koska ne eivät sovi testiolosuhteiden simulaatioon (tie- ja moottoritieosuudet, jotka ovat vaikeita tai jopa mahdottomia käyttää 45 km/h rajoitetulla ajoneuvolla)

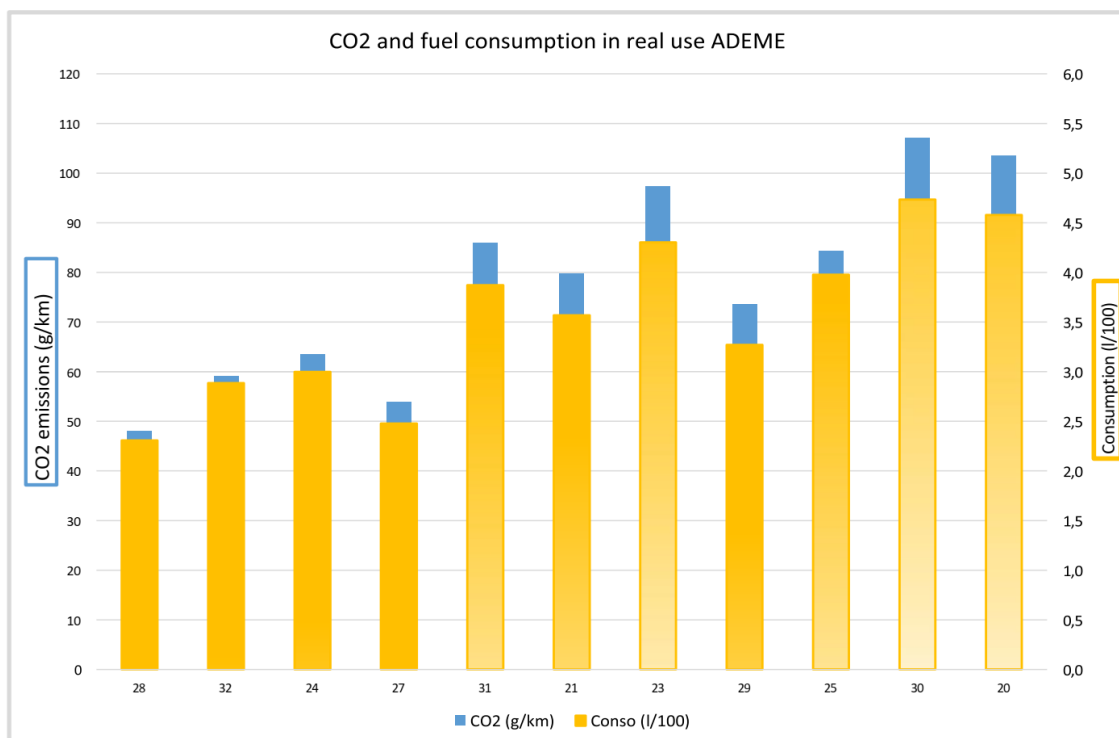
Termillä ”maksiskootteri”, tarkoitetaan skoottereita, joiden sylinteritilavuus on yli 125 cm³. kategoriaan sisältyy myös 3-pyöräinen malli. Keskikokoisten moottoripyöräiden sylinteritilavuus on 500-700 cm³. koska

aikaisempi Euro3- standardi asetti valmistajille rajoituksia, kaikkien mitattujen moottoripyörämallien moottorit ovat nelitahtisia. Kaikki testatut ajoneuvot olivat tyyppihyväksynnän mukaisessa kunnossa.

N o.	Category	Pmax of engine	Mileage	Inertia test	Depol Euro
28	motorcycle 125	9.8 kW	1	200	4
32	scooter 125	8.1 kW	368	200	5
24	scooter 125	10.5 kW	5115	250	4
27	scooter 125	11 kW	123	240	4
31	Maxis scooter	19 kW	455	300	5
21	Maxis scooter	25 kW	1174	290	4
23	Maxis scooter	35 kW	1314	290	5
29	Medium motorcycle	35 kW	670	260	4
25	Medium motorcycle	54 kW	1450	270	5
30	Motorcycle > 900cm ³	75 kW	4803	310	5
20	Motorcycle > 900cm ³	100 kW	3806	320	4

4. Mittaustulokset moottoripyörien osalta

CO₂- päästöt ja polttoaineen kulutus (l/100 km) reitillä, näkyvät alla olevasta kaaviosta. On huomioitava, että nämä arvot on mitattu todellista käyttöä edustavalla ajotavalla, joka siis eroaa tyyppihyväksynnässä käytettävistä mittaustavoista.



Tulokset osoittavat alhaisia arvoja moottoripyörille:

- Alle 3 l/100 km ja 64 g/km (CO₂) 125 cm³ moottoripyörien osalta
- Alle 4 l/100 km ja 85 g/km (CO₂) keskisuurten moottoripyörien osalta

Tällaisiin arvoihin päästäkseen henkilöautojen kohdalla vaaditaan monimutkaisempia ja kalliimpia tekniikoita (hybridit, dieselmoottorit, joissa epäpuhtauksien suodatus).

Polttoaineen kulutus

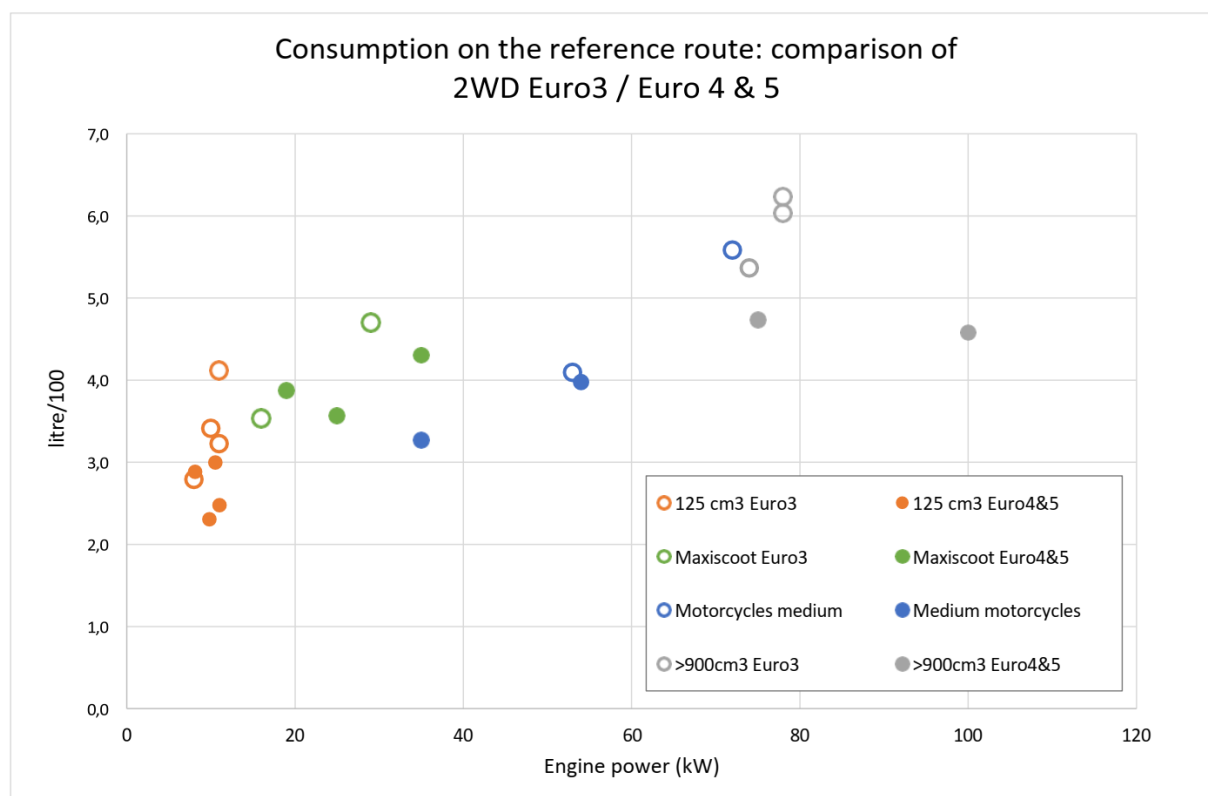
Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että viimeisimmän sukupolven 125 cm³ -mallien kulutus on parantunut merkittävästi Euro3 -sukupolveen verrattuna, ja kulutus on pienentynyt otoksessa keskimäärin yli 22 prosenttia 3,5 l/100 km:sta noin 2,7 l/100 km:iin, kun kyseessä ovat vertailukelpoiset ajoneuvot.

Keskikokoisten ajoneuvojen (kulutus 3,3-4,3 l/100 km) osalta tilanne eroaa skoottereiden ja moottoripyörien välillä.

Tämän tutkimuksen maksiskoottereiden osalta kulutus on hieman laskenut (-4,8 %), ja on 3,9 l/100 km verrattuna edellisen tutkimuksen Euro3 laitteiden 4,1 l/100 km. Tässä mitatut mallit ovat kuitenkin yleisesti ottaen hieman tehokkaampia, mikä heikentää tämän tutkimuksen mittaustuloksia.

Keskikokoisten moottoripyörien kohdalla kaksi tähän tutkimukseen osallistunutta mallia olivat pienempitehoisia kuin silloisen Euro3-luokan mittauksen pyörät. Ne valittiin myydyimpien moottoripyörämallien joukosta sen mukaan, miten niitä oli saatavilla testaukseen. Kulutuksen kehitys on ollut keskikokoisten moottoripyörien luokassa suotuisaa, -25 %, 4,8 l/100 km:sta 3,6 l/100 km:iin. Tätä selittää pienentynyt moottoriteho sekä tekninen kehitys (hyötysuhde, polttoaineen ruiskutus).

Moottoripyörien, joiden tilavuus on suuri (yli 900 cm³), arvot ovat 4,6 ja 4,8 l/100 km. Näiden tulosten perusteella kulutus on pudonnut 20 %, verrattuna Euro3- päästöluokan mittaustuloksiin. Euro3 -luokan mittauksissa tulokset vaihtelivat 5,3 ja 6,3 l/100 km välillä, vastaavilla tai jopa pienemmillä moottoritehoilla.



Yleisesti ottaen kulutuksiin on vaikuttanut positiivisesti Euro4- ja Euro5- hyväksynnän myötä tapahtunut tekninen kehitys (palotapahtuma, polttoaineen ruiskutus, päästöjen valvonta). Perinteisesti polttomootorilla varustettujen ajoneuvojen polttoaineenkulutus kasvaa tehokkaimmilla moottoreilla varustetuissa malleissa, samassa käyttötarkoituksessa, koska moottorin energiatehokkuus on alhaisempi todellisessa käytössä. Samalla tiedetään, että skoottereiden voimansiirrosta aiheutuu pieni haitta verrattuna moottoripyöriin. Variaattorin energiatehokkuus on 10-20 prosenttia pienempi kuin vaihteisto energiatehokkuus.

CO2 päästöt

CO2 -päästöarvot korreloivat perinteisesti polttoaineen kulutuksen kanssa, tässä tapauksessa yksinomaan bensiinikäyttöisten moottoreiden osalta.

Päästöarvot eri kokoluokissa todellista päivittäistä käyttöä kuvaavassa mittauksessa olivat:

- 125 cm³ kevytmoottoripyörät, 48-63 g/km(pienempi arvo kuvaa moottoripyörää, isompi skootteria)
- keskikokoiset moottoripyörät, 73-97 g/km, (voimansiirto ja moottorin enimmäisteho aiheuttaa hajontaa)
- suurikokoiset moottoripyörät, 103-107 g/km (75-100 kW moottoriteho)

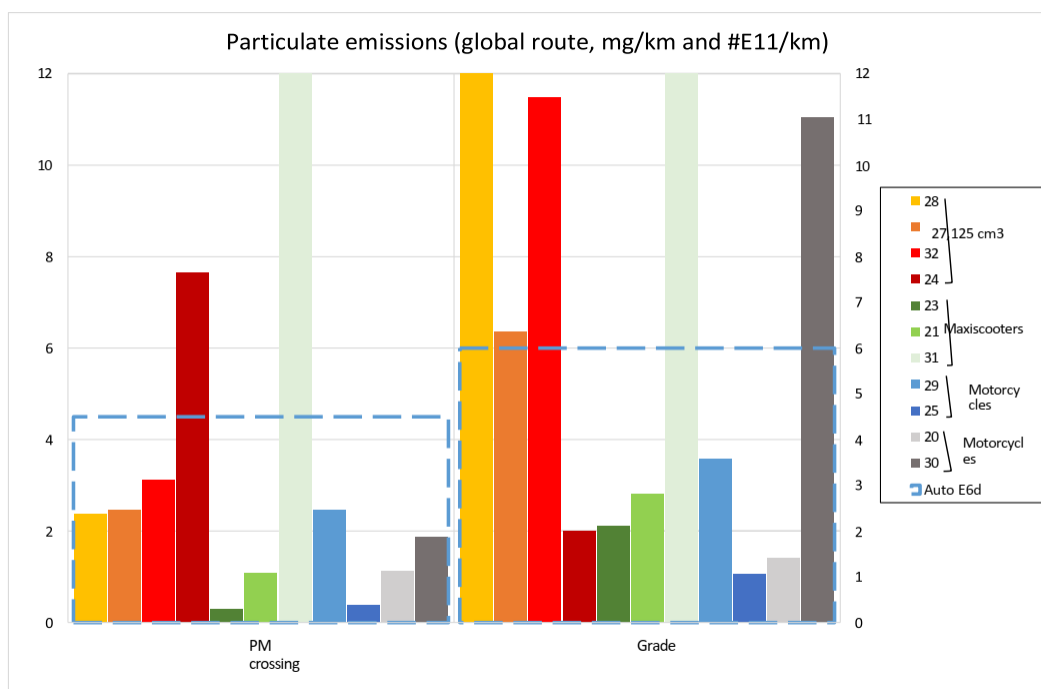
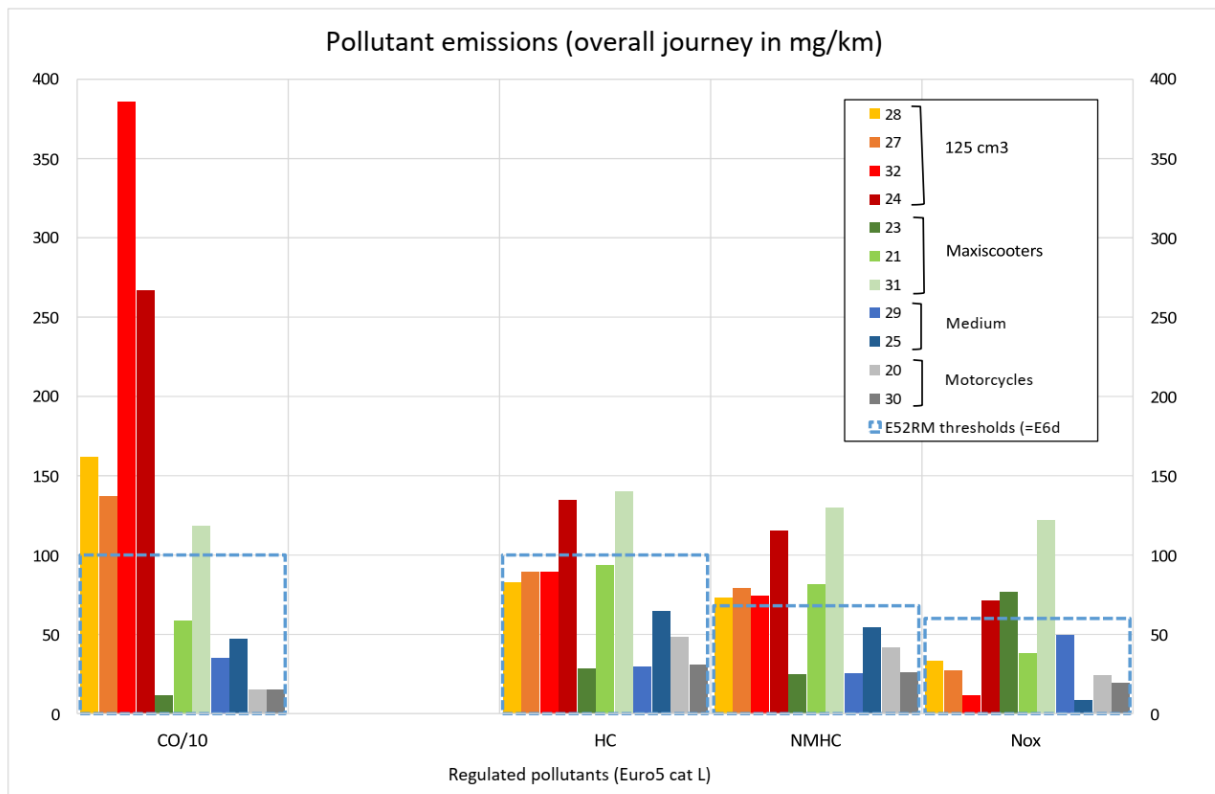
Nämä arvot ovat huomattavasti alhaisemmat kuin auton vastaavat käytönaikaiset arvot.

Pakokaasupäästöt

Seuraavissa kaavioissa esitetään kunkin mallin mitatut pakokaasujen epäpuhtaudet (massa ja lukumäärä). Näitä ei ole säännelty moottoripyörän osalta ja ne on mitattu kuten autojen tyyppihyväksyntä edellyttää.

Muistutetaan, että mittaukset suoritettiin ”todellista käyttöä edustavalla” liikkuvalla syklillä, Hyväksynnästä poikkeavissa olosuhteissa (erityisesti täydellä kiihdytyksellä, tai 125 cm³:n ajo suurimmalla nopeudella) Euro5- vaatimustenmukaisuuden raja-arvo on merkitty ainoastaan tiedoksi, sen perusteella ei voida arvioida ajoneuvojen vaatimuksenmukaisuutta. Vaatimuksenmukaisuutta voidaan arvioida ainoastaan hyväksyntä testisyklillä suoritettujen mittausten perusteella.

For the readability of the graph, the display scales of the CO are adapted by a factor of 10



Tulosten analyysi osoittaa että:

125 cm³ kohdalla

Vaikka hiilidioksidipäästöt ovat vähentyneet selvästi Euro3- luokituksen jälkeen, 125 cm³ moottorit aiheuttavat runsaasti epäpuhtauksia moottoriteajossa, jossa niitä käytetään suurimmalla teholla. 125 cm³ moottoreiden teho on laissa rajoitettu 11 kW:iin, mikä antaa niille 90-110 km/h enimmäisnopeuden.

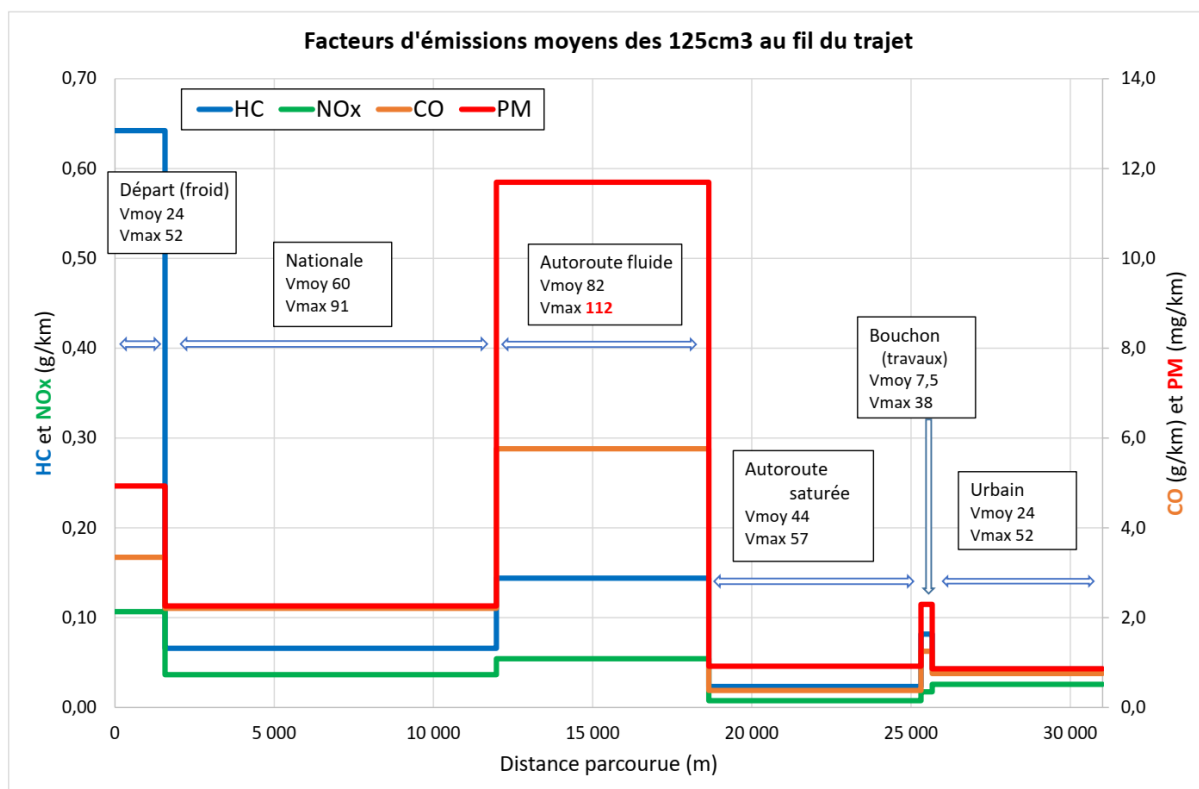
Hiukkaspäästöt ovat suuria (lukumääräisesti ja massaltaan) verrattuna muihin moottorikokoihin, ja nämä ylimääräiset päästöt syntyvät, kun ajetaan täydellä teholla moottoritiellä. Huomaa, että hiukkaspäästöjä ei säännellä 2-pyöräisten osalta.

Kolmessa neljästä mitatusta mallista, HC- päästöt ovat alhaisemmat kuin sääntelyn raja-arvo. Samoin kuin NOX- päästöt ovat lähes puolet raja-arvoista.

Tiedoksi: Tässä tutkimuksessa käytetyt 125 cm³ -moottorit ovat yksinomaan nelitahtimoottoreita, joiden tehoa on hankala ”peukaloida” tai virittää siten, että niiden teho ylittäisi säädetyn 11 kW:n raja-arvon.

125cm³ -luokan ajoneuvojen keskimääräiset päästölukemat testimatkan aikana

Matkan aikana käytetyt ajonopeudet taulukon inforuuduissa.



Keski- ja suurikokoiset moottoripyörät

Huomiona, että maksiskootteri numero 31:llä mitattiin huomattavia päästöylityksiä, joihin liittyi moottorin toimintahäiriöitä testipenkissä tehtyjen mittausten aikana. Erityisesti hiukkaspitoisuudet olivat täysin

epänormaaleja, minkä vuoksi tämä ajoneuvo ja sen tulokset on jätetty pois analyysin loppuosasta. Tutkimusaikataulu ei jättänyt riittävästi aikaa ajoneuvon tekniseen diagnosointiin.

Moottoripyörien osalta päästörajojen noudattaminen vaikuttaa asianmukaiselta, ja säänneltyjen epäpuhtauksien päästörajat eivät keskimäärin ylitä edes tässä ”todellisessa” käyttösyklissä.

Toisessa kahdesta yli 900 cm³ moottoripyörästä, mitattiin huomattavasti enemmän hiukkasia kuin muissa, mikä viittaa päästettyjen hiukkasten hiukkaskokojakaumaan.

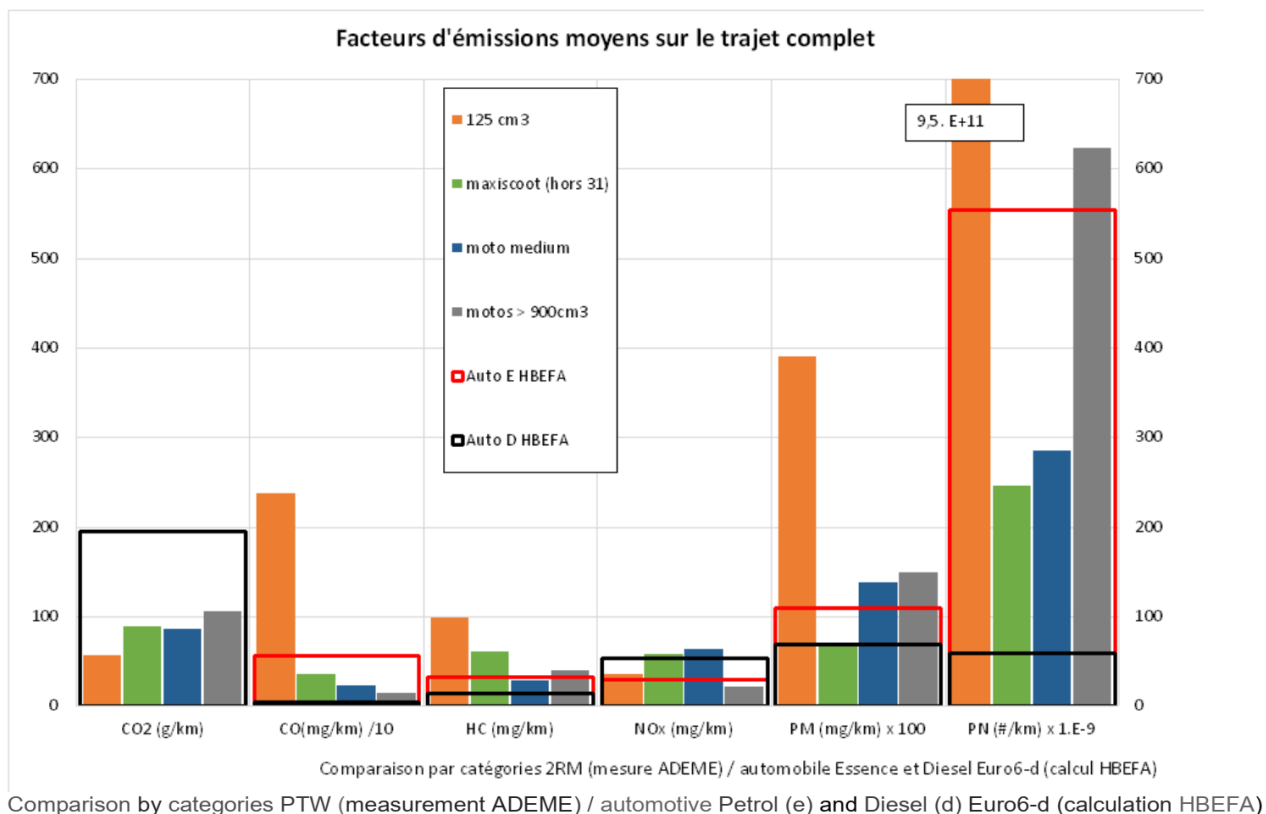
Lisäksi mitattiin hieman liikaa NMCH:tä skootterille no. 21, mutta koska se huomioitiin vasta Euro4- tasolla, skootteriin ei sovellettu erityistä raja-arvoa tälle epäpuhtaudelle.

5. Moottoripyörien vertailu henkilöautoihin

Kun HBEFA työkalun perusteella saatiin hyvä tietämys henkilöautojen päästöistä, verrattiin 2- ja 3 pyöräisten moottoriajoneuvojen mittaustuloksia kahteen henkilöautoon. Yhteen Euro6 -benssiini, ja yhteen Euro6- dieselautoon, jotka edustivat keskimääräistä Ranskan autokantaa. Päästöjä simuloitiin vertailureitillä, joka on vertailukelpoinen 2- ja 3-pyöräisten reitin kanssa. (reittien rakenne selitetään vuoden 2008 julkaisussa).

Seuraavassa kaaviossa on esitetty todellisen käytönaikaisten päästöjen vertailu 2- ja 3-pyöräisten eri kokoluokkien ja kahden Euro6- päästötason auton välillä.

Keskimääräiset päästöt koko matkan aikana



On huomioitava, että nämä tulokset ovat ajoneuvokohtaisia yhden henkilön liikkumisen päästölukemia.

INSEE:n vuonna 2019 julkaisema EDM-tutkimus osoittaa, että autojen täyttöaste näissä päivittäisissä paikallisissa käyttötarkoituksissa on 1,4 henkilöä autoa kohti, ja 74 % autoista on ainoastaan kuljettajan käytössä ruuhka-aikaan. Tässä ei otettu huomioon kimpakyytien vaikutusta.

CO₂-päästöt

CO₂ -päästöjen osalta voidaan todeta, että moottoroitujen kaksipyöräisten päästöt ovat kokonaisuudessaan 2-3,5 kertaa pienemmät kuin henkilöautojen, jotka tässä tutkimuksessa edustivat Euro6- standardin mukaisia bensiini- ja dieselautoja. Bensiinimoottorimalli on pienempi kuin dieselmalli. (edustaa Ranskan autokannan rakennetta), ja niiden CO₂-päästöt ovat keskenään samaa tasoa.

Eniten päästöjä aiheuttavat moottoripyörät ovat tehokkaimmat mallit, ja ne aiheuttavat noin puolet vähemmän CO₂-päästöjä kuin henkilöautot. 125 cm³ kevytmoottoripyörät, joiden teho on asetuksella rajoitettu 11 kW:iin, päästävät keskimäärin 3,5 kertaa vähemmän päästöjä kuin henkilöautot.

125 cm³:n pakokaasupäästöt

Tässä vertailussa havaitaan 125 cm³ ajoneuvojen hiilimonoksidi-, hiilivety-, ja hiukkapäästöjen korkea taso, sillä niiden pakokaasupäästöissä on neljä kertaa enemmän hiilimonoksidia ja kolme kertaa enemmän hiilivetyä kuin bensiiniautoissa (jotka päästävät näitä epäpuhtauksia enemmän kuin diesel).

Typpioksidipäästöt ovat hyvin lähellä bensiinikäyttöisen auton päästöjä, ja huomattavasti alhaisemmat kuin dieselauton päästöt. Hiukkaset, joita ei säännellä moottoripyörien osalta, ovat massaltaan 3,5 kertaa suuremmat kuin bensiiniautojen, mutta ne täyttävät autohyväksynnän raja-arvon (4,5 mg/km). Päästettyjen hiukkasten määrän osalta 125 cm³ ylittää hieman Euro6-d-autojen RDE-hyväksyntäkynnyksen, joka on $9,5 \times 10^{11}$ / km, kynnysarvo on 9×10^{11} .

Vertailu osoitti, että vaikka 2- ja 3-pyöräisten hiukkaspäästöjä ei ole säännelty, mitatut pitoisuudet lähestyvät autojen sääntelyn raja-arvoja.

Tulokset osoittavat myös, että autojen pakokaasujen hiukkaspäästöt ovat vähentyneet jyrkästi sääntelyn myötä, ja erityisesti dieselmoottorien hiukkaspäästöt ovat nyt huomattavasti pienemmät kuin bensiinimoottorien vastaavat. Myös absoluuttiset päästöt ovat selvästi alle sääntelyn raja-arvojen. Tämä on linjassa ADEME:n aiempien tutkimusten johtopäätösten kanssa, joissa osoitettiin hiukkassuodattimien tehokkuus.

Keskisuurten ja suurten moottoripyörien päästöt

Hiilimonoksidipäästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin bensiinikäyttöisen auton kokonaispäästöt, mutta ne eivät kuitenkaan yllä dieselauton tasolle. HC-päästöt ovat bensiinikäyttöisen auton päästöjä suuremmat maksiskootterien osalta (noin kaksinkertaiset), ja samaa luokkaa autojen kanssa moottoripyörien osalta. NO_x-päästöt ovat verrattavissa dieselautojen päästöihin keskikokoisten moottoripyörien osalta, mutta parempia kuin bensiiniautojen päästöt suurempien moottoripyörien osalta.

Hiukkaspäästöjen osalta voidaan todeta, että hiukkaspäästöjen massa on yleisesti ottaen verrattavissa bensiiniautoihin. Hiukkaspäästöjen määrä on pienempi kuin bensiiniautoissa keskikokoisten pyörien osalta, ja 10 % suurempi isojen moottoripyörien osalta. (kahdesta mitatusta moottoripyörästä toinen oli samalla tasolla keskikokoisten pyörien kanssa).

Yhteenveto 2- ja 3-pyöräisten ja autojen vertailusta

Nämä tulokset osoittavat, että on tärkeää eriyttää analyysi moottoripyörän kokoluokkien mukaan.

Moottoripyörien pienen massan ansiosta niiden polttoaineenkulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti alhaisemmat kuin henkilöautojen. Erityisesti pienitehoisimmissa malleissa, jotka soveltuvat päivittäiseen työ- ja asiointiliikkuamiseen (125 cm³ ja keskiuuret moottoripyörät). Skoottereiden kulutus on hieman korkeampi kuin moottoripyörän, johtuen voimansiirron heikommasta energiatehokkuudesta.

Kevytmoottoripyörien (125 cm³) pakokaasupäästöt, erityisesti CO-, HC-, ja hiukkaspäästöt ovat korkeat, mikäli laitetta käytetään moottoritieajossa täydellä nopeudella. Tähän mennessä missään päästönormeissa, ei autoissa eikä moottoripyörissä, ole otettu huomioon pakokaasupäästöjä suurimmalla nopeudella ajettaessa.

Lukuun ottamatta tätä kevytmoottoripyörien erityistilannetta, tässä otoksessa arvioitujen Euro4- ja Euro5-luokan moottoroitujen kaksipyöräisten keskimääräiset pakokaasupäästöt ovat verrattavissa viimeaikaisten bensiinikäyttöisten autojen (Euro6) päästöihin, mutta poikkeamat riippuvat tarkastelluista malleista ja kokoluokista.

Ne hiukkaspäästöjen osalta havaitut tulokset, joita ei säännellä henkilöautoista poiketen moottoripyörien osalta, sopisivat raja-arvoiksi, joita moottoripyörien valmistajat voisivat noudattaa, kunhan otetaan huomioon edellä esitetyt havainnot eri kokoluokista. Nämä arvot ovat samaa tasoa henkilöautojen raja-arvojen kanssa.

6. Joitakin huomioita moottoroitujen kaksipyöräisten sähköistämisestä

Jopa enemmän kuin autojen kohdalla, moottoroitujen kaksipyöräisten sähköistäminen tarjoaa tämän liikennemuodon ympäristöhaasteisiin. Paikallisten pakokaasupäästöjen poistamisen lisäksi sähköistämällä ratkaistaan toinen kaksipyöräisten ajoneuvojen aiheuttama haitta, eli melupäästöt.

Riippuen mallista, kevytmoottoripyörää vastaavan sähkömoottoripyörän toimintasäde on noin 100 km, (akkukapasiteetista ja ajotavasta riippuen, kuten autojen kohdallakin), ja isomman luokan sähkömoottoripyörien toimintasäde voi olla 250-300 kilometriä. Nämä arvot ovat alhaisemmat kuin sähköautojen arvot (jopa 700 km). Tämä vastaa polttomoottorikäyttöisten moottoripyörien arvoja, sillä niissä on yleensä pienet polttoainesäiliöt, ja niitä käytetään harvoin hyvin pitkillä matkoilla. Vain harvat polttomoottorikäyttöiset moottoripyörät yltyvät 500 km toimintasäteeseen.

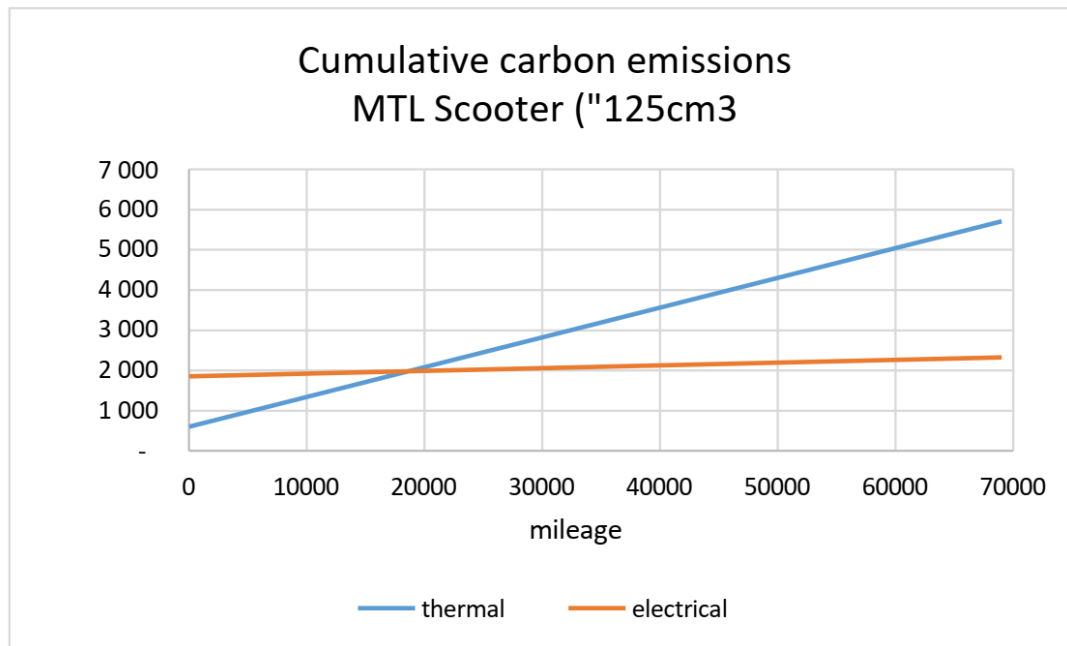
Seuraavissa luvuissa analysoidaan sähkökäyttöisten moottoripyörien etuja ympäristö-, energia-, ja talousvaikutusten kannalta.

Ympäristövaikutukset

Vuonna 2022 yhdessä IFPEN:in kanssa julkaistussa E4T 2040 tutkimuksessa arvioidaan 125 cm³:n skootterin (muiden ajoneuvojen ohella), sähköistämisen vaikutuksia. Analyysi osoittaa, että sähkökäyttöinen moottoroitu kaksipyöräinen voi olla merkityksellinen vastaus yksilöllisen moottoroidun ajoneuvon tarpeeseen. (käyttötarkoituksiin, jotka eivät sovellu sähköavusteiselle polkupyörälle, tai kun ei ole mahdollisuutta julkiseen liikenteeseen).

Ympäristön kannalta vertaileva elinkaarianalyysi 125 cm³ skootterin ja vastaavan sähköskootterin (sama nimellisteho 10 kW, 6 kWh akku Li-ion NMC622-tekniikalla) välillä osoittaa, että sähkömoottorilla on pienempi negatiivinen ilmastovaikutus kuin bensiiniversiolla. Vastaavasti kuin autojen osalta esitellyssä ADEME:n tutkimuksessa ”ADEME opinion on electric cars and charging stations”, sähköskootterin valmistuksen hiilijalanjälki on huomattavasti suurempi kuin polttomoottoriversion, mutta käytönaikaiset päästöt johtavat kasvihuonepäästöjen kokonaisvähennykseen 18 500 ajetun kilometrin jälkeen.

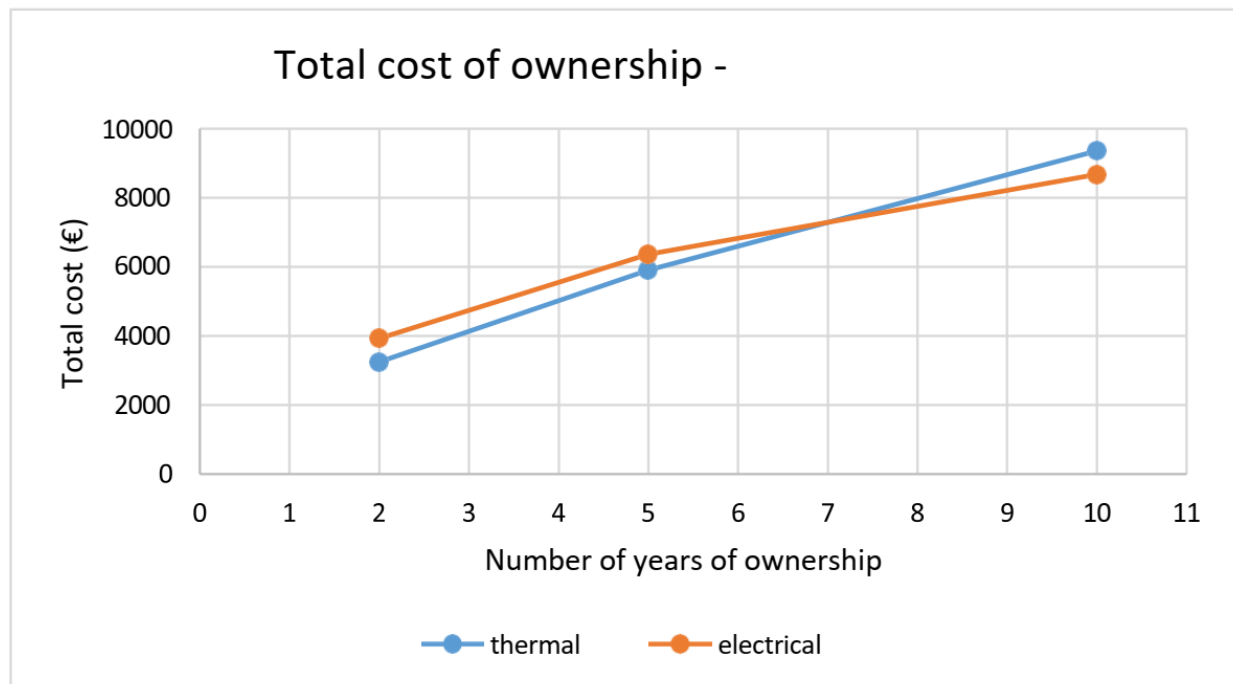
Kumulatiiviset hiilidioksidipäästöt



Sähköskootterin kumulatiiviset kasvihuonepäästöt ovat huomattavasti pienen sähköauton päästöjä pienemmät (alle puolet: ADEME:n sähköajoneuvoja käsittelevässä tutkimuksessa pienen kaupunkiauton hiilijalanjälki on noin 8 tonnia 200 000 kilometrillä, ja noin 6 tonnia 70 000 kilometrillä)

Taloudelliset vaikutukset

Taloudellisesti tarkasteltuna käytön taloudelliset säästöt (pienemmät energiankulutukseen ja huoltoon liittyvät kulut) mahdollistavat hankinnan lisäkustannusten (hypoteesi +50 %) korvaamisen 7 vuodessa, kun kyseessä on päivittäinen työmatkakäyttö (25 km/päivä 200 päivänä vuodessa). EMP2019-tutkimuksen mukaan keskimääräinen kodin ja työpaikan välimatka on 13,3 km. Tämä käyttö vastaa myös oletusta, jota käytetään laskettaessa 125 cm³ kevytmoottoripyörän käytönaikaista keskimääräistä ajomäärää (3 vuotta 6 000 km:n ajomäärällä ja sen jälkeen 4 000 km/vuosi).

Taulukko: Omistamisen kokonaiskustannukset**Energiataloudelliset vaikutukset**

Sähkönkulutusmittaukset suoritettiin kolmella sähkökäyttöisellä kaksipyörämallilla ADEME:n ”todellisen käytön” vertailureitillä. Esitetyt arvot on mitattu ”pistorasiasta”, joten niissä on otettu huomioon ajoneuvon sisäisen laturin tehokkuus.

Catégorie	Inertie d'essai	P moteur nominale	P moteur maximale	Vmax	Conso
MTL ("equiv 125")	250 kg	7 kW	10 kW	110 km/h	62,2 Wh/km
MTL ("equiv 125")	350 kg	11 kW	35 kW	120 km/h	91,2 Wh/km
MTT	300 kg	40 kW	81 kW	170 km/h	67,15 Wh/km

Sähkömoottoripyörien teho ilmoitetaan nimellistehona, eli arvo, jonka moottori pystyy tuottamaan jatkuvasti (mitataan 30min. ajan). Sähkömoottoreiden hetkellinen teho voi siis olla huomattavasti korkeampi.

Eurooppalaisissa säännöksissä määritellään kevytmoottoripyörät niiden suurimman nimellistehon mukaan, joka on rajoitettu 11 kW:iin (15hv), joten edellä olevassa taulukossa toisena olevaa mallia pidetään kevytmoottoripyöränä. Tämä malli tarjoaa kuitenkin suuremman hetkellisen tehon esim. kiihdytyksissä kuin vastaavat polttomoottorimallit (35kW on käytettävissä muutaman kymmenen sekunnin mittaisissa jaksoissa moottorin tilasta ja akun varauksesta riippuen). Sähköajoneuvojen käyttöalue on siis paljon laajempi kuin niiden nimellisteho antaa ymmärtää.

Kulutusmittausten huomioita

Saadut arvot ovat huomattavasti alhaisempia kuin sähköautojen, joiden kulutus vaihtelee 130 Wh/km:stä yli 300 Wh/km:iin.

Toisin kuin polttomoottorimalleissa, sähkömoottoripyörien moottorikoon kasvuun ei periaatteessa liity kulutuksen kasvua todellista liikennetilannetta simuloivissa mittauksissa.

Testitulosten avulla voidaan laskea voimansiirron energiatehokkuus testisyklin aikana (polttomoottorin tuottaman takapyörätehon, ja latauspistokkeen syöttämä teho latauksen aikana, ns. ”tankista pyörään” - laskenta). Jäljempänä olevassa taulukossa näitä arvoja verrataan kunkin sähkökäyttöisen mallin osalta yhteen vertailukelpoisen tehon omaavaan polttomoottorimalliin (suurin teho/painosuhte), ja kaikki ajoneuvot mitattu samalla syklillä.

Vertailun vuoksi voidaan mainita edellä esitellyn Euro6-bensiiniauton hyötysuhteen suuruusluokka: Samalla matkalla se on 16,3 % luokkaa, ja siten sama kuin 125 cm³ kevytmoottoripyörällä, jossa on polttomoottori.

Electric model				Comparable thermal model			
Pmax x Kw	Power mass kW/tonne	Vmax km/h	energetic efficiency %	Pmax Kw	Power mass kW/ton	Vmax km/h	energetic efficiency %
10	36,1	110	64,3	10,5	41,2	110	16,3%
35	98,6	120	49,9	35	116,7	165	10,0%
81	264,7	170	63,6	75	235,8	200	9,3%

Sähkökäyttöisen moottoripyörän nro. 2 energiatehokkuus, joka on huomattavasti alhaisempi kuin kahden muun mitatun MP:n, johtuu luultavasti vanhemmasta teknisestä rakenteesta: noin 10 vuotta sitten markkinoille tuotu malli on painavin, eikä se pääse samalle tasolle viimeaikaisten sähköpyörien kanssa.

Kolmen sähköisen mallin tuloksista voidaan kuitenkin havaita, että sähköinen voimanlähde on energiatehokkuudeltaan huomattavasti parempi kuin polttomoottori. ADEME:n todellisessa käytössä mitatut hyötysuhteet ovat yli neljä kertaa suuremmat kuin vastaavan tehoisella polttomoottorilla varustettujen ajoneuvomallien hyötysuhteet.

Johtopäätöksenä voidaan todeta:

Koska sähkömoottoripyörä on massaltaan paljon pienempi kuin henkilöauto, mikä vähentää sen siirtymiseen tarvittavan energian tarvetta, sekä tehokkaan voimalinjan ansiosta, on moottoripyörä energiatehokas yksilölliseen liikkumiseen ajoneuvo. Sillä voi olla taloudellista merkitystä myös sellaisessa käyttötarkoituksissa, joissa toimintasäde ja tieinfrastruktuuri eivät sovellu polkupyörän tai sähköavusteisen polkupyörän käyttöön. Lisäksi etuna on pienempi hiilijalanjälki kuin henkilöautossa, ja samalla se poistaa melusaasteen, josta moottoripyöriä usein arvostellaan.