

Opinnäytetyö (Turun AMK)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

NAUTO13K

2017

Eero Suominen

BMW-AJONEUVOJEN HYBRIDITEKNIikka

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

2017 | Sivumäärä: 41

Ohjaaja: Markku Ikonen

Eero Suominen

BMW-AJONEUVOJEN HYBRIDITEKNIikka

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on käydä läpi BMW:n kehittämää nykyaikaista hybridi-tekniikkaa ja selvittää, miten se on kehittynyt viime vuosina. Työssä käydään läpi BMW:n tähän mennessä valmistamat hybridiajoneuvot, sekä vertaillaan niitä kilpailijoiden valmistamiin hybrideihin. Työ on tehty Turun ammattikorkeakoululle.

Hybriditekniikka käsitteenä tarkoittaa ajoneuvoa, johon on polttomoottorin lisäksi kytketty sähkömoottori avustamaan liikettä. Tarkoituksena on tavoitella mahdollisimman alhaisia hiilidioksidipäästöjä, sekä polttoaineen kulutusta. Yksi suuri tekijä hybriditekniikassa ovat akustot, joista sähkömoottori saa käyttövoimansa. Lisähaastetta hybridiajoneuvojen suunnittelijoille tuo akkujen sisältämän energian säilöminen ja sen uudelleen latauksen ongelmat.

Hybriditekniikan kehitys on ollut viime vuosina hyvin merkittävä tekijä kasvihuoneilmion kannalta. Ladattavien hybridien ympäristöystävällisyys riippuu myös siitä, miten näissä autoissa käytettävä sähkö on tuotettu. Lain vaatimat päästörajoitukset kasvavat jatkuvasti, joten on varmaa, että hybridi- ja sähkötekniikka nykyajan, sekä tulevaisuuden ajoneuvoissa tulee kasvamaan ja kehittymään huomattavasti.

ASIASANAT:

Hybriditekniikka, sähkötekniikka, ajoneuvotekniikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and transportational engineering | Automotive engineering

2017 | Total number of pages: 41

Instructor: Markku Ikonen

Eero Suominen

HYBRID TECHNOLOGY IN BMW VEHICLES

The purpose of this thesis is to go through BMW's modern hybrid technology and to clarify how the technology works and how it has been developed during recent years. The project covers all hybrid and electric vehicles manufactured by BMW. This thesis also contains fuel consumption and emission comparison between BMW and other hybrid manufacturers that are classified as hybrid technology competitors. The thesis is prepared for Turku University of Applied Sciences.

Hybrid technology as a concept stands for a vehicle, which includes a combustion engine in addition to an electric motor to assist the movement. The aim is to seek the lowest possible emissions and fuel consumption. One important factor in hybrid technology is the batteries that give power to the electric motor. An extra challenge for hybrid vehicle designer is to conserve the energy in the batteries and to recharge them.

The development of hybrid technology during recent years has been a very important factor in terms of the greenhouse effect. The environmental friendliness of rechargeable hybrids also depends on how the electricity used in these cars is produced. Emission limits required by the legislation are constantly increasing, so it is certain that hybrid and electrical engineering, as well as the modern vehicles of the future, will continue to grow and evolve considerably.

KEYWORDS:

Hybrid technology, electric technology, automotive technology

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 YLEISTÄ HYBRIDI- JA SÄHKÖTEKNIIKASTA	7
2.1 Sähkömoottorin ja polttomoottorin hyötysuhde	8
2.2 BMW-ConnectedDrive	10
2.3 Regeneroivat jarrut	11
2.4 NEDC-mittaussykli	12
3 AKKUTEKNOLOGIAN KEHITYS	14
3.1 Lyijyakku	14
3.2 Litium-ion akku	15
3.3 Latausjärjestelmät, sekä BMW:n iWallbox.	16
4 BMW POWER E DRIVE -KONSEPTIAUTO	18
5 BMW:N KAUPALLISET HYBRIDIMALLIT	22
5.1 BMW 225xe	22
5.2 BMW X5 xDrive40e	24
5.3 BMW 330e	29
5.4 Hybridiajoneuvojen päästö, sekä polttoainekulutuksien vertailua	32
5.5 BMW:n ajotilavaihtoehdot jokaisessa hybridimallissa	36
6 LOPPUTULOS JA POHDINTA	38
LÄHTEET	39

KUVIOT

Kuvio 1. Vääntömomentit poltto- sekä sähkömoottorilla (Explainthatstuff 2016).	8
Kuvio 2. Bensiinikäyttöisen polttomoottorin hyötysuhde (Sankey-diagrams 2007).	10
Kuvio 3. Generaattorin ja kitkajarrujen tuottamat jarrumomentit yleisesti	11
Kuvio 4. Power e-Drive kiihtyvyyden vertailu kilpailijan 8-sylinteriseen turbomoottoriin. (MTZ-magazine 2015.)	20
Kuvio 5. BMW:n käyttämä taulukko sähkömoottorin mitoitukseen (MTZ-magazine)	26
Kuvio 6. Auton kuluttamat kWh:t ja ladatut kWh:t	31
Kuvio 7. Polttoainekulutusten vertailu	33
Kuvio 8. CO ₂ päästömäärien vertailu	34
Kuvio 9. Ajomatkan ja sähkönkulutuksen vertailu	35

KUVAT

Kuva 1. Lyijyakun komponentit (Darling 2017).	14
Kuva 2. Lithium-ion akku	15
Kuva 3. BMW Power e-Drive -konseptiauton komponenttien paikat ja moottoreiden tehot (MTZ-Magazine 2015).	19
Kuva 4. BMW X5 xDrive40e akuston sijainti taka-akselilla (MTZ-magazine 2015).	27
Kuva 5. BMW X5 eDrive40e akuston jäähdytysputket (MTZ-magazine 2015).	28

TAULUKOT

Taulukko 1. Keskimääräiset arvot 330e mittaustuloksista	32
Taulukko 2. Vertailussa käytetyt arvot	36

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi hybriditekniikan kehitystä, sen tuottamia haasteista, sekä sen vaikutusta nykypäivän autoalaan. Ajoneuvojen määrä kasvaa jatkuvasti ja sen myötä niiden päästöt, polttoainekulut, sekä hinta olisi tarkoitus saada mahdollisimman alhaiseksi. Toistaiseksi hybridiajoneuvoa voisi hyvin kutsua polttomoottoriajoneuvon ja sähköauton väliteknologiaksi, sillä ajan myötä polttomoottorit tulevat poistumaan kokonaan käytöstä, jolloin siirrytään pelkkään sähkövoimaan.

Jatkuvasti tiukentuvat päästörajoitukset velvoittavat ajoneuvonvalmistajat kehittämään puhtaampia ja energiatehokkaampia ratkaisuja. Tästä syystä sähkötekniikkaa yritetään kehittää jatkuvasti, jotta päästäisiin hyödyntämään sähkömoottorin ominaisuuksia. Polttomoottorin käyttöä olisi tarkoitus vähentää mahdollisimman paljon, jotta päästölukemat saataisiin mahdollisimman alas, jollei jopa täysin nollaan saakka. Raakaöljyn hinta ja sen käyttö kasvavat progressiivisesti, mikä vaikuttaa jatkuvaan polttoaineen hinnan kasvuun. Korkeat hinnat ja suuret polttoainekulut taas vaikuttavat yksityisten henkilöiden päätökseen auton ostossa. Ilmastonmuutos on myös suuri tekijä nykypäivänä ihmisten tekemään päätökseen valita hybridi tai sähköauto.

Toistaiseksi vielä suurin haaste hybriditekniikassa on akkujen kehitys ja niiden potentiaalinen kyky säilyttää sähköenergiaa. Erittäin hyviä akkuja pystytään jo valmistamaan mutta niihin tarvittava materiaali sekä valmistamisen tuottamat vaikeudet kustantavat toistaiseksi liikaa. Tälläkin hetkellä hybridiajoneuvoissa käytössä olevat akut vastaavat energiasisällöltään parhaimmillaan vain muutaman litran edestä polttoaineannosta

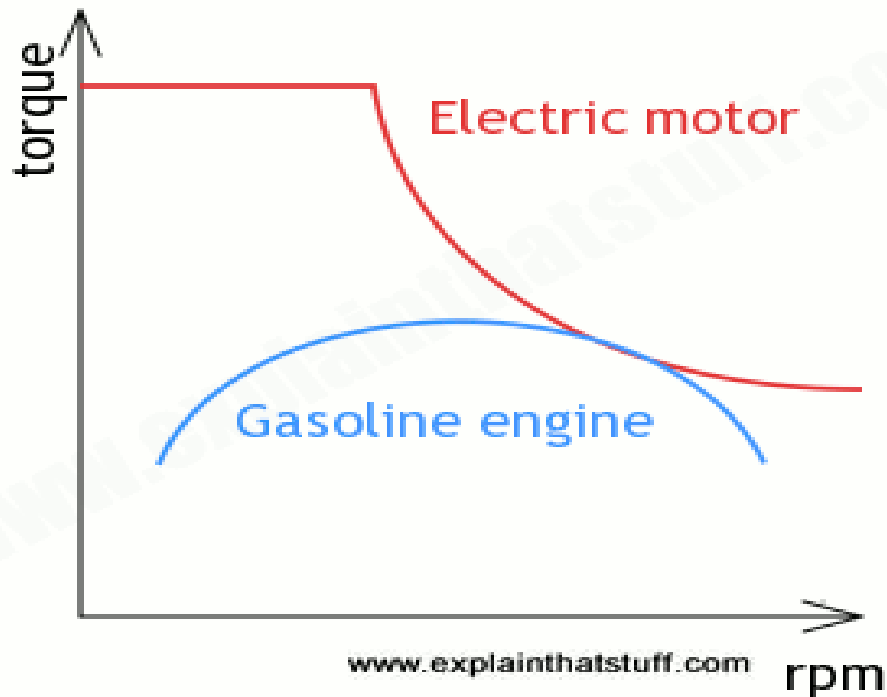
2 YLEISTÄ HYBRIDI- JA SÄHKÖTEKNIIKASTA

Hybridiajoneuvo koostuu polttomoottorista, johon on kytketty sähkömoottori avustamaan auton liikettä. Sähkömoottorin tarkoitus on vähentää polttomoottorin tekemää työtä sekä sen tuottamaa energiaa, jotta polttoaineenkulutus saataisiin mahdollisimman alhaiseksi. Sähkömoottori on yleensä käytössä liikkeellelähdössä ja siitä noin 50 km/h nopeuteen, jos kyseessä on ei-ladattava hybridi. Jos nopeus ylitetään, käynnistyy polttomoottori automaattisesti tuottamaan lisää voimaa vetopyörästölle. Ladattavien hybridien kohdalla yleensä kaikki suomessa lailliset nopeudet ovat mahdollisia. Sähkömoottoria voidaan hyödyntää myös nopeammissa kiihdytyksissä tai ohitustilanteissa, tällöin molemmat moottorit toimivat yhtä aikaa, jolloin saadaan mahdollisimman suuri kiihtyvyyys aikaiseksi. Nykyisistä hybridiajoneuvoista löytyy mahdollisuus olla käyttämättä polttomoottoria ollenkaan, kunnes akut ovat täysin tyhjentyneet. (Linja-Aho 2012.)

Sähkömoottorin voisi luokitella monella tapaa polttomoottoria paremmaksi voimanlähteeksi, joista suurimmat tekijät ovat:

- Vääntökäyrä saadaan tasaiseksi kierrosluvusta riippumatta
- Tyhjäkäyntiä ei tarvita, joten näin ollen ei tarvita mekaanista kytkintäkään
- Se on hiljainen sekä ei aiheuta värähtelyä
- Sähkömoottorin hyötysuhde on paljon suurempi kuin polttomoottorilla

Sähkömoottori tuottaa myös erittäin suuren vääntömomentin (kuvio 1) joka mahdollistaa polttomoottorin kierrosluvun pysymisen optimialueellaan, jolloin hyötysuhde paranee ja polttoaineenkulutus laskee. Vääntömomentti parantaa myös huomattavasti ajokokemusta ajettaessa pienillä nopeuksilla vaihtelevalla kuormituksella. (Linja-Aho 2012.)



Kuvio 1. Vääntömomentit poltto- sekä sähkömoottorilla (Explainthatstuff 2016).

2.1 Sähkömoottorin ja polttomoottorin hyötysuhde

Yleensä puhutaan pelkästään sähkömoottorin ja voimansiirron hyötysuhteesta, mutta tämä arvo pitää paikkansa vain silloin, kun puhutaan akulta vetopyörille syntyvästä hyötysuhteesta. Tämä ei kuitenkaan täysin pidä paikkaansa, kun puhutaan niin sanotusta ”pistorasiasta vetopyörästölle” syntyvästä kokonaishyötysuhteesta.

Hyötysuhteeseen vaikuttaa siis sähkömoottorin lisäksi vaihteiston hyötysuhde. Itse sähkömoottorin hyötysuhde on noin 90 – 95 prosentin tuntumassa. Hybridiajoneuvoissa yleisin käytössä oleva vaihteisto on yksipykäläinen (single-speed), joiden hyötysuhde on keskimäärin lähellä 98 %. Uusimmissa lataushybrideissä tosin sähkömoottorin voima johdetaan portaallisen vaihteiston läpi. Sanotaan että moottorin ja voimansiirron hyötysuhde yhteensä olisi noin 90 % (η_1). Tosin vaihteiston hyötysuhde tulee pieneneään hieman kierrosten kasvaessa. Tämä ilmiö johtuu osittain suuresta pyörintänopeuserosta ensiöakselin ja toisioakselin välillä. Vaihteistossa sijaitsevan öljyn hydrodynaaminen vastus kasvaa, mitä suurempi pyörintänopeus rattaiden välillä vaikuttaa. 0 – 4000 kierroksen välillä häviöt saattavat kasvaa noin 4 prosenttiyksikköä. Jos kierroksia nostetaan yli 4000 rpm, häviöt alkavat kasvaa progressiivisesti. (Irimescu, Mihon, Padure 2010.)

Akuilta tuleva tasavirta (DC) täytyy saada muunnettua sähkömoottorille sopivaksi vaihtovirraksi (AC). Tähän tarvitaan invertteriä, joiden keskimääräinen hyötysuhde on 92 – 96 %:n (η_2) välillä. Nykyisin pystytään valmistamaan invertterejä, joiden hyötysuhde on jopa 99 %, mutta ne eivät ole yleistyneet markkinoilla vielä. (Markowitz 2013; Solar is the future 2011.)

Jos tätä vertaillaan polttomoottoriin, voidaan sanoa että tankissa oleva polttoaine on ns. ”vaihtovirtaa” mikä pumpataan suoraan moottoriin, jolloin invertteriä ei tarvita. Tämän lisäksi, akkuja ladattaessa seinästä saatavilla oleva sähkö on jälleen vaihtovirtaa, mikä täytyy saada muutettua tasavirraksi laturia käyttämällä. Keskimääräisesti latureiden hyötysuhde on lähellä 94 % (η_3), mutta nykypäivänä voidaan päästä jopa 97 % hyötysuhteeseen joissakin latauspisteissä. (Morra 2016; matter2energy 2013.)

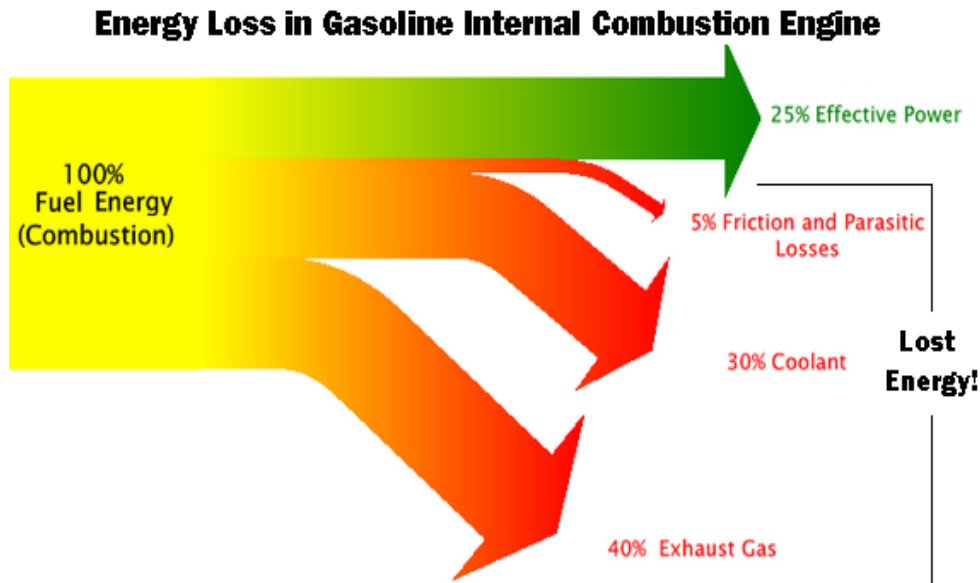
Näiden lisäksi täytyy ottaa myös huomioon latauksessa syntyvät energiahäviöt, sillä akut eivät pysty vastaanottamaan 100 % niille syötetystä virrasta. Hyötysuhde energiahäviöiden jälkeen on 85 – 90 % välillä (η_4). (Matter2energy 2013.)

Tällöin kokonaishyötysuhde saadaan kaavalla:

$$\eta_{kok} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4$$

$$\eta_{kok} = 0.90 \times 0.95 \times 0.94 \times 0.90 \times 100\% = 72.3\%$$

Sähkömoottorille saatua hyötysuhdetta on helppo vertailla polttomoottorin todelliseen hyötysuhteeseen. Kuvaajasta (kuvio 2) näkee että polttoaineen tuomasta energiasta häviää karkeasti noin 75 %, ja vain 25 % saadaan hyödynnettyä ajoneuvon liike-energiaksi. Yksinkertaisesti sanottuna suurin osa energiasta katoaa lämpönä ilmaan, sekä moottorin jäähdyttämiseen, loput voidaan luokitella moottorin ja vetopyörien välillä sijaitsevien mekaanisten osien kitkahäviönä. Tämä tarkoittaa sitä, että sähkövoimalinjan kokonaishyötysuhde on noin kolminkertainen polttomoottoripohjaiseen voimalinjaan verrattuna.



Kuvio 2. Bensiinikäyttöisen polttomoottorin hyötysuhde (Sankey-diagrams 2007).

Nykyisin dieselmoottorin hyötysuhde on noin 5 prosenttiyksikköä parempi kuin bensiinikäyttöisen moottorin. Joissakin olosuhteissa sähkövoimalinjan hyötysuhteen paremmuus voi olla jopa hieman alle kolminkertainen, jos sitä verrataan huipputaloudelliseen dieseliin. Polttomoottorissa yhden suurista hävikeistä tuottaa ylimääräinen tyhjäkäynti liikennevaloissa ja muualla paikoillaan ollen. Silloin 100% polttoaineen tuottamasta energiasta menee hukkaan. Nykyisin ajoneuvoista kuitenkin löytyy start and stop -toiminto, jolloin moottori sammuu paikoillaan olon ajaksi.

2.2 BMW-ConnectedDrive

Kaikki BMW:n hybridimallit sisältävät mahdollisuuden saada ConnectedDrive teknologia. Tämä tarkoittaa SIM-kortin asentamista ajoneuvon kojetauluun, jolloin auto pysyy internet-yhteydessä jatkuvasti. Tämä sovellus mahdollistaa kojetaulun käytän aivan kuin käyttäisi puhelintakin, tosin tekstiviestien kirjoitus tai säätietojen katsominen auton kojetaulusta ei luokitella kovin turvalliseksi.

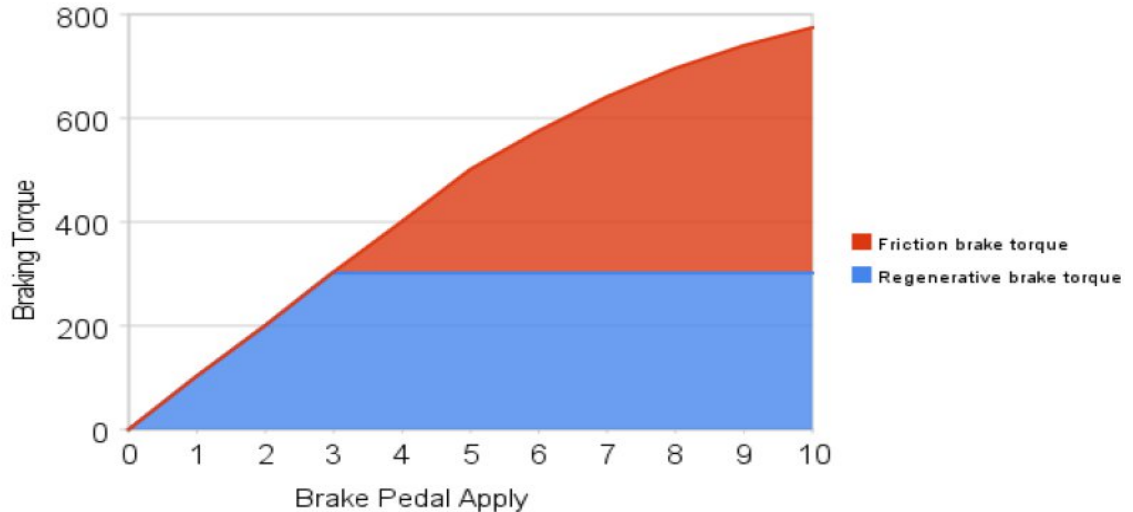
Sovelluksen paras ominaisuus on kuitenkin integroitu navigaattori, mikä on yhteydessä Internetiin jatkuvasti. Se pystyy päivittämään liikenteessä tapahtuvat asiat reaaliajassa, mikä käytännössä tarkoittaa mahdollisten ruuhkien ja onnettomuuden välttämistä. Tämä sovellus tulee esille varsinkin hybridiajoneuvoissa, joissa navigaattori laskee parhaimmat ajoreitit, nopeudet ja ajotyylin sähkömoottorin käyttöä ajatellen. Sovellus osaa

ottaa huomioon myös maaston korkeusvaihtelut, jotta sähkön käyttö pystytään optimoimaan parhaaksi mahdolliseksi. (BMW content 2015.)

2.3 Regeneroivat jarrut

Yksi suuri ongelma ajoneuvoissa on ollut aina jarrutusenergian katoaminen lämpönä ilmaan, mutta sähkömoottoreiden ja generaattoreiden avulla jarrutusenergia pystytään varastoimaan takaisin akkuihin, jolloin niitä täytyy ladata harvemmin. (Linja-Aho 2012.)

Regeneroivat jarrut ovat tulleet käyttöön hybridien ja sähköautojen kannan kasvun myötä. Niiden tarkoitus on ottaa ajoneuvon liike-energiaa talteen silloin kun auto on hidastustilanteessa tai jarrutuksessa. Jarrutustilanteessa toimii pääsääntöisesti vaihteiston yhteydessä oleva generaattori hidastavana tekijänä, jolloin se samalla kerää energiaa akuille. Generaattori pelkästään pystyy jarruttamaan ajoneuvoa melko suurella voimalla, mutta kun poljinta painetaan tarpeeksi, rupeavat kitkajarrut tekemään työtä. Regeneraation avulla sekä ajotyylin mukaan, jarrupalojen sekä levyjen käyttöikä pitenee huomattavasti. (Gable 2016.)



Kuvio 3. Generaattorin ja kitkajarrujen tuottamat jarrumomentit yleisesti

Regeneroivien jarrujen hyöty korostuu BMW:n connectedDrive ohjelmiston avulla. Silloin navigaattori pystyy laskemaan ajomatalla vastaan tulevia korkeuseroja, jolloin se automaattisesti optimoi sähkömoottorin käytön ylä-, tai alamäkeen. (BMW content 2015.) Jos

halutaan päästä pienimpään mahdolliseen kulutukseen, ylämäessä kannattaa polttomoottorin antaa tehdä valtaosa työstä, koska sen hyötysuhde on parhaimmillaan korkeilla kuormitusasteilla. Alamäessä taas kannattaa auton rullata ikään kuin vapaalla (etsiä kaasupolkimella se kohta, missä sähkömoottori ei vedä eikä jarruta), jotta saadaan liike-energia hyödynnetyksi maksimaalisesti. Jos liike-energiaa muutetaan sähköksi ja myöhemmin sähköä taasi liikkeeksi, menetetään energian muunnoksessa syntyvät häviöt molempiin suuntiin energiaa muutettaessa.

Regeneroivat jarrutkaan eivät tosin pysty vastaanottamaan 100 % jarrutuksessa syntyvästä kineettisestä energiasta, vaan niilläkin on omat hyötysuhteensa. Keskimäärin jarrutusenergiasta saadaan noin 25 % talteen. Jos esimerkkinä ajoneuvo kiihdytetään paikoillaan olostu 50 km/h nopeuteen, ja tämän jälkeen jarrutetaan uudestaan pysähdyksiin, jolloin kokonaismatkaksi tulisi noin 200 metriä. Kiihdytyksessä käytetty energia voi olla esimerkiksi 80 Wh, jolloin regeneroitu energia olisi 20 Wh. Tämä tarkoittaa että kokonaisuudessaan regeneraatiota hyödyntäen energiaa kului 60 Wh. Tästä pystytään laskemaan paljonko energiaa säästettäisiin jokaista kilometriä kohden, jos jarrua täytyisi käyttää jokaisella kilometrillä samalla tavalla. (ProEV 2016.)

$$\text{Ilman regenerointia} = \frac{1000m}{200m} \times 80 \text{ Wh} = 400 \frac{\text{Wh}}{\text{km}} \Rightarrow 0.4 \text{ kWh/km}$$

$$\text{Regeneroinnin kanssa} = \frac{1000m}{200m} \times 60 \text{ Wh} = 300 \frac{\text{Wh}}{\text{km}} \Rightarrow 0.3 \text{ kWh/km}$$

Regeneroivat jarrut siis mahdollistavat noin 25 % pidemmän ajomatkan sähköllä, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että neljää hidastusta kohti saadaan yksi vastaava kiihdytys ilmaiseksi. On kuitenkin väärin ajatella että jarrutuksien määrää kannattaisi kasvattaa, jos haluaisi ajaa pidemmän matkan sähköllä ilman polttomoottorin käyttöönottoa. Suurimman hyötysuhteen saavuttaa silloin, kun liike-energia pyritään säilyttämään mahdollisimman pitkään ilman jarrun painamista laisinkaan.

2.4 NEDC-mittaussykli

Saksalainen MTZ-lehti kertoo, että auton yhdistetyksi polttoainekulutukseksi tulisi n. 2.0 L/100km, sekä hiilidioksidipäästöiksi 46 g/km, mittaus tosin perustuu NEDC-mittaussykliin (New European Driving Cycle). Kyseinen testausmenetelmä on lakisääteinen pako-

kaasupäästöjen sekä polttoaineenkulutuksen mittaus- ja vertailumenetelmä. Se tuli käytäntöön vuonna 2000. Mittaukset suoritetaan laboratorio-olosuhteissa tarkoin määritetyissä sykleissä.

Koska ulkoiset olosuhteet kuten ulkolämpötila, kuorma ja lisävarusteet ovat helpoimmat mahdolliset, ei lopullinen testitulos tule ikinä pitämään täysin paikkansa luonnollisissa ajotilanteissa. Testi suoritetaan kahdessa syklissä, jossa ensimmäisessä ajetaan 780 sekuntia kaupunkiajtoa, mukaan lukien kiihdytykset ja jarrutustilanteet, keskinopeudella 18.8 km/h. Toisessa syklissä ajetaan tasan 400 sekuntia moottoritieajtoa, jossa saavutetaan 120 km/h nopeus. Kokonaismatkan pituus testissä on noin 11 kilometriä.

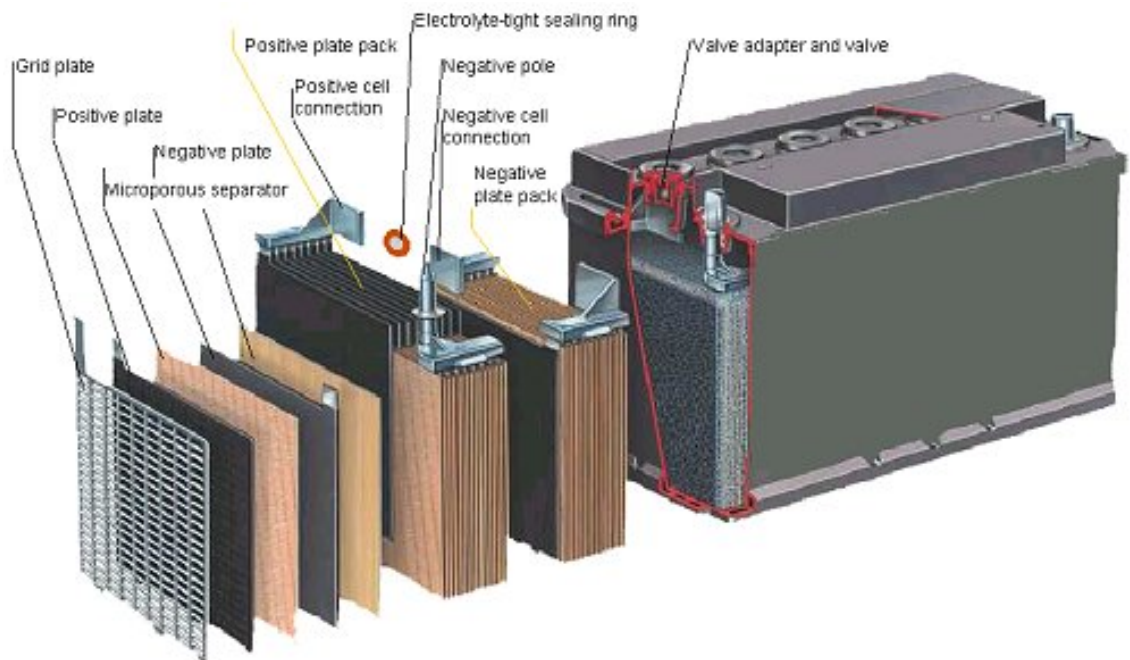
Hybridiajoneuvot käyttävät samaa testausmenetelmää kuin ajoneuvot, joissa on pelkkä polttomoottori käytettävissä. Tämä päätös johtuu siitä, että sähköajoneuvoilla ajetaan kuitenkin täsmälleen samoissa olosuhteissa ja paikoissa, kuin polttomoottorilla varustetuilla ajoneuvoilla. Koska ladattavat hybridi-autot mitataan sekä akku täynnä että akku tyhjänä, mittausten keskiarvoa korjataan laskennallisesti vielä alaspäin sitä enemmän, mitä suurempi akku autossa on. Lopputulokseksi saadaan erittäin vähäiset hiilidioksidipäästöt. Mittauksen tarkoituksena on vertailla uusien sekä vanhojen ajoneuvojen päästöjä sekä polttoaine kulutuksia standardoidulla menetelmällä. (VDA 2014.)

3 AKKUTEKNOLOGIAN KEHITYS

Akkuteknologia on ollut yksi suurimpia tekijöitä nykyteknologian parissa, nykyisin melkein jokainen elektroninen laite sisältää jonkin kokoisen akun. Akkujen tarve ja niiden käyttö ovat yleistyneet viimeisen 20 vuoden aikana huomattavasti, ajoneuvojen määrän kasvusta johtuen. Tekniikka kehittyi nykypäivänä erittäin nopeasti, jolloin uusimmat tuotteet vaativat jatkuvasti enemmän ja enemmän sähköenergiaa akulta.

3.1 Lyijyakku

Lyijyakku on yksi tunnetuimmista akkutyypeistä, ja se on ollut käytössä jo yli sadan vuoden ajan. Vielä nykypäivänäkin lyijyakkujen osuus koko maailman akkumarkkinoilla on noin 40 - 45 prosenttia. Sen valmistus on helppoa ja edullista, mikä tekee siitä melkein aina halvimman vaihtoehdon, silloin kun sen käyttö todetaan mahdolliseksi. Akun käyttöikä on myös suhteellisen pitkä, ja sen suorituskyky säilyy, vaikka se olisi pidempään käyttämättä. (Liimatainen 2013.)

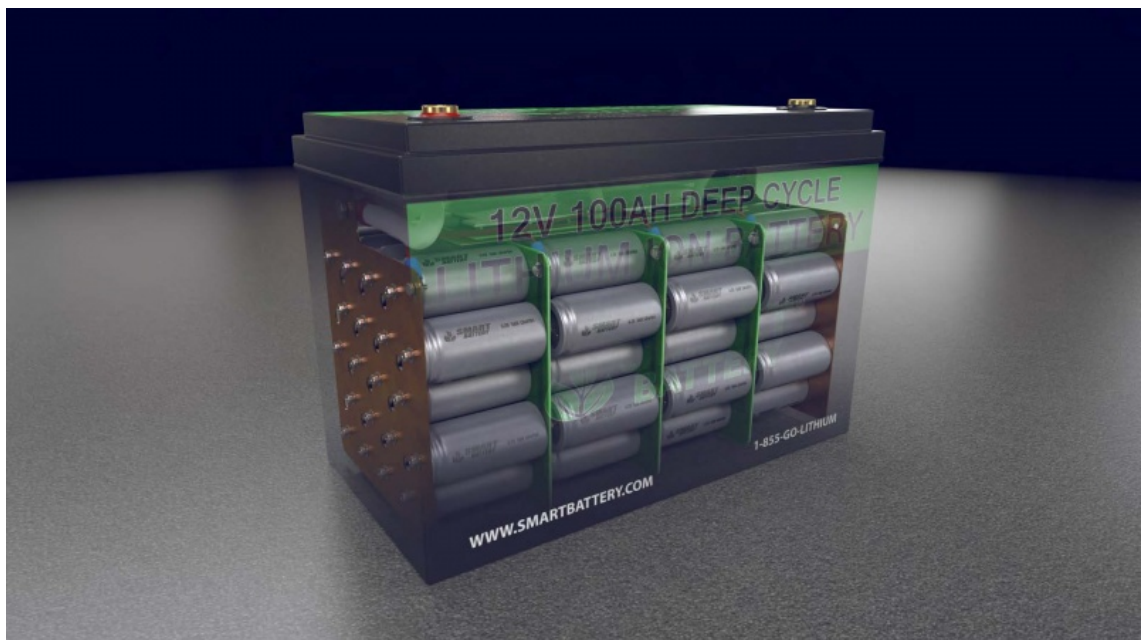


Kuva 1. Lyijyakun komponentit (Darling 2017).

Lyijyakun parhaita puolia ovat sen koon muunneltavuuden mahdollisuudet, erittäin hyvä suorituskyky ja läpimeno-ohyötysuhde. Ajoneuvot tarvitsevat erittäin hyvää suorituskykyä moottoria käynnistäessä, ja varsinkin silloin jos autosta löytyy start and stop -toiminto. Akun ohyötysuhde on myös suuri tekijä sen suosiossa. Siihen varatusta energiasta saadaan ohyödynnettyä yli 70 prosenttia, mikä on merkittävän suuri määrä akkuteollisuudessa. Huonona puolena akussa on sen pieni energiatiheys, mikä tarkoittaa sitä, että sen energiavaraus on pieni akun kokoon ja varsinkin massaan nähden. Tämän takia uusissa hybridiajoneuvoissa ei enää käytetä lyijyakkuja, sillä niiden tuottamalla energialla, autolla ei pääse kovin pitkälle. (Liimatainen 2013.)

3.2 Litium-ion akku

Litium-akut ovat kehitetty jo vuonna 1912, mutta niiden käyttöönotto yleistyi vasta 1970-luvun jälkeen. Tällöinkin kyseessä on ollut akkuja, joita ei pystynyt uudelleen lataamaan. Vasta 1990-luvulla, kun aloitettiin käyttämään litium-metallin tilalla litium-iona, akun rakenne saatiin muutettua sellaiseksi, että uudelleen latauksen epävarmuudet poistuivat. Siitä eteenpäin litium-ion akut ovat olleet suuri tekijä nykytekniikan kehityksessä. (Battery University 2010.)



Kuva 2. Litium-ion akku

Litium-ion akun parhaita puolia ovat sen erittäin suuri energiantiheys, ja sen potentiaalinen kyky jopa säilyttää paljon suurempiakin energiamääriä akkuteknologian kehityksen edetessä. Toinen suuri vaikuttava tekijä on sen erittäin nopea latausmahdollisuus, akkuun pystytään lataamaan jopa 70 prosentin varaus vain kahdessa minuutissa, jos kyseessä on korkeavirtalaturi. Li-ion akun valmistaminen on erittäin halpaa, sekä sen käyttöikä on normaalia pidempi, sillä latauskerrat eivät vaikuta siihen, vaan se on mahdollista ladata niin useasti kuin tarve vaatii. Suuren energiatiheiden, sekä nopean latausmahdollisuuden syystä, li-ion akkuja käytetään hyvin paljon hybridiajoneuvoissa. (Hänninen 2014.)

3.3 Latausjärjestelmät, sekä BMW:n iWallbox.

Hybridiautoja ladattaessa puhutaan normaalisti tason 1 – 3 latausnopeuksista. Mitä korkeampi latauksen taso on kyseessä, sitä suurempi on latausteho.

- Taso 1: latausjännitteenä on tällöin vain 120 V ja sähkövirta on 10 – 16 ampeerin välillä. Tämä on niin sanottu sähköautojen standardi latausjärjestelmä, jolla pystyy lataamaan kaikkia ajoneuvoja turvallisesti. 120 voltin järjestelmä on käytössä vain Yhdysvalloissa, sekä muutamassa muussa maassa, joten näin hidas latausjärjestelmä ei ole Euroopassa käytössä laisinkaan. (Schaal 2016)
- Taso 2: Latausjännitteenä toimii tällöin 220 – 240 voltia, Suomessa on yleisesti aina 230 voltin jännite. Sähkövirta on 6 – 32 ampeerin välillä, jolloin latausteho vaihtelee ajoneuvon asetuksista riippuen, paljonko virtaa se ottaa vastaan. BMW-ajoneuvon omista asetuksista pystyy valitsemaan latausnopeudelle kolme eri vaihtoehtoa. Hidas lataus jolloin virta on 6 ampeeria, keskinopea 9 ampeeria ja nopea 12 ampeeria. Suurimalla virralla lataustehoksi tulee noin 2.7 kW. Tällä teholla 225 xe:n ja 330e:n akku täyttyy vajaassa kolmessa tunnissa. Isommissa automalleissa on suuremmat akut, joten latausaikakin on pitempi. Normaalisti Suomessa asuvalla henkilöllä löytyy 12 – 16 ampeerin sulakkeet kotitaloudesta, joten ajoneuvoa pystytään lataamaan maksiminopeudella. Riippuen minkä suuruisella virralla ajoneuvoa halutaan ladata, saadaan sähkötehoksi 1.3 – 3.7 kW. 32 ampeerin lataus on pääsääntöisesti tarkoitettu täyssähköisille ajoneuvoille,

kuten esimerkiksi BMW i3 mallille, tällöin autoista löytyy huomattavasti suuremmat akustot jotka tarvitsevat suuremman virran sekä tehon, jotta saavutetaan hyvä latausnopeus. (Schaal 2016.)

- Taso 3: Nopein mahdollinen lataus suurimmalle osalle sähköajoneuvoista, mutta myös joillekin hybrideille. Tämän käyttö vaatii ajoneuvolta "CHAdEMO" (charge de move) -yhteensopivuuden. Sen käyttöjännite on 400 – 500 voltia, tuottaa 50 – 62.5 kW sähkötehon ja 125 ampeerin sähkövirran. Useimmat hybridiajoneuvot eivät ole yhteensopivia näin tehokkaalle latausjärjestelmälle, sillä niiden akkujen kapasiteetti on liian pieni näin tehokkaalle lataukselle. Tason kolme latureilla ei pysty lataamaan akkuja täyteen saakka, vaan ne on rajoitettu pysähtymään noin 80 % varaukseen. Akun potentiaali vastaanottaa energiaa pienenee sen mukaan miten täynnä akku jo on. Tästä syystä 80 %:sta ladattaessa 100 %:iin, täytyisi käyttää hitampaa latausjärjestelmää, jotta akku pystyy vastaanottamaan kaiken energian. Sähköautoissa kyseinen latausmahdollisuus on kasvamassa jatkuvasti, mutta järjestelmän hinta on toistaiseksi vielä lähemmäs 10 000 euroa, jos sellaisen kotiin haluaa. (Zach. 2015; Schaal 2016.)

BMW-Wallbox on heidän itse kehittämä tason kaksi latausnopeudella oleva järjestelmä, mikä on tarkoitettu jokaiselle sähkö-/hybridiajoneuvon omistajalle. Latausjännite järjestelmällä on 220 – 240 voltia, sähkövirta 16 – 32 A ja teho 3.7 – 7.4 kW:n välillä, riippuen minkä suuruisen virran sekä tehon ajoneuvo pystyy vastaanottamaan. Tämä takaa vajaan kolmen tunnin latausmahdollisuuden tyhjästä akuista noin 80 % täynnä oleviin. Latausajat hieman vaihtelevat ajoneuvossa olevien akkujen kapasiteetin koosta, sekä Wallbox-mallista riippuen. Vaikka aivan normaaleja 32 A latausjohtoja hybridiautoille pystyy ostamaan markkinoilta, pitäisi Wallboxilla lataus olla edullisempaa, sillä se optimoi latausnopeuden sekä laskee parhaimman sähkönhinnan lataukselle kellonajasta riippuen. Samalla se varmistaa latauksen turvallisuuden paremmin kuin yleiset latausjohdot.

BMW myy myös omaa 32 A latausjohtoa, mikä on tarkoitettu yleisille latauspisteille muissa paikoissa kuin kotona. Uusimissa Wallbox PRO -malleissa on hieman enemmän ominaisuuksia kuin standardimalleissa. Latausjärjestelmä pitää itse lukua talouden sähkökulutuksesta, jolloin se automaattisesti lataa ajoneuvoa parhailla mahdollisilla aseuksilla. Tässä mallissa pystyy myös hyödyntämään nykytekniikan aurinkokennoja, jolloin ne pystytään kytkemään suoraan latausjärjestelmään, mikä hyödyntää niistä saadun energian ajoneuvon lataukseen. (BMW i3 2014.)

4 BMW POWER E DRIVE -KONSEPTIAUTO

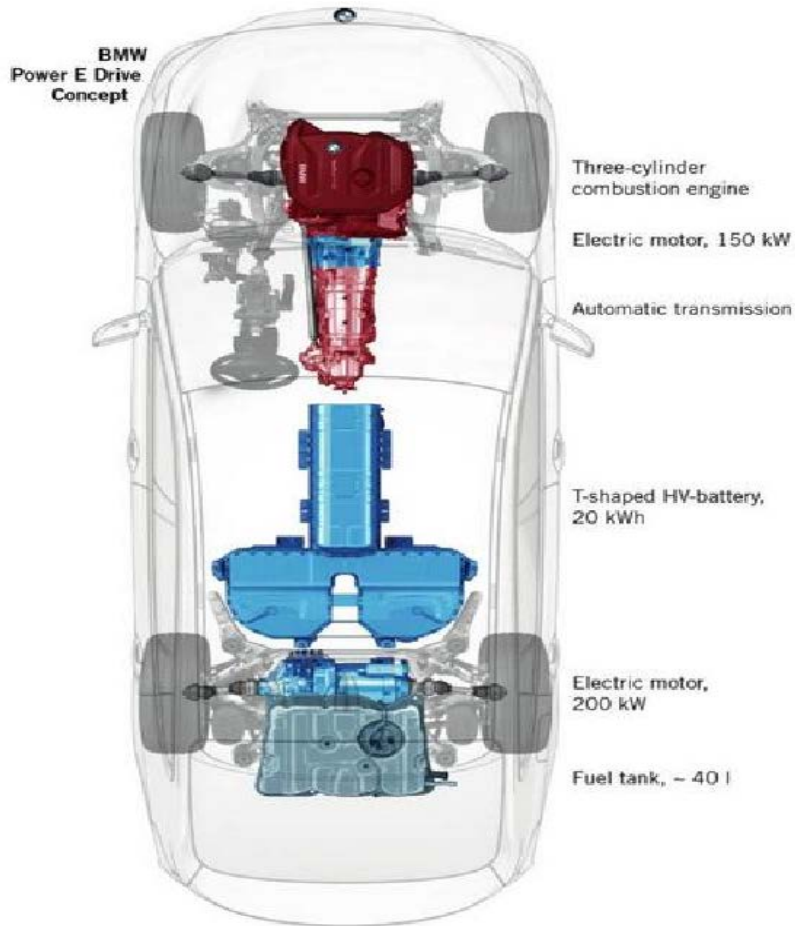
BMW Power e-Drive -konseptin tarkoitus oli kehittää mahdollisimman tehokas ajoneuvo sähkömoottoria sekä polttomoottoria hyödyntäen. BMW:n tavoite oli tuottaa niin suuret tehot sekä vääntömomentti, että he kutsuvat power e-drive konseptiaan Teslan voittajaksi. Tärkein ajatus tämän kaltaisen prototyypin valmistuksessa on kuitenkin toteuttaa ja suunnitella pohja tulevaisuuden plug-in hybridi -luksusajoneuvoille. (Loveday 2014.)

BMW E-Drive -konseptiin kuuluu sähkömoottorin hyödyn maksimointi, sen tuottaman ajokokemuksen saaminen mahdollisimman hyväksi, pitkän ajomatkan toteuttaminen sähkövoimalla, sekä polttomoottorin mahdollisimman vähäinen käyttö. Mahdollisimman hyvän ajokokemuksen saamiseksi BMW on asentanut 200 kW:n sähkömoottorin avustamaan taka-akselille, samaan tyyliin kuin BMW i3:ssa, mutta vielä tehokkaamman. Nelivetoiseen konseptiautoon on asennettu 200 kW:n sähkömoottorin lisäksi 150 kW:n sähkömoottori eteen. Tällöin pelkästään sähköllä tuotettu teho autossa on 350 kW (470hv), sekä vääntömomentti yli 700 Nm.

Tämän lisäksi ajoneuvoon on kytketty sama polttomoottori kuin BMW i8 -mallissa. Auton edestä löytyy turboahdettu 3-sylinterinen moottori, joka tuottaa 170 kW:n lisätehon. Sähkömoottorin ja polttomoottorin yhdistäminen tuottaa erittäin suuren tehon ja väännön, sekä ajo-ominaisuuden että kokemuksen. Yhdistettynä moottorit tuottavat noin 507 kW (680 hv) sekä noin 1016 Nm väännön. Auton arvioitu maksimikiikkyvyys nollassa sataan kestäisi noin 4.5 sekuntia, mikä on noin yhden sekunnin enemmän kuin Teslan Model S:n kiihtyvyys. Hitaampi kiihtyvyys johtuu pitkälti ajoneuvon suuresta massasta, mikä on reilusti yli 2000 kg (Burn 2014). Vaikka akusto olisi melkein täysin purkautunut, riittää polttomoottorin tuottama teho mukavaan ajokokemukseen. (MTZ-Magazine 2015 & Florea 2014.)

Tarvittava sähkövoima tuotetaan ajoneuvon keskelle asennetusta akustosta, joka sisältää 20 kWh sähköenergiaa. Kun akuista alkaa sähkövirran tuotto vähenemään, käyttää auto pääsääntöisesti pelkästään polttomoottoria liikkuakseen. Etupään sähkömoottori on kytketty polttomoottoriin siten, että auton liikkeessä generaattori kerää automaattisesti virtaa akkuihin. Varsinkin suuremmissa nopeuksissa ajoneuvo säätää polttomoottorin kuormaa automaattisesti suuremmaksi, jotta generaattori kykenee tuottamaan riittävästi virtaa akuille. Sähkömoottorit ovat yleensä käytössä vain liikkeelle lähdössä, sekä hitaissa vauhdeissa kaupungeissa, tämä johtuu siitä, että sen tuottama vääntömomentti

alkaa hieman pienemään nopeuden, sekä kierrosluvun kasvaessa. Näin ollen moottoritienopeuksissa, polttomoottori on suuremmissa roolissa kuin sähkömoottorit. (MTZ-magazine 2015.)

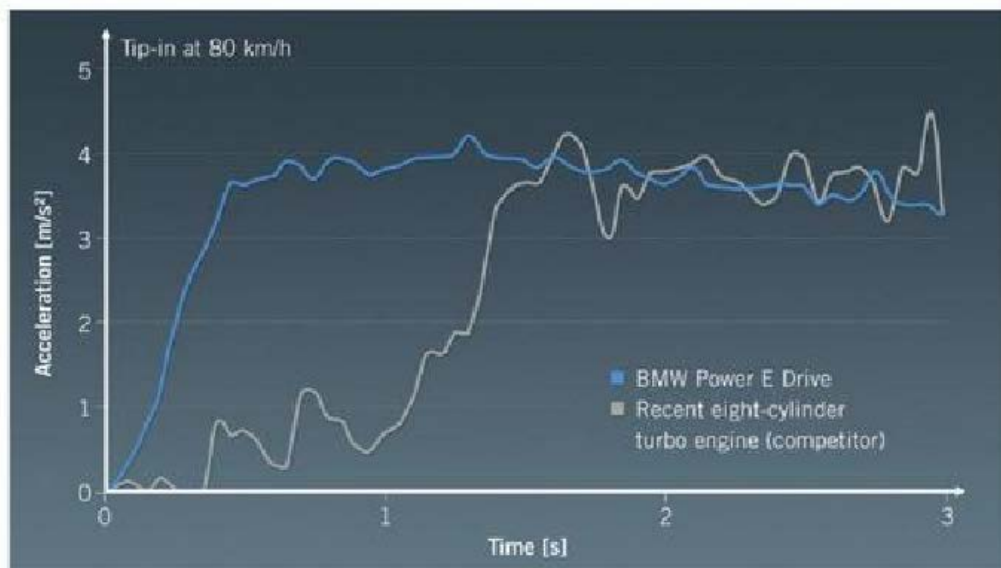


Kuva 3. BMW Power e-Drive -konseptiauton komponenttien paikat ja moottoreiden tehot (MTZ-Magazine 2015).

BMW Power e-Drive -konseptilla on neljä tärkeää kohdetta joihin valmistaja tähtää.

- Ensimmäinen on ajoneuvosta löytyvien eri komponenttien integrointi, yhteensopivuus ja toimivuus todellisissa ajotilanteissa, eikä vain simulaattoreissa. Tähän kategoriaan kuuluu varsinkin polttomoottorin, sähkömoottorin ja vaihteiston yhteensopivuuden ja toiminnan parhaan mahdollisen suorituskyvyn löytäminen.
- Rungon valmistaminen ja toteuttaminen siten, että sitä pystytään hyödyntämään useammassakin BMW-mallissa, joihin sopivat samat sähköiset kuin mekaanisetkin komponentit.

- Mahdollisimman alhaisten äänien ja värinöiden saavuttaminen, varsinkin polttomoottorin ollessa käynnissä.
- Parhaan mahdollisen ajokokemuksen luonti, jossa on keskitytty mahdollisimman hyvään ajoneuvon kiihtyvyyden sekä ajomukavuuteen. (MTZ-Magazine 2015.)



Kuvio 4. Power e-Drive kiihtyvyyden vertailu kilpailijan 8-sylinteriseen turbomoottoriin. (MTZ-magazine 2015.)

Molemmat ajoneuvot pystyvät saavuttamaan suunnilleen saman kiihtyvyyden, mutta huomattavan eron tekee polttomoottorin hidas kaasuun vastaaminen, kun taas sähkömoottori reagoi noin sekunnin nopeammin polkimen painamiseen. Kuvaaja on tarkoitettu vain selventämään sähkömoottorin reagoinnin etua polttomoottoriin, sillä $4.0 m/s^2$ kiihtyvyys 0-100 km/h tarkoittaisi noin 6.9 sekuntia, mikä ei ole ajoneuvojen suurin saavutettava kiihtyvyys ennusteiden mukaan. Moottoreiden reaktioajat pitävät paikkansa pienemmissäkin kiihtyvyydessä. (MTZ-magazine 2015.)

Power e-Drive konseptin toteutus

BMW valitsi konseptiautoksi 5-sarjan GT-mallin sillä sen runko, muotoilu ja paino olivat lähimpänä tavoiteltavia kohteita. Vaikka rungon malli olikin lähimpänä tavoiteltavaa toteutusta, jouduttiin sitä muuttamaan, jotta saataisiin kaikki tarvittavat komponentit mahtumaan oikeille paikoilleen. Koska voimansiirto sekä sähköiset osat oli jo suunniteltu tulevaisuuden generaatioita varten, ennen konseptiajoneuvoon sovittamista jouduttiin takapään alustan geometriaa hieman muuttamaan. Korkeajänniteakut täytyi saada sovitettua takapään kardaaniin molemmin puolin. Tästä syystä jouduttiin kardaanitunnelia

hieman laajentamaan sekä korin keskiosaa hieman muuttamaan. Korin muutoksen syystä jouduttiin muokkaamaan myös auton sisällä olevat istuimet, paneelit, matot sekä keskikonsoli kokonaan uusiksi, edellytyksenä että ajoneuvon akustiset äänet pysyisivät yhtä alhaisina kuin aiemminkin. (MTZ-magazine 2015.)

Lisää haasteita loi sähkömoottorin, momentinmuuntimen, polttomoottorin sekä vaihteiston toteuttaminen sekä niiden jäähdyttäminen. Korkeajänniteakusto sekä sähkömoottori tarvitsevat jatkuvaa viilennystä, tästä syystä tarvittiin suuri jäähdytysjärjestelmä ja sen putkisto. Hyvään lopputulokseen päästiin asentamalla ulkoistettu ylimääräinen jäähdytin, sekä putkilinjasto akustolle ja sähkömoottorille. (MTZ-magazine 2015.)

Ajoneuvon 20 kWh:n akulta luvataan jopa noin 100km matka pelkällä sähkön voimalla, mutta todellisuudessaan matka on 40-60 kilometrin välillä. Polttoaineenkulutus polttomoottoria käyttäen pitäisi pysyä alle 6 l/100km, mutta myös tämä luku on hieman suurempi todellisuudessa. Power e-driven akun koko on kuitenkin suurempi kuin muissa BMW:n hybridimalleissa, mikä korostaa huomattavasti sähkötekniikan kannattavuutta. Keskimääräisen ihmisen päivittäinen ajomatka on noin 60km, mikä tarkoittaa sitä, että koko matkan pystyy ajamaan sähkön avulla, jolloin polttoaineen keskikulutus vuodessa laskee huomattavasti. (MTZ-magazine 2015.)

Ajoneuvon kokonaisuudessa nousi suuremmaksi kuin tavoiteltu massa. Tämä johtui yksinkertaisesti siitä, että kyseessä oli ensimmäisen generatiion prototyyppi näin tehokkaasta hybridistä. Vaikka tähän Power e-Drive -konseptiin oli suunniteltu valmiiksi jo sähkömoottorit, akustot ja voimansiirto, käytettiin suunnitteluun ja rungon muokkaamiseen noin yhdeksän kuukautta. BMW kuitenkin saavutti haluamansa ajodynamiikan ja voimansiirron vaatimukset ensimmäisessä konseptiautossaan. Ajoneuvon ollessa jonkin aikaa käytössä analysoitiin testitulokset, joista saatiin vielä paljon edistävää tietoa tulevaisuuden konseptia ajatellen. Ensimmäisestä konseptiautosta todettiin, että ajo-ominaisuudet, ajomukavuus ja polttoaineen kulutus kolmisylinterisen polttomoottorin ja sähkömoottorien avulla pysyvät toivotuissa lukemissa. (MTZ-magazine 2015.)

5 BMW:N KAUPALLISET HYBRIDIMALLIT

BMW, niin kuin kaikki muutkin automerkit alkoi valmistamaa hybridiajoneuvoja osittain samoista syistä, eli maailmanlaajuisesti vaadittavien hiilidioksidin, sekä muiden pako-kaasupäästöjen pienentämiseksi. Nämä lakisäädökset pystytään toteuttamaan nykyisin parhaiten sähköisellä voimantuotolla, tai vähintään sen avustuksella.

5.1 BMW 225xe

Malli 225xe on BMW:n kolmas plug-in-hybridiajoneuvo. Plug-in-hybridi on siis ajoneuvo, joka mahdollistaa akkujen latauksen ulkopuolisesta virtalähteestä, esim. 230V pistorasiasta kotona tai parkkipaikoilla, joista latausmahdollisuus löytyy. Ensimmäisessä e-Drive konseptista ei löytynyt ulkopuolista latausmahdollisuutta ollenkaan. (MTZ-magazine 2016.)

Tästä mallista erikoisemman tekee se, että etupään voiman tuottaa 1.5-litrainen kolmesylinterinen 2-kanavaisella turboahtimella varustettu polttomoottori, kun taas takapään voiman tuottaa pelkästään 65kW:n sähkömoottori. Nämä kaksi voimanlähdettä eivät ole kytkettynä toisiinsa ollenkaan, vaan molemmat toimivat omana voimanlähteenä mikä tekee autosta nelivetoisen. Pelkästään takapään sähkömoottori pystyy saavuttamaan ajoneuvolle jopa 125 km/h nopeuden, mikä tarkoittaa sitä, että moottoritienopeuksillakaan ei välttämättä tarvitse polttomoottoria käyttää jos akuissa riittää virtaa. Tosin pelkällä sähkövoimalla ei pystytä suorittamaan kuin lyhyemmät matkat, sillä akuston sähköenergia riittää maksimissaan vain 41 kilometrin matkaan. Todellisuudessa matkaa pystytään suorittamaan vain 20 - 30 kilometriä, riippuen siitä, haluavatko matkustajat käyttää ajoneuvon sisätilalämmitystä vai ei. (MTZ-magazine 2016.)

Suomalainen ajoneuvoja testaava sivusto ilmoittaa testituloksissaan, että NEDC-mittauksessa saatuihin arvoihin ei ole mahdollista päästä todellisissa ajotilanteissa. moottoritienopeuksilla ajoneuvosta ei vähäkulutteisiksi juurikaan ole, vaan pitkälle ajomat- kalle diesel on edelleen edullisempi vaihtoehto. (Ahtiainen 2016.)

”Tila-auton aerodynamiikka verottaa: talvisessa moottoritievauhdissa kulutus nousee helposti 7,5 litraan sadalla. Se tietää pienehköä toimintamatkaa, sillä polttoainesäiliö on vain 36 litrainen. Reissaajalle diesel on parempi valinta.” (Ahtiainen 2016.)

Ajoneuvon 1.5-litrainen moottori tuottaa 100 kW:n tehon, yhdistettynä sähkömoottoriin tehoa on 165 kW:a ja vääntöä 220 Nm:ä. Ajoneuvon kiihtyvyys 0-100km/h kestää 6.7 sekuntia, mikä on hyvä saavutus hybridiajoneuvolta, varsinkin ottaen huomioon ajoneuvon kokonaismassan mikä on jopa 1735 kg. Kokonaismassan vaikutuksen huomaa tosin vasta silloin, kun sähkömoottorit eivät ole enää avustamassa ja ajetaan lujemmissa vauhteissa, tällöin 100 kW:n polttomoottori ei ole enää auton massaan nähden kovin tehokas. Mutta testauksessa kuitenkin todetaan, että suuri massa ei ajomukavuuten juurikaan vaikuta, ja että auton ajo-ominaisuuksissa ei ole moitittavaa. (Ahtiainen 2016.)

Jotta hybridiajoneuvossa saavutetaan huomaamaton polttomoottorin käynnistys kesken ajon, tarvitaan siihen erittäin tehokas korkeajännitteinen starttimoottori. Mallissa 225xe ajoneuvoon on kytketty korkeajännitteinen starttigeneraattori, joka on integroitu apulais-tehinnan pyöritettäväksi. Starttigeneraattori toimii kuin normaalikin korkeajännitteinen starttimoottori, mutta polttomoottorin pyöriessä se generoi automaattisesti virtaa akuille. Generaattori toimii aina, vaikka ajoneuvo olisi paikoillaankin, kunhan vain moottori on käynnissä. Jos akkujen virta on pudonnut huomattavasti, pystytään generaattoria käyttämään esimerkiksi ilmastoinnin pyörittämiseen tai hetkellisesti tarvittaviin korkeampiin virrankäyttötilanteisiin. (MTZ-magazine 2016.)

Akusto ja vaihteisto

Yleisesti sähkömoottoreiden yhteydessä käytetyin vaihteisto on yksinkertainen single speed -vaihteisto yhdellä kytkimellä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että sähkömoottorin ja pyörien välillä sijaitsee vain yksi ratastus sekä välityssuhde. Normaalin polttomoottorin vaihteiston välityssuhteisiin verrattuna, sähkömoottorin yhteydessä olevan vaihteiston välityssuhde on yleensä huomattavasti suurempi. Tämä johtuu sähkömoottorin tuottamasta erittäin suuresta vääntömomentista koko kierrostaajuudella, mikä voi olla jopa 0 – 10000 rpm. Normaalisti kierrosluvun ei tarvitse ylittää ikinä 6000rpm, jolloin ollaan saavutettu riittävä nopeus ajoneuville.

Mallissa 225xe suurin teho saavutetaan, kun sähkömoottori kiertää 4000 rpm, sekä paras vääntö 0 – 3000 kierroksen välillä. Suurin eroavaisuus polttomoottoriin on siinä, että sähkömoottorin suurin vääntö saavutetaan pienillä kierroksilla, kun taas polttomoottorin paras vääntö saavutetaan yleensä vasta suuremmilla kierroksilla. Laaja vääntömomentti mahdollistaa ajoneuvon maksiminopeudeksi pelkän sähköavulla jopa 125 km/h. Yksipykäläinen vaihteisto on erittäin kevyt ja pienikokoinen, 225xe mallissa se painaa vain 21

kiloa ja on integroitu suoraan kiinni sähkömoottorin ja pyörien välille. (MTZ-magazine 2016.)

Korkeajänniteakut on asennettu taka-akselille polttoainesäiliön viereen. Tästä syystä ajoneuvon polttoainetankki ollaan jouduttu pienentämään 36 litraan, jotta saadaan riittävän suuret akut paikoilleen ilman, että tavaratilaa olisi jouduttu pienentämään liikaa. Akusto koostuu viidestä moduulista, missä jokaisen sisällä on 16 litium-ion-kennoa, joiden jännite on 3.66 voltia ja sähkövaraus 26 Ah. Kokonaisjännite on siis 293 voltia, mutta raja-arvojen ja turvallisuuden takia akusto on mukautettu viiteen moduliin joissa jokaisessa on 58.6 voltin jännite. Kokonaisuudessaan akkujen energiasisältö on 7.7 kWh. Modulointi helpottaa myös huoltoa sekä akkujen vaihtoa. Jos yksi moduuli rikkoutuu, ei tarvitse vaihtaa kokonaan kallista akustoa uuteen, vaan hajonneen tilalle voi vaihtaa yhden uuden moduulin. (MTZ-magazine 2016.)

BMW malli 225xe:n mahdollisesti suurin hyöty tulee ilmi polttomoottorin ja sähkömoottorin ollessa täysin erillään toisistaan. Koska moottoreiden välillä ei ole minkäänlaista mekaanista yhteyttä, parantaa tämä huomattavasti sähkömoottorin hyötysuhteeseen. Tässä tilanteessa pystytään hyödyntämään sähkömoottorin todellinen potentiaali paremmin. Jos sähkömoottori olisi normaaliin tapaan kytkettynä moottorin ja vaihteiston väliin avaustamaan voimansiirrossa, tulisi mekaanista tehohäviötä sekä lataushäviötä ajotilanteessa enemmän. Nyt ainoa polttoaineen kulutusta kasvattava tekijä polttomoottorin yhteydessä on starttigeneraattori, joka lataa akkuja aina moottorin ollessa käynnissä. (MTZ-magazine 2016.)

5.2 BMW X5 xDrive40e

Vuonna 2014 BMW esitteli uuden plug-in-hybridiajoneuvon i8, sekä täysin sähköisen i3-mallinsa. Kun BMW oli päässyt onnistuneesti sähköautojen pariin näiden kahden mallin suosiosta, alkoi yhtiö suunnittelemaan BMW X5 -mallistoa. Yhdessä nämä kaksi mallia tuottivat erittäin paljon lisää hyödyllistä informaatiota sähköajoneuvoista ja niiden toiminnan käytännöllisyydestä. Kun nämä tiedot saatiin yhdistettyä, päästiin suunnittelemaan ja mitoittamaan täysin uutta X5-mallia. Toteutus hyvän ajokokemuksen luontiin vaatii tarkat mitoittukset poltto-, sähkömoottorin sekä muiden komponenttien osalta. (MTZ-magazine 2015.)

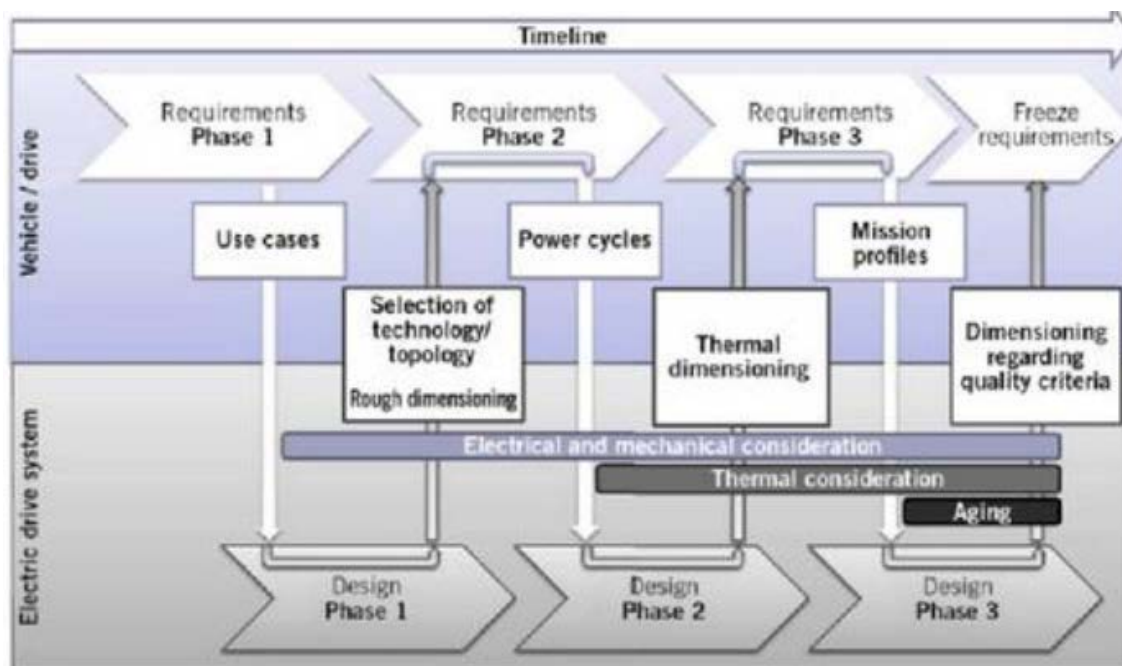
Suurimmat haasteet oikean kokoisten sähkölaitteiden mitoituksessa ovat niiden kallis hinta, asennukseen tarvittava tila auton rungossa, sekä vaikeudet koko järjestelmän toteutuksessa. Esimerkkinä järjestelmän toteutuksen haasteista oli, välttämätön tarve löytää riittävä energiasisällön määrä akuissa, suhteutettuna tarvittavaan tehon määrään, varsinkin kun käytössä oleva asennustila täytyy ottaa huomioon. Tämä kaikki vaikuttaa erityisesti sähköllä ajettavaan ajomatkan pituuteen. (MTZ-magazine 2015.)

BMW käyttää alla olevaa taulukkoa (kuvio 5) sähkömoottorin määrittämiseen. Yksinkertaisemmin sanottuna vaiheessa yksi (phase 1), otetaan karkeasti huomioon mitä ajoneuvon omistajat haluavat saavuttaa eDrive-järjestelmältä. Toiveita ovat esimerkiksi hyvät ajo-ominaisuudet, ripeän kiihtyvyyden mahdollisuus tai ajomatkan pituus sähkön voimalla. Näitä tietoja hyödyntäen pystytään määrittämään, minkä kokoinen sähköjärjestelmä ajoneuvoon tarvitaan. Mutta pääsääntöisesti vaiheessa yksi mitoitetaan riittävän tehon ja ajo-ominaisuuksien säilyttäminen. (MTZ-magazine 2015.)

Vaiheessa kaksi (phase 2), on tavoitteena käydä enemmän läpi, millaisessa ajossa sekä olosuhteissa asiakkaat ajoneuvon eDrive:ä käyttävät. Näiden tietojen perusteella pystytään toteuttamaan riittävä jäähdytysjärjestelmä sähkömoottorille ja akustolle. Tavoitteena oli varsinkin saada toimiva ja hyvä ajettavuus eDrive-järjestelmällä kylmemmissä olosuhteissa. (MTZ-magazine 2015.)

Vaiheessa kolme (phase 3), arvioidaan järjestelmän kokonaiskäyttäytymistä sen elinkaaren aikana. Kun otetaan huomioon mekaanisesti kuluvat osat, saadaan laskettua arvio miten kauan osien tulisi kestää elinkaarensa aikana. Tätä tietoa pystytään hyödyntämään eDrive-tuotannon optimoimiseen, jossa BMW tähtää kehittyvään ja mahdollisimman hyvään komponenttien hyötykäyttöön.

Koko tämän prosessin aikana simulaatiotestit ovat erittäin tärkeässä roolissa, jotta saadaan jatkuvasti arvioitua sähköjärjestelmien toimivuutta ja toimintaa. (MTZ- magazine 2015.)



Kuvio 5. BMW:n käyttämä taulukko sähkömoottorin mitoitukseen (MTZ-magazine)

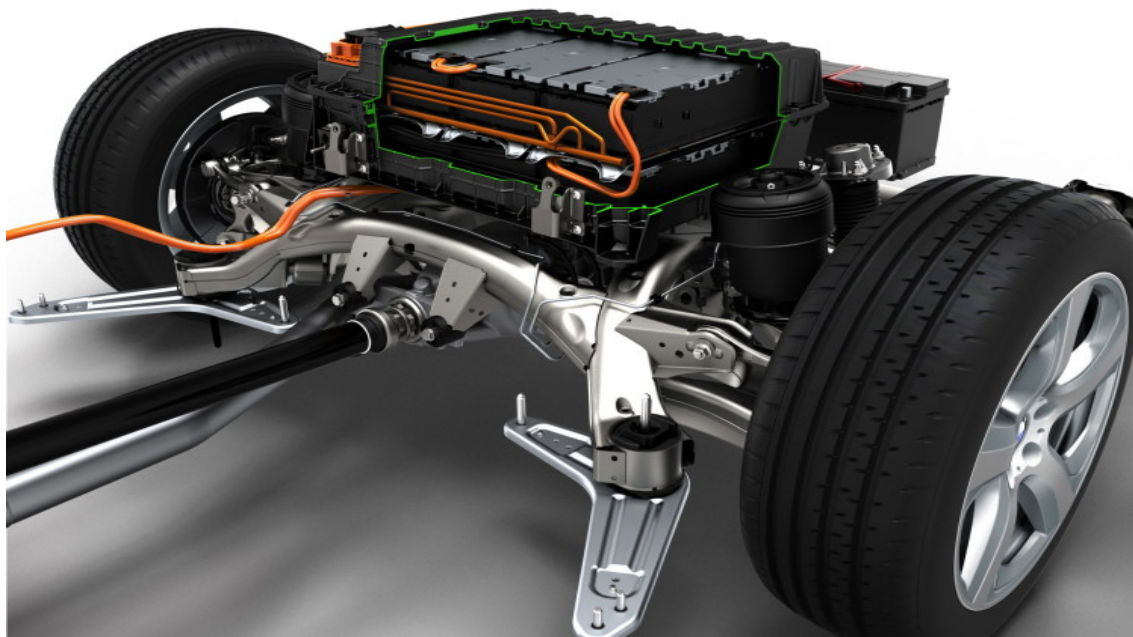
Sähkömoottori, polttomoottori ja akusto

BMW X5 xDrive40e on toteutukseltaan perinteisempi kuin 225xe. Fossiilisenä voimanlähteenä edessä toimii 4-sylinterinen 2-kanavaisella turbolla ahdettu 2.0-litrainen polttomoottori, joka tuottaa 180 kW:n tehon ja 350 Nm:n väännön. Sähkömoottori on kytketty vaihteiston ja moottorin väliin, sillä kyseessä on kardaanikäyttöinen neliveto. Sähkömoottori itsestään pystyy tuottamaan noin 83 kW:n tehon ja 250 Nm:n väännön, jolloin auto pystyy kulkemaan 120km/h pelkän sähkövoimalla. Yhdistettynä moottorit kuitenkin tuottavat noin 230 kW:n tehon (313 hv), sekä 450 Nm:n väännön. Vaikka ajoneuvon kuivapaino on 2305 kiloa, riittää moottoreiden tehot kiihdyttämään ajoneuvon 0 – 100km/h vain 6.8 sekunnissa. X5-mallissa on 8-vaihteinen Steptronic-automaattivaihteisto, johon on integroitu sähkömoottori kiinni. Koska sähkömoottori käyttää samaa vaihteistoa kuin polttomoottori, mahdollistaa se momentinmuuntimen poiston voimansiirrosta, jolloin saadaan painoa pudotettu kokonaismassasta. (BMW X5 content 2015.)

Ajoneuvon polttoainekulutus, sähkönkulutus ja päästöjen määrät ovat ilmoitettu jälleen NEDC-testin perusteella. Yhdistetyksi polttoainekulutukseksi on saatu noin 3.4 l/100km. Saman matkan taittaminen pelkällä sähköllä pitäisi onnistua 15.4 kWh:lla. Tosin auton akusto pystyy pitämään sisällään energiaa vain 9.0 kWh. Hiilidioksidipäästöiksi ollaan saatu 78 g/km, mikä vaikuttaa Suomessa auto- ja ajoneuvoveroon todella paljon, sillä se

luokitellaan vähäpäästöiseksi ajoneuvoksi. Todellisuudessa polttoainekulutus pelkällä polttomoottorilla ajaessa on lähemmäs 10 - 11 l/100 km. Tämä määrä tosin pienenee aina sen mukaan, kuinka paljon ajomatkaa pystytään suorittamaan pelkän sähkön avulla. (BMW X5 content 2015.) (kuva 4)

BMW BLOG



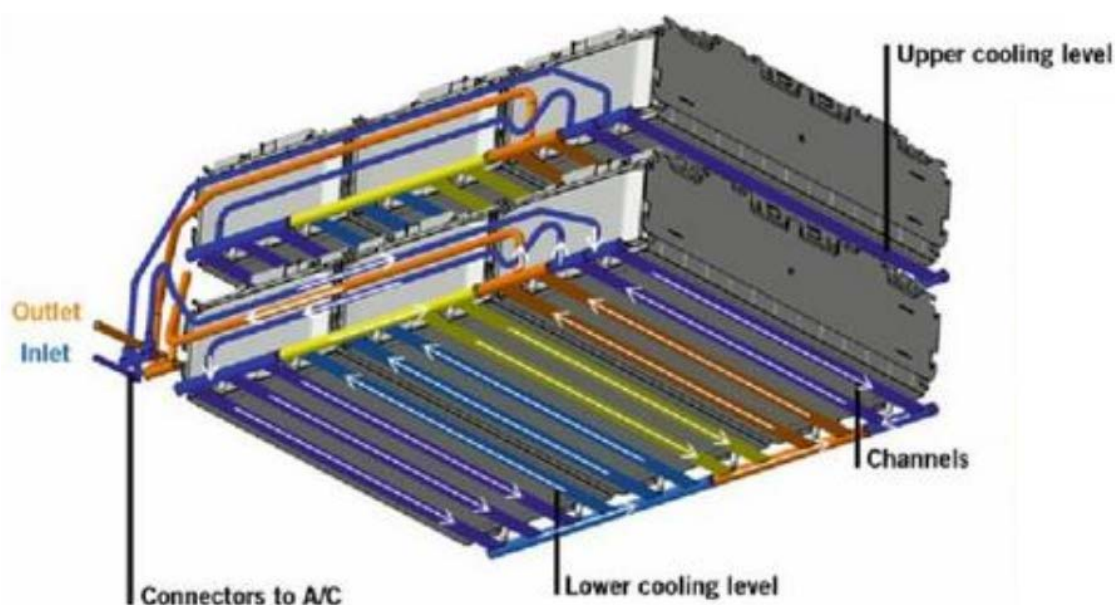
Kuva 4. BMW X5 xDrive40e akuston sijainti taka-akselilla (MTZ-magazine 2015).

Akkujen kokonaismassa on 105 kg, joka on jaettu kuuteen moduuliin joista jokainen sisältää 16 kennoa. Moduulit ovat kahdessa kerroksessa, joissa jokainen kenno on sarjaankytketty toisiinsa. Releboksi erottelee korkeajänniteakuston muusta sähköjärjestelmästä, ja tätä pystytään ohjaamaan muuntamalla haluttu ajotila. X5-mallista löytyvät samat ajotoiminnot kuin 225xe:stä tai 330e-mallista, Automaattinen eDrive, Max eDrive sekä akkujen säästötila. Akustolta löytyy oma ohjainyksikkö joka valvoo järjestelmää. Se kulkee kaikkien moduulien sekä releboksin kautta. Koko järjestelmä on kytketty omaan CAN-väylään. Ohjainlaitteen päätehtäviin kuuluu akuston jatkuva tarkkailu ja sen turvallisuuden varmistaminen. Jos se havaitsee pienenkin poikkeaman raja-arvoissa, kytkeytyy korkeajänniteakusto välittömästi pois yhteydestä muhin sähkölaitteisiin. (MTZ-magazine 2015.)

Auton mukana tuleva latausjohto mahdollistaa 3.7 kW:n lataustehon (16A / 230V). Tällä laturilla standardijännite Euroopassa on 230 voltia, mutta Yhdysvalloissa vain 120 volt-

tia, jolloin latausnopeus putoaa myös. Euroopassa akkujen lataus tyhjästä täyteen onnistuu vajaassa kolmessa tunnissa, kun taas Yhdysvalloissa siihen kuluu lähemmäs neljä tuntia. Maissa, joissa käytetään standardina 120 voltin järjestelmää, BMW:n iWallbox mahdollistaa yhtä nopean latauksen kuin 230 voltin sähköjärjestelmän omaavissa maissa. (BMW X5 content 2015)

Akkujen jäähdyttäminen on suuri tekijä niiden elinkaaren pidentämisen sekä energian säilyttämisen kannalta. Jotta niille saadaan mahdollisimman pitkä elinkaari sekä maksimi hyötysuhde käyttöön, niiden lämpötila ei saa nousta yli + 45 celsiusasteen. Akusto on kuitenkin suunniteltu myös toimimaan jopa – 40 asteen pakkasissa. (kuva 5)



Kuva 5. BMW X5 eDrive40e akuston jäähdytysputket (MTZ-magazine 2015).

Jäähdytysputket ovat asennettu suoraan auton ilmastoinnin järjestelmään. Aktiivinen jäähdytys vaatii toimiakseen maksimissaan 2 kW:n tehon. Jäähdytysputket on asennettu suoraan kennoihin kiinni, jotta jäähdyttäminen pysyy tarpeeksi tehokkaana. Siniseltä putkelta tuleva höyrystetty kylmä ilma ohjataan molempiin kerroksiin, jonka jälkeen se ohjautuu oikeaan reunaan kuvasta katsottuna. Tässä reunassa kylmä ilma kiertää tosin vain yhden lenkin, jonka jälkeen se kulkee toiseen päähän moduuleita. Ilma kulkee putkiston läpi jolloin kuuma ilma pääsee palaamaan takaisin ilmastoinnin järjestelmään. (MTZ-magazine 2015.)

5.3 BMW 330e

BMW 330e -mallissa on 2.0-litrainen 4-sylinterinen kaksikanavaisella turbolla ahdettu (B48B20M0) polttomoottori, joka tuottaa 135 kW:n tehon ja 290 Nm:n väännön. Sähkömoottori (cutting-edge electric motor) tuottaa 65 kW:n tehon sekä 250 Nm:n väännön. Yhdistetyksi polttoainekulutukseksi NEDC-testillä on saatu 1.9 – 2.1 l/100km sekä hiilidioksidipäästöiksi 44 - 49 g/km. Yhdistettynä polttomoottori, sekä sähkömoottori tuottavat 185 kW:n tehon ja 420 Nm:n väännön, jolloin ajoneuvolla pystyy suorittamaan kiihdytyksen 0-100 km/h vain 6.1 sekunnissa. Kyseessä on takavetoinen auto, jossa sähkömoottori on kytketty voimansiirron yhteyteen. Vaihteistona toimii 8-vaihteinen automaattivaihteisto (Steptronic), jossa on vaihtoehtona ajaa täysin automaattina, tai mahdollisuus asettaa vaihteisto manuaali/sport asentoon, jossa pystyy itse päättämään millä vaihteella ajaa. Sähkömoottori käyttää samaa vaihteistoa kuin polttomoottori, mikä mahdollistaa momentinmuuntimen poiston voimansiirrosta, yhtäläillä kuin BMW X5 -mallissa. (BMW 330e content 2015.)

Mallissa 330e sähkömoottorin tarkoitus on avustaa polttomoottoria jatkuvasti vähintään 100 Nm väännöllä tai enemmän. Jos kaasupolkimen painaa kokonaan pohjaan saakka, hyödyntää ajoneuvo täydet 250 Nm väännön sähkömoottorilta. Tällä yhdistelmällä ollaan saavutettu mahdollisimman suuri vääntö ajoneuvolle, jotta saadaan tehokas tuntuma pienellä kulutuksella. Tämän lisäksi autosta löytyy BMW:n tarjoamat samat ajotila mahdollisuudet kuin muistakin malleista. Automaattinen eDrive, täysi eDrive sekä akkuja säästävä ajotila. (BMW 330e content 2015.)

Litium-ion akut sekä niiden jäähdytysjärjestelmä ovat sijoitettu tavaratilan alle. Suurin energiasisältö mitä akut pystyvät varastoimaan on 7.6 kWh. Laboratorio testien perusteella, pelkällä sähköllä pitäisi pystyä ajamaan noin 40 kilometriä, mutta todellisuudessa ajomatka on noin 20 – 25 km. Tyhjien akkujen lataus täyteen BMW:n iWallboxilla onnistuu 2 tunnissa ja 12 minuutissa kun lataustehona on 3.7 kW. Jos latauksessa käytetään tason yksi latausta, kestää noin kolme tuntia saada täydet akut. (BMW 330e content 2015.)

BMW 330e:n moottori on rakennettu BMW N20B20 -polttomoottorin perusteella, joka on voittanut vuonna 2012 ja 2013 vuoden parhaimman 2.0-litraisen moottorin palkinnon (UKmediaevents 2017). Moottori on vain kehitetty soveltuvaksi hybridiajoneuvoille (BMW 330e content 2015.)

Kun ajoneuvon NEDC-tuloksia aletaan vertailemaan arkipäiväisessä ajossa syntyviin tuloksiin, pitäisi ajoneuvon kuluttaa yhdistetyllä sähkömoottorin ja polttomoottorin käytöllä noin 3.3 l/100 km. Pelkällä polttomoottorilla ajettaessa kulutus on suunnilleen 7.4 l/100 km. Testissä ajettiin kokonaisuudessaan 563 kilometriä, joista ensimmäiset 25 kilometriä ajettiin pelkällä sähköllä. Ajomatka 45 % suoritettiin kaupunkiajossa ja 55% moottoritieajossa. Arvot ovat peräisin Yhdysvaltojen virallisilta polttoainepäästöjen vertailu sivustolta. (Fueleconomy 2016.)

Fuel economy testituloksien mukaan auton sähkönkulutuksessa päästiin tulokseen 47 kWh/100 mi. Tämän kun muuntaa kWh/100 km, pystytään laskemaan arvio paljonko sähkön käyttö maksoi ajon aikana.

$$100 \text{ mailia} = 161 \text{ km}$$

$$\frac{47 \text{ kWh}}{161 \text{ km}} \times 100 = 29.2 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}$$

$$\frac{29.2 \text{ kWh}}{100 \text{ km}} \times 25 = 7.3 \text{ kWh}/25 \text{ km}$$

Kun sähköverkosta otetaan latausjakson aikana 7.3 kWh, akkuun päätyy noin 5.7 kW, koska lataushäviöt ovat noin 25 – 30 % (sähköpostitiedonanto, Markku Ikonen 23.5.2017). Tämä tarkoittaa, että akku on ollut latauksen alussa täysin tyhjä, koska BMW ilmoittaa akun käytössä olevaksi energiamääräksi 5.7 kWh, vaikka akun nimellinen koko on 7.6 kWh. Tämä tarkoittaa, että sähköverkosta mitatulla kulutuksella 29.2 kWh/100 km ajoakku riittää juuri 25 km:n matkaan.

Suomessa keskimääräinen sähkön hinta on lähellä 5.0 snt/kWh, johon voidaan lisätä sähkönsiirtomaksu 4.5 snt/kWh, sekä veroituksen lisäämät kulut, jotka ovat noin 4.5 snt/kWh. Tällöin 25 kilometrin ajomatkan hinnaksi saadaan:

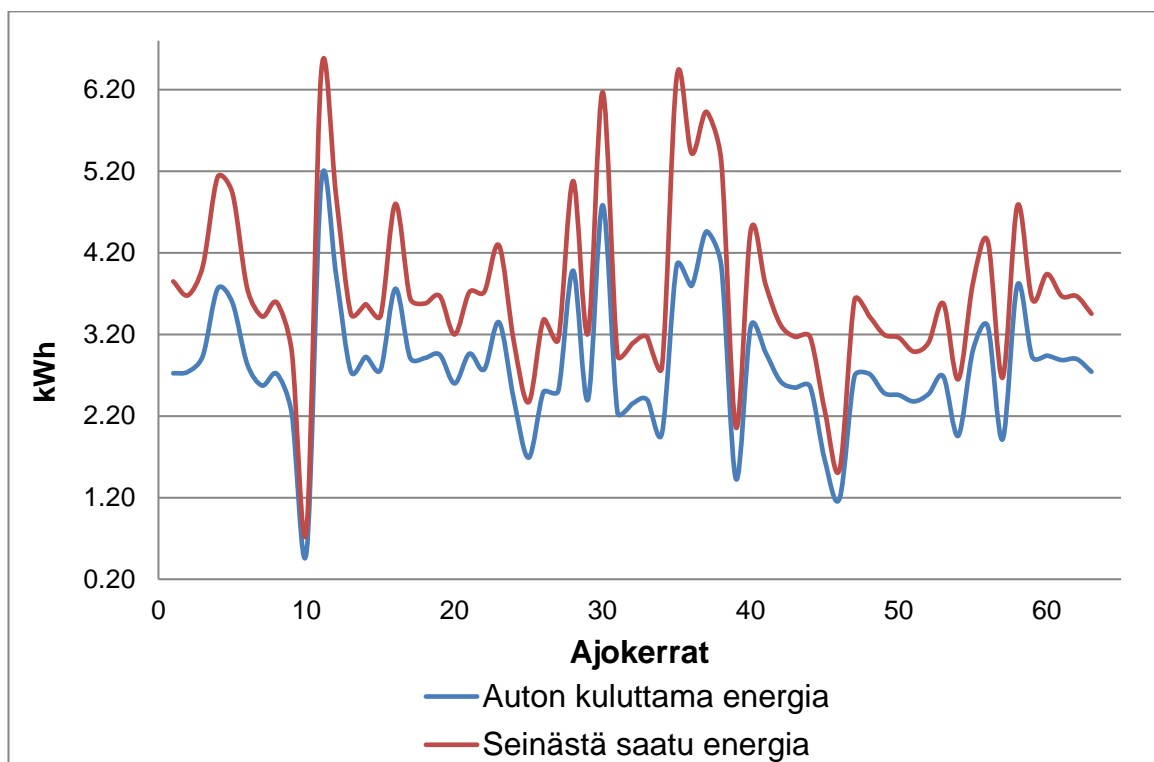
$$14.0 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \times 7.3 \text{ kWh} = 102.2 \text{ snt} = 1.02 \text{ e}/25 \text{ km}$$

Tämä tarkoittaa sitä, että 100 kilometrin matkan pystyisi taittamaan summalla 4.09e. Keskimääräinen 98E polttoaineen hinta Turussa toukokuussa 2017 on 1.538 e/l, jolloin kilowattitunnin hinnaksi bensiiniä tulee noin 0.175 €, (benssiinin energiasisällöllä 8.8 kWh/l) (Polttoaine.net 2017). Kuten aiemmin todettiin, bensiinivoimalinjan hyötysuhde on

vain kolmannes sähkövoimalinjan vastaavasta, joten bensiinillä ajettaessa energiaa tarvittaisiin 3-kertainen määrä akusta ulos saatavaan nettosähköön ($29.2 / 1.3 \text{ kWh}/100 \text{ km} = 22.46 \text{ kWh}/100 \text{ km}$) verrattuna eli noin $67.4 \text{ kWh}/100 \text{ km}$. Kun tämä kerrotaan luvulla 0.175 €/kWh , päästään summaan noin 11.80 €/100 km , joka olisi polttoainekustannus bensiinillä ajettaessa. Kilometrikustannus siis olisi bensiinillä lähes 3-kertainen sähköajoon verrattuna. Bensiinikustannus 11.80 €/100 km vastaisi bensiininkulutusta noin $7.7 \text{ l}/100 \text{ km}$, mikä vaikuttaa realistiselta.

BMW 330e testituloksien tulkinta

Kaikissa hybridiajoneuvoissa on ajotietokone, joka laskee energiankulutusta ajon aikana. Markku Ikonen on kerännyt omalla ajoneuvolla ajettaessa energian kulutuksia sekä latauksen yhteydessä auton vastaanottamaa energiamäärää. On selvää, että joi-tain häviöitä tulee aina, kun puhutaan akkujen latauksesta ja sähkön käytöstä, riippumatta mikä ajoneuvo on kyseessä. Tämä johtuu yksinkertaisesti hyötysuhteista ja akkujen kyvystä ottaa energiaa vastaan, mikä ei ikinä pysty saavuttamaan täyttä 100%. Tämä data on peräisin Markku Ikonen omasta vuoden 2016 BMW 330e mallista. Energiahäviöt pätevät jokaisessa ladattavassa ajoneuvossa, mutta tarkoitus on selventää miten paljon sitä suunnilleen katoaa. (kuvio 6)



Kuvio 6. Auton kuluttamat kWh:t ja ladatut kWh:t

Kuviosta näemme karkeasti, että auton kuluttama ja ladattu energiamäärä eroavat toisistaan suunnilleen 1.2 kWh:n verran. Autolla suoritettiin 63 ajokertaa pelkällä sähköllä, joiden kerkimääräinen ajomatka oli 14.67 km. Vaikka akkuvarauksen keskimääräinen prosentti onkin noin puolen välin paikkeilla, ajettiin ne välillä melkein täysin tyhjäksi, mutta jotkin matkat olivat myös erittäin lyhyitä.

Taulukko 1. Keskimääräiset arvot 330e mittaustuloksista

	Keskimäärä
Matka (km)	14.67
Akun varausta jäljellä (%)	50.47
Auton mittaama sähkönkulutus kWh/100km	20.00
Ladattu sähkönkulutus kWh/100km	26.22
Ladattu kWh per lataus	3.71
Käytetty kWh per lataus	2.83
ladattu/käytetty	1.31

Käyttämällä taulukon arvoja, pystytään laskemaan latauksen hyötysuhde ja siinä tapahtuvat häviöt.

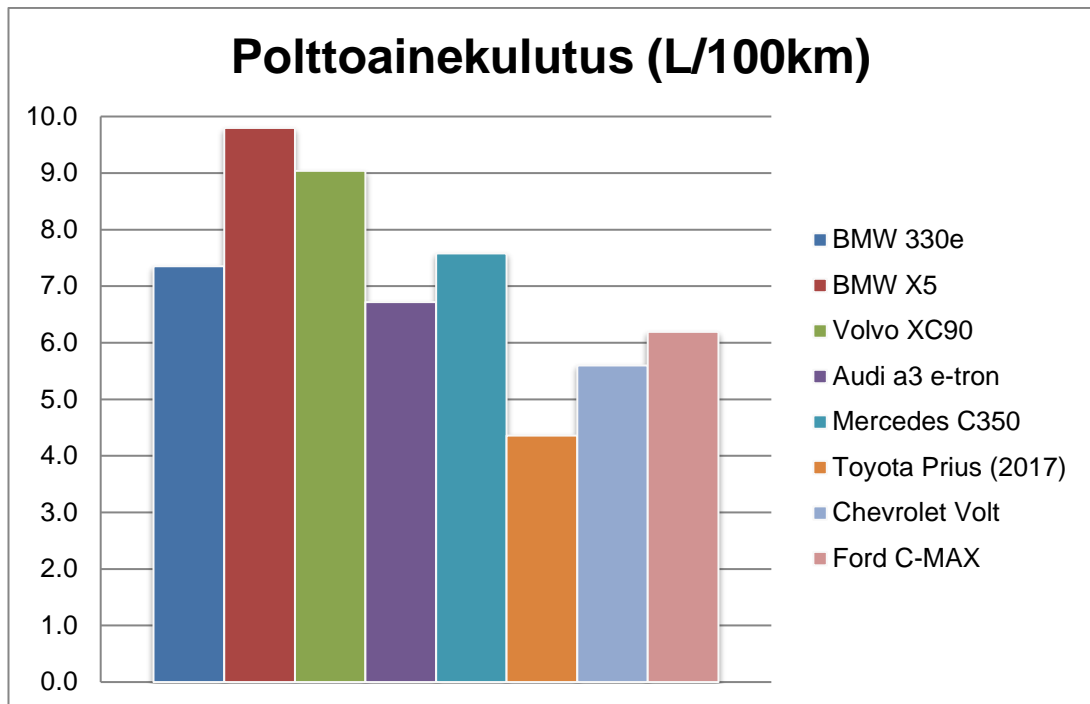
$$\eta = \frac{20.00 \text{ kWh}/100\text{km}}{26.22 \text{ kWh}/100\text{km}} \times 100\% = 76.3\%$$

Tämä tarkoittaa sitä, että 23.7% ladatusta sähköenergiasta katoaa ilmaan ja 76.3 % saadaan akkujen käyttöön. Kun kyseessä on käytettävissä olevalta energianvarastointikyvyltään 5.7 kWh:n akku, jota tyhjästä täyteen ladattaessa tarvitaan 7.5 kWh sähköä, jokaisessa latauskerrasta tyhjästä akusta täydeksi, energiaa häviää pääasiassa lämmöksi noin 1.8 kWh edestä.

5.4 Hybridiajoneuvojen päästö, sekä polttoainekulutuksien vertailua

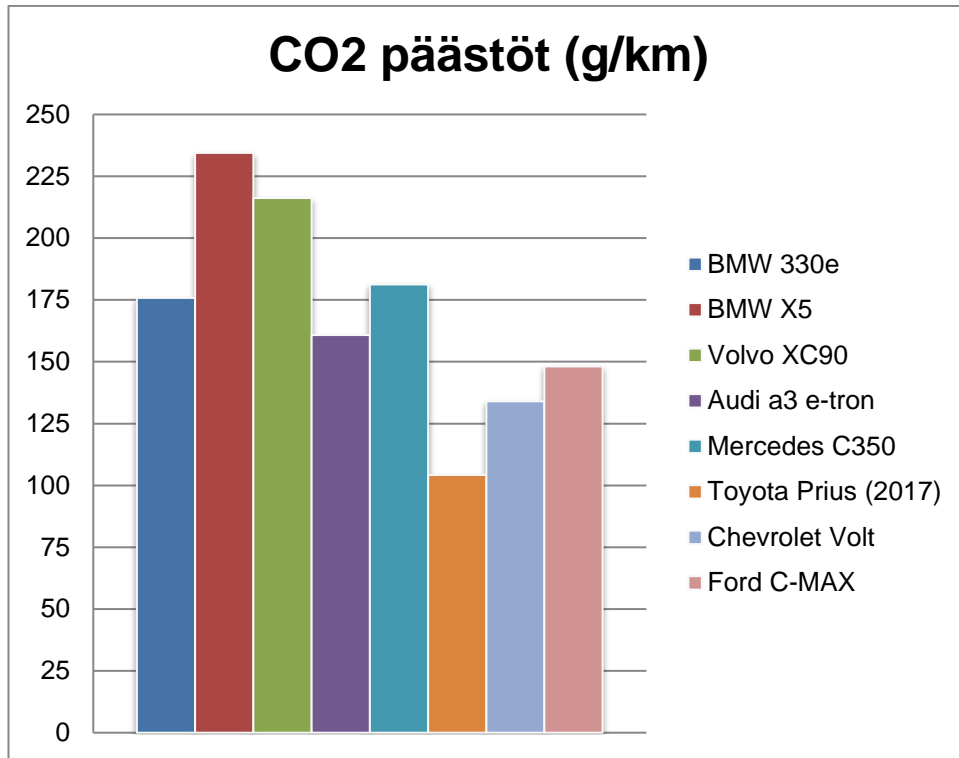
Tarkoitus on vertailla myydyimpien hybridiajoneuvojen päästöjä sekä kulutuksia toisiinsa. Vertailussa käytetään Yhdysvaltojen energiaministeriön virallisilta sivuilta saatuja tuloksia polttoainekulutuksista, mutta hiilidioksidipäästöt perustuvat täysin laskennalliseen tulokseen (Fueleconomy.gov 2016). Jotta saadaan mahdollisimman tarkka vertailu automerkkien ja mallien välillä, tarkkaillaan vain vuonna 2016 valmistuneita malleja. Poikkeuksena Toyotan valmistama Prius Prime mikä on vuoden 2017 malli, sillä niitä ei

olla aikaisemmin valmistettu. Vertailussa käydään läpi vain Plug-in-tyyppiset hybridiajoneuvot, tästä syystä muutama suurempi automerkki ei ole mukana. Näitä ovat esimerkiksi Volkswagen, Honda, Nissan sekä myös BMW:n 225xe-malli. Vaikka kyseisiltä merkeiltä löytyy myös Plug-in-hybridiajoneuvoja, Yhdysvalloissa ei ole tehty samankaltaista testiä kyseisille merkeille tai malleille, joten ne ovat jätetty pois vertailusta. (kuvio 7)



Kuvio 7. Polttoainekulutusten vertailu

Testissä on tarkoitus vertailla vain kulutusta, kun pelkkä polttomoottori on käytössä ja akustot täysin tyhjä. Taulukosta voidaan todeta että isoimmat ja painavimmat autot kuten BMW X5 ja Volvo XC90, kuluttavat pidemmän matkan ajossa huomattavasti enemmän kuin pienimmät hybridimallit. Pelkästään painoeroa Priuksen ja X5:n välillä on noin 800 kg. Kulutuksien määrästä voi myös osittain päätellä, millaisen hybridin valmistaja on halunnut kehittää. BMW, Mercedes, Volvo sekä Audi ottavat enemmän huomioon ajoneuvon moottoreiden tuottaman tehon, väännön ja kiihtyvyyden, kun taas pienemmät automallit ovat tarkoitettu pääsääntöisesti täysin vähäkulutteisiksi autoksi. (kuvio 7)



Kuvio 8. CO₂ päästömaerien vertailu

Hiilidioksidipäästöt kulkevat täsmälleen käsi kädessä polttoainekulutuksen kanssa, silloin kun mittauksissa ajetaan pelkkää polttomoottoria hyödyntäen. Tämä tarkoittaa sitä, että hiilidioksidipäästöjen määrän pystyy laskemaan. Kun yksi litra polttoainetta painaa 750 grammaa, josta hiilipitoisuus on 87 %, eli noin 652 grammaa. Jotta tämä hiilimäärä saadaan palamaan hiilidioksidiksi, tarvitaan 1740 grammaa happea reaktioon. Joten yhdistettynä hiilen ja hapen määrät saadaan 2392 grammaa hiilidioksidia yhdessä litrassa polttoainetta. (Ecoscore 2017.)

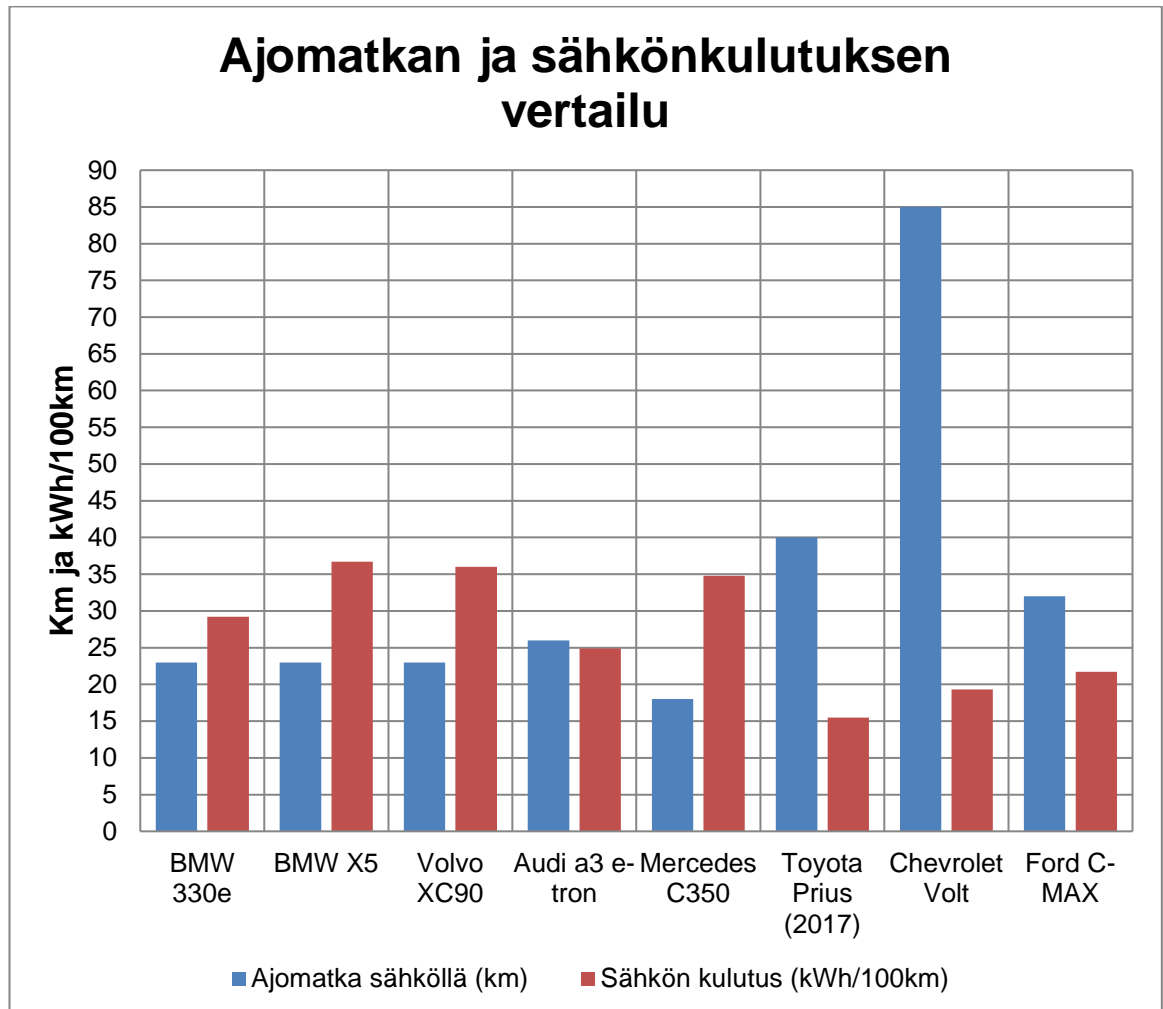
Esimerkki hiilidioksidipäästöjen laskemisesta:

BMW 330e:n polttoainekulutus on 7.35 l/100 km.

$$\frac{7.35 \text{ l}/100\text{km}}{100} \times 2392 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 175.81 \text{ g}/\text{km}$$

Kuvio 8:n tarkoituksena on vain selventää, miten paljon hiilidioksidia syntyy, jos ajoneuvossa ei ole sähkömoottori laisinkaan käytössä. Todellisuudessa Plug-in hybrideillä ajetaan lyhyitä matkoja huomattavasti enemmän kuin pidempää matkaa, mikä kompensoi polttoainekulutusta sekä hiilidioksidipäästöjä hyvin paljon. Plug-in-tyyppiset hybridit toimivat kuin normaalit hybridiajoneuvot, kun akustot ovat tyhjä, eli ne lataavat akkuja ajon

aikana ja hyödyntävät sähkömoottoria kun energiaa on saatu tarpeeksi talteen. Nämä lasketut hiilidioksidipäästöt pätevät vain, jos ajoneuvo ei käytä sähkömoottoria laisinkaan. (kuvio 9)



Kuvio 9. Ajomatkan ja sähkönkulutuksen vertailu

Jokainen sähkölaite hybridiajoneuvossa kuluttaa oman osuutensa energiaa, jotta ajoneuvo saadaan liikkeelle. Tästä taulukosta on helppo vertailla sähkönkulutusta ajettuun matkaan. Ajomatkan pituuteen suurin vaikuttava tekijä on akkujen energiasisällön määrä, mikä on Chevrolet voltissa huomattavasti suurempi kuin yhdessäkään muussa hybridiajoneuvossa. Toiseksi suurimmat tekijät ovat ajoneuvon oma massa sekä sähkömoottorin tuottama teho. Mitä painavampi ajoneuvo on, sitä tehokkaampi sähkömoottori tarvitaan, jolloin myös sähkönkulutus hieman kasvaa. Taulukosta näemme myös, että BMW:n 330e, X5 ja Volvon XC90:illä sähköllä ajettu matka on täsmälleen sama, mutta

akkujen koko vain muuttuu. BMW todennäköisesti on mitoittanut akut juuri sen kookseksi, että ajomatka jokaisella mallilla on yhtä paljon, riippumatta mallin koosta tai painosta.

Taulukko 2. Vertailussa käytetyt arvot

	BMW 330e	BMW X5	Volvo XC90	Audi a3 e-tron
Ajomatka sähköllä (km)	23	23	23	26
Polt. Kulutus akut tyhjä (l/100km)	7.35	9.80	9.04	6.72
Sähkön kulutus (kWh/100km)	29.2	36.7	36.0	24.9
Laskettu CO2 (g/km)	176	234	216	161

	Mercedes C350	Toyota Prius (2017)	Chevrolet Volt	Ford C-MAX
Ajomatka sähköllä (km)	18	40	85	32
Polt. Kulutus akut tyhjä (l/100km)	7.58	4.36	5.60	6.19
Sähkön kulutus (kWh/100km)	34.8	15.5	19.3	21.7
Laskettu CO2 (g/km)	181	104	134	148

5.5 BMW:n ajotilavaihtoehdot jokaisessa hybridimallissa

BMW:n ajotietokone tarjoaa ajajalle kolme vaihtoehtoa, miten auto hyödyntää poltto- sekä sähkömoottorin toiminnan.

- Automaattinen eDrive on aina helppo ja fiksu asetus kuskille, joka ei välttämättä ole täysin tietoinen, millä säädöillä autoa kannattaa ajaa. Auto eDrive vaihtelee käyttöä poltto- sekä sähkömoottorin välillä, aina parhaiten saavutettavan taloudellisuuden mukaan. Sähkömoottori on käytössä 80km/h saakka, jolloin taas nopeammassa vauhteissa molemmat moottorit tekevät yhteistyötä. Tämän lisäksi jos ajoneuvon ConnectedDrive on kytkettynä päälle navigaattorissa, se analysoi ajoneuvo automaattisesti ajoreitin ja matkan, jolloin se laskee optimaalisimmat käyttökohdat sähkömoottorille sekä polttomoottorille.
- Max eDrive mahdollistaa pelkän sähkömoottorin käytön 120 – 125 km/h nopeuteen saakka. Polttomoottori käynnistyy vain, jos halutaan nopea kiihdytys ja vaihteen ”kick-down” otetaan käyttöön, tai jos akkujen varaustaso laskee minimirajan

alapuolelle. Tämä asetus toimii parhaiten kaupunkiolosuhteissa ja lyhyissä ajo-
matkoissa.

- Akkujen säästötila (save battery), kolmas vaihtoehto käyttää pääsääntöisesti pelkkää polttomoottoria sekä lataa ajoakkua, jossa tarkoituksena on pitää akkujen varaus täynnä, jolloin sähkömoottoria voidaan hyödyntää myöhemmin sitä tarvittaessa. Saattaa soveltua parhaiten moottoritieajoon, jonka jälkeen sähkömoottoria voitaisiin käyttää kaupunkiin päästytyä. (BMW 225xe content 2015.)

6 LOPPUTULOS JA POHDINTA

Opinnäytetyöhön oli erittäin vaikeata löytää BMW:n hybriditekniikkaan liittyvää materiaalia. Työstä tuli enemmän yleiseen hybriditekniikkaan liittyvä, mutta se painottuu BMW:n kehityksen ympärille. Uskon, että työ pystyy avustamaan opetushenkilökuntaa sekä opiskelijoita ymmärtämään hybriditekniikkaa paremmin. Tehtäessä vertailuja hybridiajoneuvoista syntyi havainto, että niiden kehitys on erittäin suuresti kasvavaa lähivuosina.

BMW:n hybridiajoneuvoja tutkiessa todettiin, että niiden ei ole tarkoitus olla markkinoiden vähäpäästöisimpiä ajoneuvoja, vaan BMW tähtää enemmän ajomukavuuteen sekä luotettavuuteen. Merkkinä BMW on tunnettu enemmänkin business ja luksus-autoistaan. Hybriditekniikkaan mukaan tullessaan, BMW on halunnut säilyttää autoissaan täsmälleen samanlaiset, ellei jopa paremmat ominaisuudet, ja on siinä myös onnistunut.

Työn ohella tutustuminen paremmin hybriditekniikkaan on johtanut siihen tulokseen, että sähköajoneuvot sopivat erittäin hyvin kaupunkiajoon. Varsinkin jos päivittäinen ajomatka on alle 30 kilometriä, jolloin polttomoottoria ei tarvitse hyödyntää ollenkaan. Jos työmatkat ovat pitkiä, saattavat dieselajoneuvot olla edullisempi vaihtoehto polttoainekustannuksia ajatellen. NEDC-testituloksien takia Suomessa hybridin ostaja pystyy tosin säästämään autoveroituksessa useamman tuhatta euroa, vähäpäästöisyyden takia. Joten jos ajettavat matkat ovat suurimmaksi osaksi kaupungissa, tulee hybridin omistaja säästämään reilusti rahaa tulevaisuutta ajatellen.

Hybriditekniikan kehityksen kannalta ajoneuvovalmistajien kannattaisi pyrkiä kasvattamaan sähköllä ajettavan matkan pituutta huomattavasti. Vaikka hybridi- ja sähköautojen kanta ovat nousussa jatkuvasti, todennäköisesti ostajia saataisiin huomattavasti lisää, jos sähköllä ajettavan matkan pituus kasvaisi.

LÄHTEET

Avenue, D & Keynes, M. 2007. Vaihteiston hyötysuhde. Viitattu 16.02.2017.
<http://www.zeroshift.com/pdf/Seamless%20AMT%20Offers%20Efficient%20Alternative%20To%20CVT.pdf>

Ahtiainen, L. 2016. BMW 225xe koeajo. Viitattu 19.02.2017.
<http://www.moottori.fi/ajoneuvot/jutut/ongelmallinen-mutta-silti-malliston-paras-bmw-225xe-active-tourer/>

Battery University. 2010. Viitattu 15.02.2017.
http://batteryuniversity.com/learn/archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery

BMW i3. 2014. Types of charging. Viitattu 05.03.2017.
<https://bmwi3owner.com/2014/02/charger/>

BMW official website. 2015. BMW eDrive konsepti. Viitattu 17.2.2017.
<http://www.bmw.fi/fi/aiheet/koe-bmw/efficient-dynamics/edrive.html>

BMW X5 xDrive40e content. 2015 BMW media information. Viitattu 25.02.2017.
<https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0207284EN/the-bmw-x5-xdrive40e>

BMW 225xe content. 2015. BMW media information. Viitattu 20.02.2017.
<https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0236102EN/the-new-bmw-225xe>

BMW 330e content. 2015. BMW media information. Viitattu 27.02.2017.
<https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0236122EN/the-new-bmw-330e?language=en>

Burn, J. 2014. BMW power e-drive konsepti. Viitattu 4.6.2017
<http://www.autoexpress.co.uk/bmw/5-series/89690/bmw-5-series-gt-power-edrive-ride-review>

Darling, D. 2017. Lyijyakun komponentit (The Worlds of David Darling). Viitattu 06.02.2017.
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/L/AE_lead-acid_battery.html

EcoScore. 2017. Hiilidioksidipäästöjen laskeminen. Viitattu 20.04.2017
<http://www.ecoscore.be/en/info/ecoscore/co2>

Florea, C. 2014. BMW Power e-Drive konsepti. Viitattu 10.02.2017.
<http://www.topspeed.com/cars/bmw/2015-bmw-5-series-gt-power-edrive-ar166438.html>

Fueleconomy. 2016. Kulutuksen ja päästöjen vertailu. Viitattu 20.03.2017
<http://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=37289>

Gable, C & S. 2016. Regeneroivat jarrut. Viitattu 07.03.2017.
<http://alternativefuels.about.com/od/glossary/g/regenbraking.htm>

Hänninen V. 2014. Akkutekniikka. Viitattu 15.3.2017

<https://www.nanobitteja.fi/katsausartikkelit/32>

UKmediaevents 2017. International engine of the year award. Viitattu 02.04.2017.

<http://www.ukmediaevents.com/engineoftheyear/results.php?id=ieoty>

Irimescu, A , Mihon, L and Padure, G. 2010. Vaihteiston hyötysuhde. International Journal of Automotive Technology, Vol. 12, No. 4, pp. 555–559. Viitattu 22.03.2017

Liimatainen, L. 2013. Käytetyimpien akkujen kehitys. Viitattu 12.02.2017
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66012/liimatainen_lauri.pdf?sequence=1

Linja-Aho, V. 2012. Sähkö- ja hybridi ajoneuvojen sähkötyöturvallisuus. Viitattu 27.01.2017.

Loveday, E. 2014. Power e-Drive konsepti. Viitattu 10.02.2017.
<http://insideevs.com/first-ride-bmw-power-edrive-prototype-aka-tesla-killer/>

Lukkarinen, L. 2016. Ladattavien hybridi- ja sähköautojen tarjonta ja määrät euroopassa. Viitattu 27.1.2017.
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66012/liimatainen_lauri.pdf?sequence=1

Morra, J. 2016. Autolatureiden hyötysuhde. Viitattu 16.02.2017.
<http://electronicdesign.com/power/electric-vehicle-charger-hits-new-efficiency-level>

MTZ-magazine. 05/2015. Hybrid technology of the new BMW X5 eDrive. 76, 4 – 9. Viitattu 13.2.2017.

MTZ-magazine. 10/2015. BMW Power e-Drive konsepti, 76, 4 – 9. Viitattu 12.2.2017

MTZ-magazine. 09/2016. The drivetrain of the new BMW 225xe. 77, 16 – 20. Viitattu 12.2.2017

Polttoaineen keskihinta turussa. Viitattu 18.04.2017
<http://www.polttoaine.net/Turku>

ProEV. Regeneroivien jarrujen hyötysuhde. Viitattu 20.04.2017
<http://proev.com/LLPgs/LLei0005.htm>

Schaal, E. 2016. Types of charging. Viitattu 05.03.2017.
<http://www.fleetcarma.com/electric-vehicle-charging-guide/>

Solar is the future. 2011. Inverterin hyötysuhde. Viitattu 16.02.2017.
<http://www.solar-is-future.com/faq-glossary/faq/photovoltaic-technology-and-how-it-works/how-important-is-the-efficiency-of-the-inverter/index.html>

VDA, Verband der Automobilindustrie e.V. 2014. 8 - 11. Facts and Arguments about Fuel Consumption. Viitattu 17.4.2017