

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma  
Auto- ja työkonetekniikka

Tutkintotyö

Janne Honkola

**HYBRIDIAUTO TOYOTA PRIUS**

Työn ohjaaja  
Tampere 2007

Tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärvi

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja työkonetekniikka

Honkola Janne                      Hybridiauto Toyota Prius

Tutkintotyö                        36 sivua

Työn ohjaaja                      Tekniikan lisensiaatti Tauno Kulojärvi

Joulukuu 2007

Hakusanat                        hybridi, sähkömoottori, planeettapyörästö, Prius

## TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena oli perehtyä auton hybriditekniikkaan. Työssä keskityttiin pääasiassa Toyotan Prius-malliin. Prius oli markkinoille tullessaan vuonna 1997 maailman ainoa sarjavalmisteen hybridiauto

Hybridiautolla tarkoitetaan autoa, jossa on kaksi erilaista voimanlähdettä. Priuksen voimanlähteinä toimivat bensiinimoottori ja sähkömoottori. Hybridijärjestelmään kuuluu myös generaattori, ja näitä komponentteja yhdistää toisiinsa planeettavaihteisto, joka toimii myös portaattomana automaattivaihteistona.

Hybriditekniikan etuja ovat pienempi polttoaineen kulutus ja pienemmät päästöt verrattuna perinteisiin polttomoottoritekniikalla varustettuihin autoihin. Sähkömoottoria käytetään apuna liikkeellelähdoissä ja kiihdytyksissä, jolloin polttomoottorin kuormitushuippu jää vähäisemmäksi. Tämän vuoksi polttomoottorina voidaan käyttää iskuilavuudeltaan pientä moottoria, joka kuluttaa vähemmän. Polttomoottori toimii pääasiassa parhaan hyötysuhteen alueella. Polttoainetta kuluu vähemmän, kun polttomoottori on pysähdyksissä paikallaan seistäessä ja hidastus tapahtuu pelkän sähkömoottorin avulla. Sähkömoottoreita varten autoissa on korkeajänniteakut, joita generaattori lataa ajossa polttomoottorilla. Hidastuksissa ja jarrutuksissa vapautuva liike-energia otetaan myös talteen auton akkuihin. Hybridiautojen rakenne on perinteisiin polttomoottoriautoihin verrattuna monimutkaisempi ja kalliimpi.

Tutkintotyössä käytiin läpi hybridiauton tekniikkaa selvittäen tekniikan perusasiat.

TAMPERE POLYTECHNIC

Automobile and Transport Engineering

Automobile and Industrial Vehicle Engineering

Honkola Janne

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

December 2007

Keywords

Hybrid Car Toyota Prius

36 pages

Licentiate (Technology) Tauno Kulojärvi

hybrid, electric motor, planetary gear, Prius

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis was to examine the technics of a hybrid car, focusing Toyota Prius. The Toyota Prius was introduced in Japan in 1997. It was one of the first such vehicles to be mass-produced and marketed.

The term hybrid car simply refers to a vehicle that is powered using a combination of electric and conventional internal combustion engines. The Prius is a hybrid vehicle that can run on just the combustion engine, just the electric motor, or a combination of both.

Design goals are to reduce the amount of pollution and to maximise fuel efficiency. The car's hybrid powertrain features a combustion engine that's used in conjunction with electric motor, generator and a special planetary gearset that functions as a continuously variable transmission. The electric motor is used at low speed with the combustion engine at above average urban speeds. At cruising speeds the Prius tends to run on petrol power alone, recharging the battery. Battery is charged also by regenerative braking. A regenerative braking system converts energy normally lost as heat into electricity to charge the car's battery pack.

This powertrain, along with other advanced features, allows the Prius higher fuel economy and lower emissions compared to regular cars. The hybrid cars are rather expensive than traditional combustion cars, because construction is quite complex.

## SISÄLLYSLUETTELO

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| TIIVISTELMÄ                               |    |
| ABSTRACT                                  |    |
| SISÄLLYSLUETTELO                          | 4  |
| 1 JOHDANTO                                | 5  |
| 2 HYBRIDITEKNIikka                        | 5  |
| 2.1 Sarjahybridi                          | 6  |
| 2.2 Rinnakkaishybridi                     | 6  |
| 2.3 Täyshybridi                           | 7  |
| 2.4 Mikrohybridi (Stop-start-järjestelmä) | 8  |
| 2.5 Superkondensaattorit                  | 9  |
| 3 HYBRIDIAUTO TOYOTA PRIUS                | 11 |
| 4 PRIUKSEN PÄÄKOMONENTTIEN RAKENNE        | 14 |
| 4.1 Sähkömoottori ja generaattori         | 15 |
| 4.2 Polttomoottori                        | 16 |
| 4.3 Planeettapyörästö                     | 17 |
| 4.4 Invertteriyksikkö                     | 18 |
| 4.5 Akku                                  | 20 |
| 5 PRIUKSEN TEHONSIIRTOYKSIKKÖ             | 22 |
| 5.1 Valmiustila                           | 23 |
| 5.3 Liikkeelle lähteminen                 | 24 |
| 5.5 Kevyt kiihdytys polttomoottorilla     | 26 |
| 5.6 Ajo kevyellä kuormituksella           | 27 |
| 5.7 Kiihdytys täydellä kaasulla           | 27 |
| 5.8 Jarrutus                              | 28 |
| 5.9 Peruutus                              | 31 |
| 6 YHTEENVETO                              | 33 |
| LÄHTEET                                   | 35 |

## **1 JOHDANTO**

Tiukentuneet päästömääräykset ovat pakottaneet autojen valmistajia kehittämään vähemmän kuluttavia ja saastuttavia autoja. Tässä työssä on tarkoituksena tutkia autojen hybriditekniikkaa, joka pienentää autojen kulutusta ja päästöjä samankokoisiin perinteisellä polttomoottoritekniikalla varustettuihin autoihin verrattuna.

Työssä keskitytään Toyotan Prius-malliin. Hybriditekniikat eroavat eri valmistajien malleissa huomattavasti toisistaan, tämän vuoksi työssä keskityttiin yhteen automalliin. Eri hybriditekniikat ja niiden suurimmat eroavaisuudet erot käydään läpi lyhyesti.

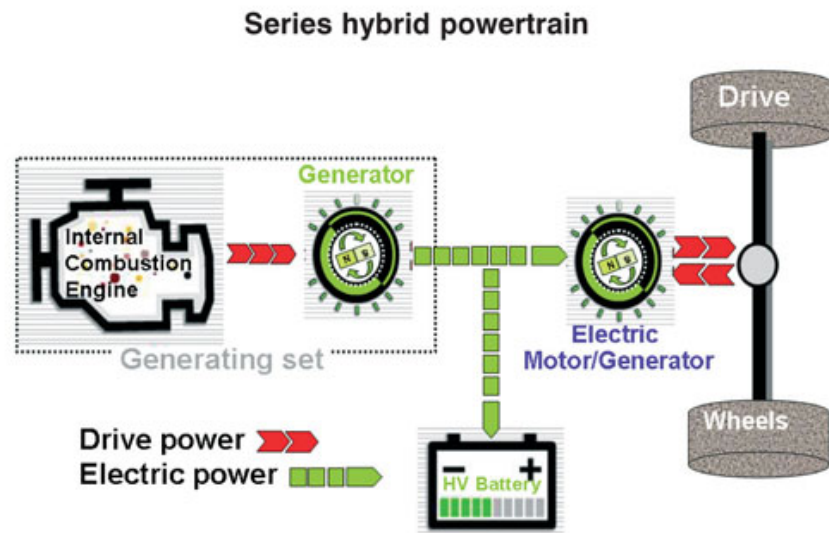
## **2 HYBRIDITEKNIikka**

Hybridiautolla tarkoitetaan autoa, jossa on kaksi erilaista voimanlähdettä. Tällä hetkellä markkinoilla olevissa hybridiautoissa voimanlähteinä käytetään pääsääntöisesti polttomoottoria ja sähkömoottoria. Sähkömoottoreita varten hybridiautoissa on akut, joita generaattori lataa ajossa ja jarrutuksissa. Energia voidaan ottaa talteen myös superkondensaattoreihin, jotka ovat akkuja huomattavasti kevyempiä.

Hybridijärjestelmiä ovat sarja- ja rinnakkaishybridit sekä täyshybridit. Täyshybriditekniikka yhdistää sarja- ja rinnakkaishybriditekniikat.

## 2.1 Sarjahybridi /7; 8; 9; 22/

Sarjahybridiajoneuvossa polttomoottori käyttää vain generaattoria, eikä polttomoottorilla ole mekaanista yhteyttä vetäviin pyöriin (kuva 1).



**Kuva 1** Sarjahybridijärjestelmä /22/

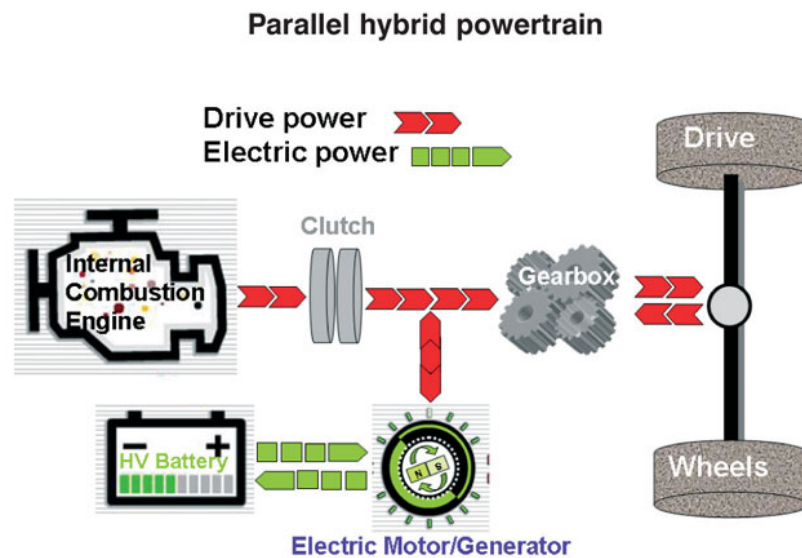
Generaattori lataa akkuja ja energia sähkömoottorille saadaan akuista. Sarjahybridiajoneuvossa polttomoottori voidaan pysäyttää akkujen ollessa ladattuina. Polttomoottoria käytetään parhaan hyötysuhteen alueella. Sarjahybridi osoittautunut tehokkaaksi ratkaisuksi linja-autoissa suurkaupunkien ydinkeskustoissa, joissa keskinopeudet ovat alhaiset ja suuri osa ajasta on tyhjäkäyntiä.

## 2.2 Rinnakkaishybridi /7; 8; 9; 15; 22/

Rinnakkaishybridiajoneuvoissa sähkömoottori antaa polttomoottorille lisätehoa korkean kuormituksen aikana. Tämän tyyppiset hybridit eivät kuitenkaan toimi pelkästään sähkömoottorilla. Rinnakkaishybriditekniikkaa käytetään linja-autoissa. Tekniikka on sarjahybriditä tehokkaampi keskisuurissa kaupungeissa,

joissa keskinopeudet ovat hieman korkeampia kuin suurkaupungeissa.

Rinnakkaishybrideissä on jarrutusenergian talteenottojärjestelmä. Siinä sähkömoottori toimii jarrutuksen aikana generaattorina ladataen akkuja (kuva 2).

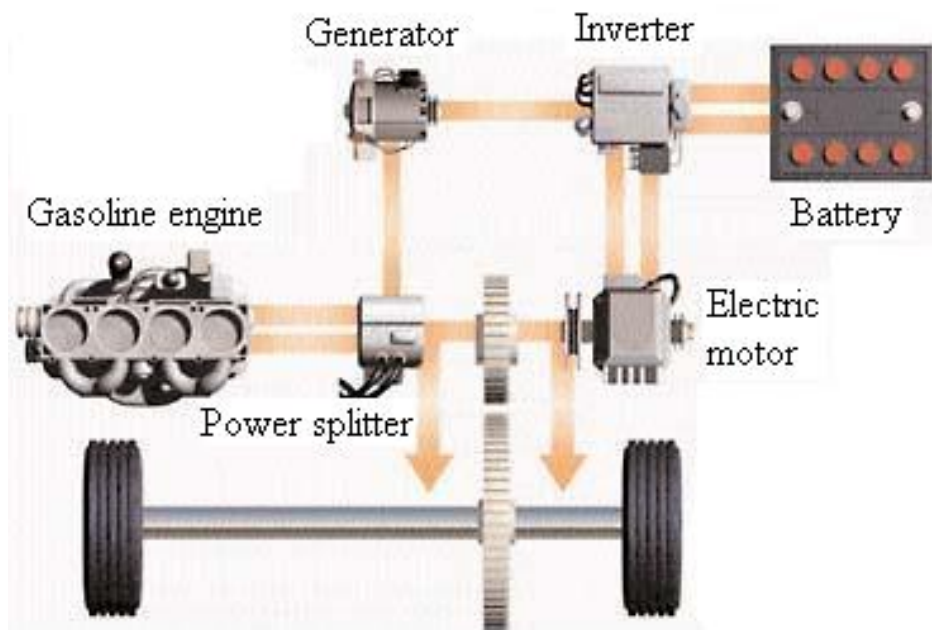


**Kuva 2** Rinnakkaishybridijärjestelmä /22/

Sarjahybridiajoneuvoon verrattuna järjestelmän hyötysuhde paranee, koska polttomoottorin tuottama teho saadaan suoraan vetäville pyörille.

### 2.3 Täyshybridi /7; 8; 9; 15; 22/

Täyshybridijärjestelmä yhdistää sarja- ja rinnakkaishybridien hyvät ominaisuudet. Täyshybridijärjestelmä pystyy liikuttamaan ajoneuvoa pelkällä polttomoottorilla, pelkällä sähkömoottorilla tai molemmilla yhtä aikaa. Planeettavaihteisto mahdollistaa polttomoottorin ja sähkömoottorin vaihtelevan käytön eri ajotilan- teiden mukaan. Järjestelmä on tehokas, koska se sallii moottorin käydä pääasias- sa parhaalla hyötysuhteella.



**Kuva 3** Täyshybridijärjestelmä /23/

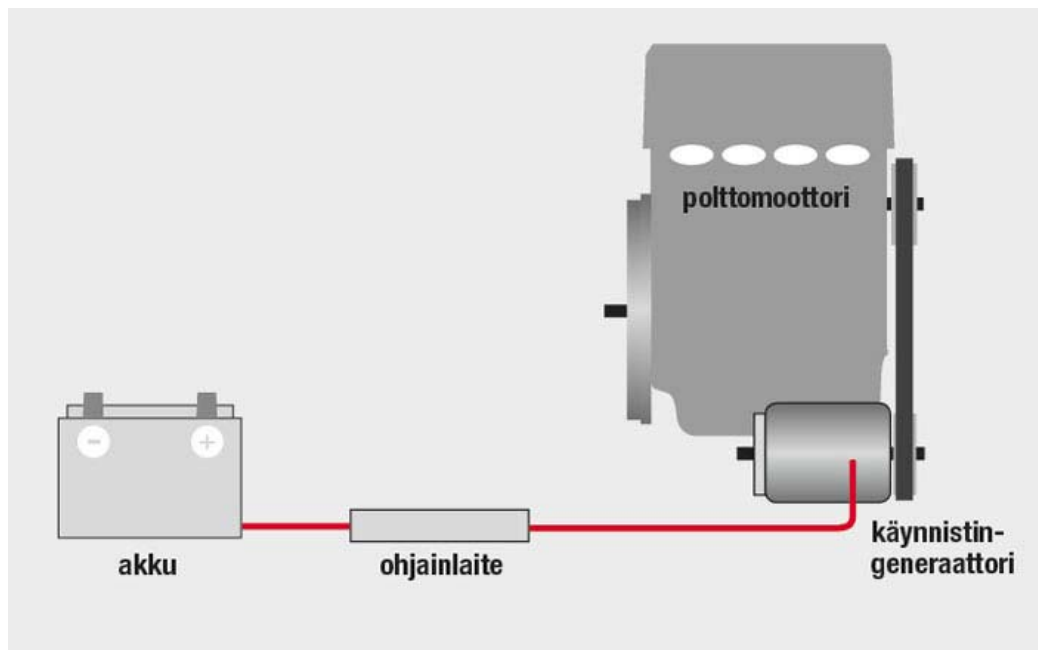
Polttomoottori voi myös käynnistyä pelkästään akkujen lataamista varten. Akut latautuvat myös jarrutusenergian talteenotossa. Nykivässä liikenteessä ja hitaasti ajettaessa polttomoottori sammuu kokonaan ja ajaminen tapahtuu sähkömoottorilla. Esimerkiksi Toyota Prius on täyshybridi. Järjestelmä on huomattavasti monimutkaisempi kuin edellä mainitut hybridijärjestelmät (kuva 3).

## 2.4 Mikrohybridi (Stop-start-järjestelmä) /7; 8; 9; 22/

Mikrohybrideissä on pieni sähkömoottori, joka ei ole suoraan yhteydessä auton vetäviin pyöriin. Sähkömoottori toimii polttomoottorin käynnistimenä. Näin ol-  
len mikrohybridin polttomoottori voi sammua automaattisesti auton ollessa paikallaan ja käynnistyä uudelleen automaattisesti heti tarpeen tullen. Mikrohybridejä ei yleensä pidetä todellisina hybrideinä, koska sähkömoottori ei liikuta autoa. Ne säästävät polttoainetta yleensä vain noin 10 % ja niiden hyvä puoli on suhteellisen edullinen hinta. Mikrohybridiä kutsutaan myös Stop-start – järjestelmäksi (kuva 4) .



Tällainen Stop-start-järjestelmä on esimerkiksi joissakin uusissa BMW:n mal-  
leissa. Polttomoottori pysähtyy liikennevaloissa vaihteen ollessa vapaalla ja kyt-  
kinpolkimen ollessa ylhäällä. Moottori käynnistyy automaattisesti kun kyt-  
kinpoljin painetaan pohjaan.



**Kuva 4** Mikrohybridijärjestelmä /22/

## 2.5 Superkondensaattorit /10; 11; 12/

Energian varastointiin tarkoitetut komponentit tai järjestelmät voidaan luokitella ryhmiin energiatiheuden ja tehon perusteella. Energiatiheys kertoo energiantal-  
lennuskyvyn tilavuuden tai massan suhteen. Teho taas sen, kuinka nopeasti  
energiaa voidaan järjestelmästä purkaa. Perinteisten akkujen energiatiheys on  
melko suuri, mutta teho vastaavasti verraten pieni. Energiaa voidaan varastoida  
tehokkaasti, mutta lataus ja purkaus vievät suhteellisen pitkän ajan. Perinteisten  
kondensaattorien tapauksessa teho on huomattavan suuri, mutta energiaa voi-  
daan varastoida vain pieniä määriä. Kondensaattorin kyky varastoida sähköener-  
giaa riippuu pääosin elektrodien pinta-alasta, elektrodien välisestä etäisyydestä

sekä elektrodien välisen eristeen ominaisuuksista. Superkondensaattoreissa varauskerrosten välinen etäisyys on kutistettu mittoihin, joka vastaa elektrolyytin ionien kokoa. Superkondensaattori on siis yksinkertaistaen kondensaattori, jonka elektrodien pinta-ala on maksimoitu suuren varauskyvyn aikaansaamiseksi. Superkondensaattorin latausaika on noin kymmenen sekuntia, sitä rajoittaa lähinnä laturin teho. Kondensaattori vastaanottaa latausta, kunnes se on täynnä. Ylilatauksen tai muisti-ilmiön vaaraa ei ole. Kondensaattorien etuja ovat myös keveys ja pitkä käyttöikä.

Superkondensaattorien ominaisuudet lyhyesti:

#### Edut

- voidaan ladata ja purkaa käytännössä rajattomasti
- nopea latausaika
- ei ylilatautumisen vaaraa
- hinnaltaan edullinen ratkaisu.

#### Haitat

- jännitteen nopea ja jatkuva väheneminen purkaustilanteessa estää koko kapasiteetin hyödyntämisen
- pieni energiatiheys, noin kymmenesosa NiMH-akun energiatiheudesta
- superkondensaattorien jännite on yleensä melko pieni, suuremmat jännitteet edellyttävät sarjaan kytkettyjä kondensaattoreita.
- itsepurkautuminen tapahtuu nopeasti ja on huomattavasti suurempi kuin sähkökemiallisen akun
- yli kolmen kondensaattorin sarjakytkennot edellyttävät jännitteentasausratkaisuja. /10/

### 3 HYBRIDIAUTO TOYOTA PRIUS /3; 4; 5; 6; 21/

Toyota Prius oli maailman ensimmäinen sarjavalmistainen hybridiauto. Ensimmäisen sukupolven Prius esiteltiin vuonna 1997. Tätä mallia myytiin vain Japanissa. Eurooppaan ja Yhdysvaltoihin tarkoitettu vientimalli tuli tuotantoon vuonna 2000. Suomeen tällaisia autoja tuotiin kaksi kappaletta vuonna 2001 lähinnä koekäyttöön.

Nykyinen toisen sukupolven Toyota Prius tuli tuotantoon vuonna 2003 (kuva 5). Edeltäjänsä verrattuna se oli kasvanut kooltaan ja mitoiltaan, mutta kehittyneemmän hybriditekniikan ansiosta se oli edeltäjänsä suorituskykyisempi ja taloudellisempi.



**Kuva 5** Toyota Prius /25/

Prius oli ensimmäinen hybridiauto Suomessa tullessaan myyntiin vuonna 2004, ja niitä on myyty hieman yli 300 kappaletta vuoden 2007 loppuun mennessä. Myöhemmin markkinoille ovat tulleet saman valmistajan Lexus -mallit RX 400h, GS 450h ja LS 600h sekä Hondan Civic Hybrid keväällä 2006.

Toyotan hybridiautojen maailmanlaajuinen myyntimäärä ylitti miljoonan rajan toukokuussa 2007.

Priuksen voimanlähteenä ovat bensiinimoottori ja sähkömoottori. Sähkömoottoreita varten autossa on korkeajänniteakut, joita generaattori lataa ajossa polttomoottorin voimin tai ottaa hidastettaessa auton liike-energiaa talteen sähkönä. Tavallisia jarruja käytetään vain voimakkaissa jarrutuksissa. Normaalisti generaattori hidastaa, ja vasta aivan hidastuksen loppuvaiheessa hydrauliset pyöräjarrut otetaan käyttöön. Periaatteessa Prius on kuin tavallinen automaattiauto: vaihdevivulla valitaan ajosuunta (kuva 6) ja kaasupolkimella haluttu ajonopeus.



**Kuva 6** Priuksen vaihteenvalitsin /26/

Priuksessa ei ole kuitenkaan tyypillistä automaattivaihteistoa, vaan sen tehtäviä hoitaa elektroniikan ohjaama hybridijärjestelmä. Hybridijärjestelmään kuuluvat polttomoottori, sähkömoottori ja generaattori, joita yhdistää toisiinsa planeettavaihteisto. Tämä planeettavaihteisto toimii myös portaattomana automaattivaihteistona. Komponenteista ainoastaan sähkömoottori on kiinteässä yhteydessä vetäviin pyöriin. Priuksen polttomoottorin iskutilavuus on  $1497 \text{ cm}^3$  ja teho 57 kilowattia sekä vääntömomentti 115 Nm. Polttomoottorin suunnittelussa on ollut tärkeämpänä hyvä taloudellisuus ja pienet päästöt kuin suuri teho.

Polttomoottorilta ei vaadita suurta tehoa, koska liikkeellelähdyksissä ja kiihdytyksissä apuna käytetään sähkömoottoria.

Sähkömoottori on kestopagneettityyppiä oleva kolmivaihetahtimmoottori, jonka teho on 50 kW ja vääntömomentti 400 Nm. Näin koko hybridijärjestelmän tehoksi tulee 82 kW ja vääntömomentiksi 478 Nm. Maksimivääntö on käytettävissä lähdöstä 22 km/h nopeuteen saakka. Sähkömoottorilla voidaan ajaa noin 60 km/h nopeuteen saakka. Priuksen yhdistetty EU-kulutus on 4,3 l/100km ja CO<sub>2</sub>-päästöt 104 g/km. Kojelaudassa on myös kytkin, jolla autoa voidaan ajaa pelkän sähkömoottorin voimin.

Hybridijärjestelmä valvoo akun varaustilaa ja käynnistää polttomoottorin lataamaan akkua virran riittävyyden takaamiseksi. Akun lataustilan ollessa alhainen sähkömoottoria ei käytetä. Järjestelmä pyrkii pitämään akun varaustilan 40 ja 75 % välillä. Hybridijärjestelmä on siis suljettu, eikä siten vaadi käyttäjältä huolenpitoa tai lataamista ulkopuolisesta virtalähteestä.

Perheautojen kokoluokkaan sijoittuvalle Priukselle ei ollut pitkään aikaan kilpailijoita, kunnes vuonna 2006 keväällä Honda Civic Hybrid tuli markkinoille (kuva 7).

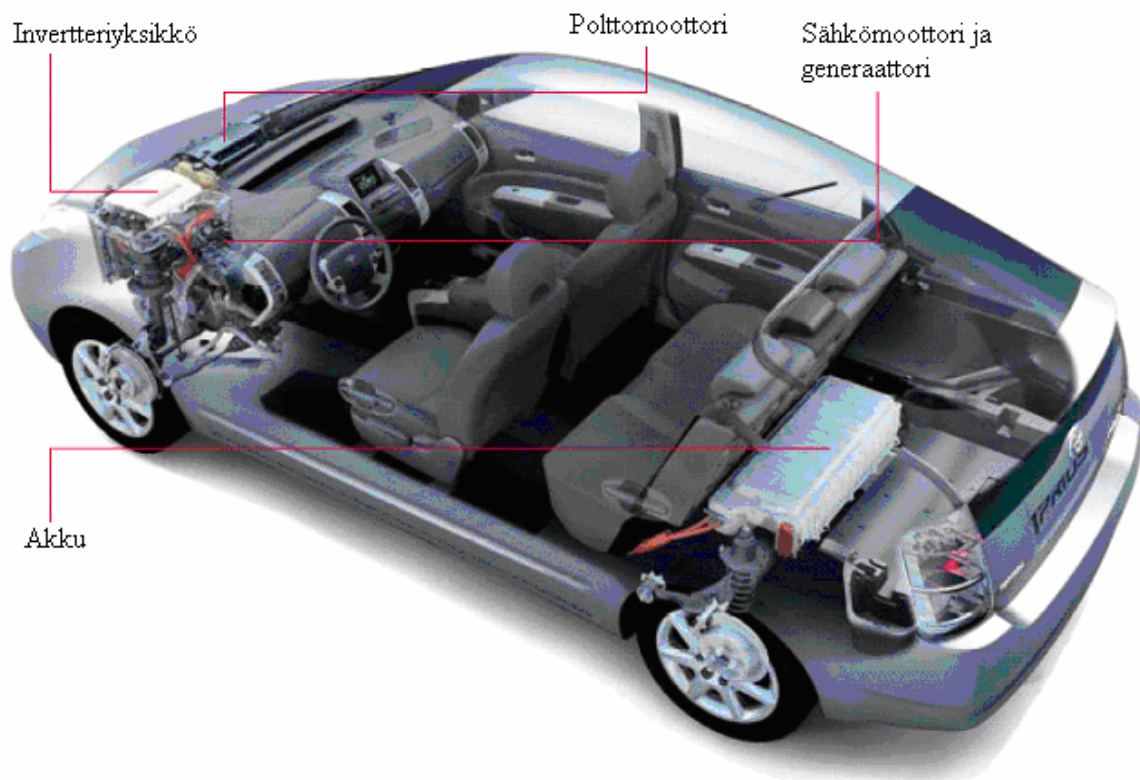


**Kuva 7** Honda Civic Hybrid /27/

Hondan ja Toyotan hybridijärjestelmät poikkeavat toisistaan huomattavasti. Hondan järjestelmä on yksinkertaisempi, siihen kuuluu kiinteässä yhteydessä polttomoottoriin oleva sähkömoottori, joka toimii myös generaattorina. Priuksen poiketen Honda on rinnakkaishybridi, eli polttomoottori on aina käytössä. Moottoreiden jatkona voimansiirtolinjassa on portaaton, metallihihnaa käyttävä CVT-vaihteisto.

#### 4 PRIUKSEN PÄÄKOMONENTTIEN RAKENNE

Priuksen pääkomponenttien sijainti näkyy kuvassa 8.



**Kuva 8** Pääkomponenttien sijainti /24/

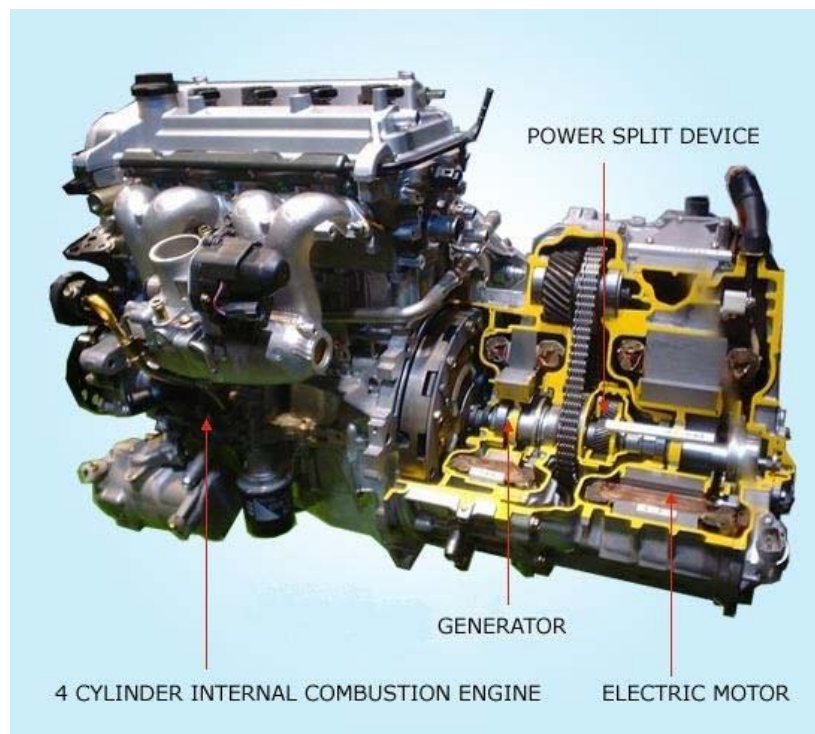


#### 4.1 Sähkömoottori ja generaattori /1; 3; 5; 6; 19/

Sähkömoottori ja generaattori ovat kestopagneettityyppiä olevia kolmivaihetah-  
timoottoreita. Kestomagneettimoottorilla on oikosulkumoottoria parempi hyö-  
tysuhde ja suurempi vääntömomentti. Tämän tyyppisissä sähkömoottoreissa  
roottorin magneettivuo synnytetään kestopagneettien avulla. Kestomagneetti-  
moottori on myös yksinkertaisempi ja vähemmän huoltoa vaativa kuin perintei-  
sellä tavalla rakennettu hiiliharjallinen tahtimoottori tai tasavirtamoottori.

Sähkömoottori toimii tarvittaessa polttomoottorin apuna tuottaen lisätehoa ja  
alentaen polttonesteen kulutusta. Sähkömoottori toimii myös generaattorina jar-  
rutuksissa ottaen auton liike-energian talteen. Tämä sähköenergia varastoidaan  
akkuun. Sähkömoottorin teho on 50 kW ja vääntömomentti 400 Nm.

Sähkömoottorin ja generaattorin sijainti näkyy kuvassa 9.

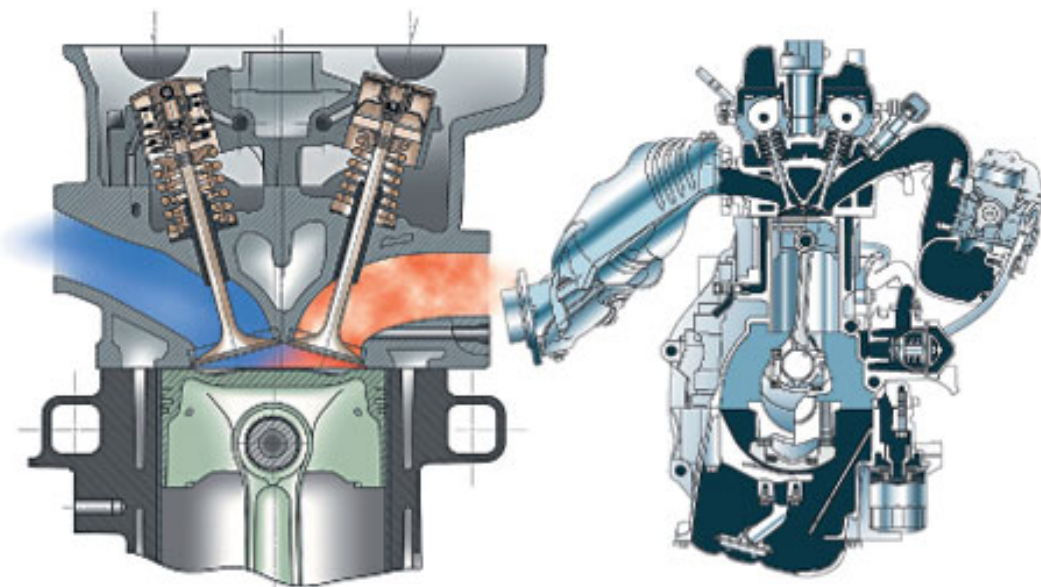


**Kuva 9** Priuksen moottorit ja tehonsiirtoyksikkö /21/

Generaattori lataa tarvittaessa akkua ja antaa sähkövirtaa sähkömoottorille. Generaattorin pyörintänopeutta muuttamalla säädellään tuotettavan sähkövirran määrää. Generaattori toimii myös polttomoottorin käynnistimenä joten Priuksessa ei ole perinteistä käynnistinmoottoria. Sähkömoottorin ja generaattorin jäähdytysjärjestelmänä on polttomoottorin jäähdytysjärjestelmä.

#### 4.2 Polttomoottori /3; 4; 5; 6; 14/

Polttomoottorina on hybridikäyttöön kehitetty 1NZ-FXE-moottoria (kuva 10). Se on muuttuvalla venttiili ajoituksella varustettu 16-venttiilinen nelisylinterinen moottori, jonka iskutilavuus on  $1497 \text{ cm}^3$ , suurin teho on 57 kW ja vääntömomentti 115 Nm. Suuren tehon sijaan polttomoottorin suunnittelussa on ollut tärkeämpänä hyvä taloudellisuus ja pienet päästöt. Moottorilta ei vaadita suurta tehoa, koska liikkeellelähdöissä ja kiihdytyksissä käytetään apuna sähkömoottoria.



**Kuva 10** Priuksen polttomoottori /28/

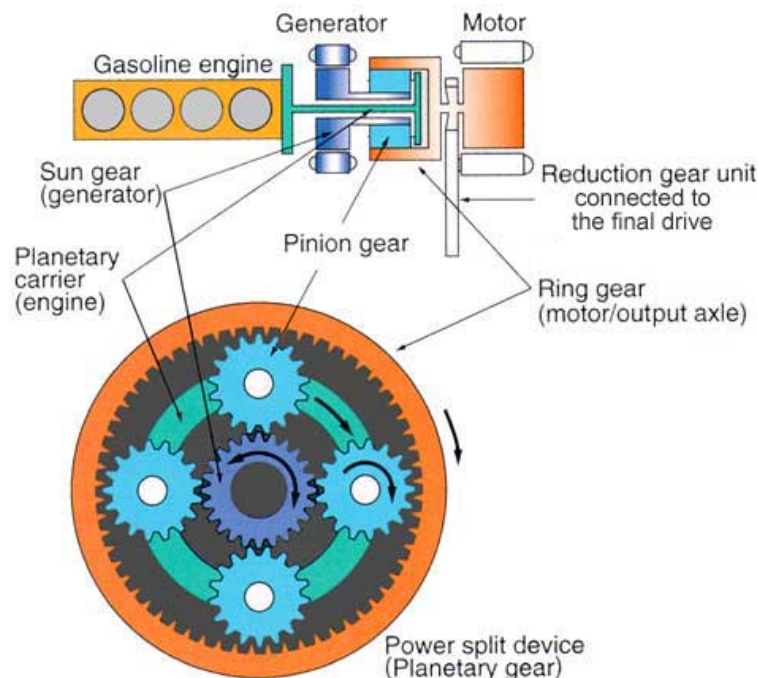
Polttomoottori ei ole tavallinen nelitahtinen ottomoottori. Hyvään taloudellisuuden pääsemiseksi siinä käytetään Atkinson-työkiertoa. Siinä työtahtia on



venytetty mahdollisimman pitkäksi. Pakoventtiilit avataan tavallista myöhemmin, jolloin pakokaasut ehtivät laajeta mahdollisimman paljon ja siten luovuttaa tehokkaasti energiansa. Pumppaushäviöitä pienennetään sulkemalla imuventtiilit normaalia myöhemmin, vasta puristustahdin puolivälin tienoilla. Tällöin imuventtiileistä virtaa seosta takaisin imusarjaan ja edelleen toisiin sylintereihin. Tämä takaisinvirtaus laskee todellista puristussuhdetta ja samalla myös pienentää moottorin kokoa puristustahdissa. Yhdistettynä pitkään paisuntaan työtahdin aikana saadaan tällöin polttoaineen energia käytettyä mahdollisimman tehokkaasti hyödyksi.

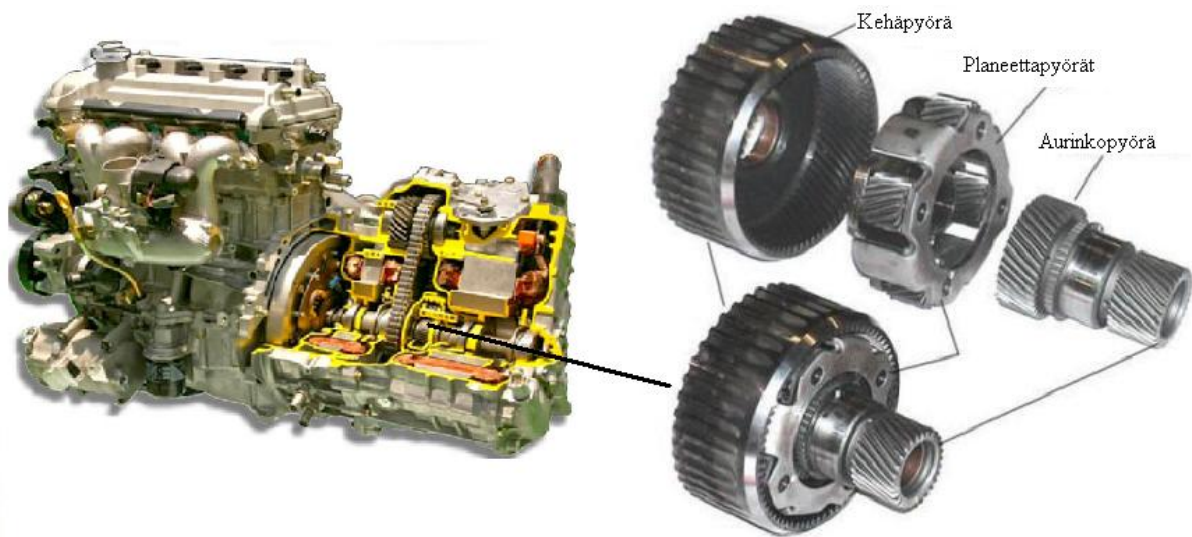
#### 4.3 Planeettapyörästä /1; 3; 4; 5; 20/

Polttomoottori ja sähkömoottori sekä generaattori liittyvät toisiinsa planeettapyörästä, joka toimii myös portaattomana automaattivaihteistona (kuva 11).



**Kuva 11** Planeettapyörästä yhdistää moottorit ja generaattorin /20/

Planeetan kehäpyörästäön kytketty sähkömoottori on suorassa yhteydessä vetäviin pyöriin, ja siitä syystä sitä käytetään jarrutuksissa generaattorina ottamaan talteen liike-energiaa. Peruuttaminen tapahtuu sähkömoottorilla, koska sähkömoottori pyörii vetävien pyörien kanssa. Polttomoottori on kytketty planeetan kannattimeen ja pieniin planeettapyöriin. Generaattori on yhteydessä keskimäisenä olevaan aurinkopyörään (kuva 12).



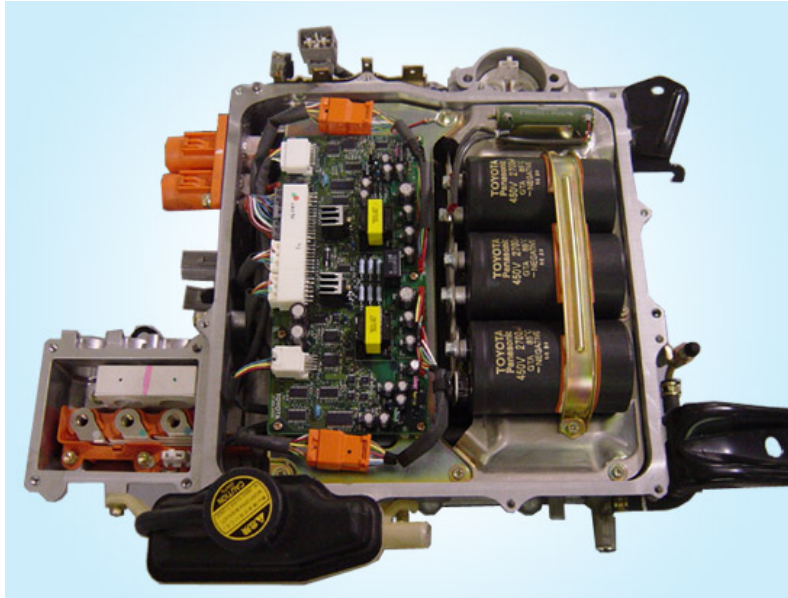
**Kuva 12** Planeettapyörästä /29/

Planeettapyörästä voima välittyy ketjuvälityksen ja pyörimissuuntaa muuttavan hammasvälityksen kautta vetopyörästäön. Tämä ketjun ja hammasvälityksen käsittävä voimansiirtolinja on suorassa yhteydessä planeetan kehäpyörään ja siihen kytkettyyn sähkömoottoriin.

#### 4.4 Invertteriyksikkö /1; 21/

Sähkömoottori ja generaattori toimivat 500 V:n kolmivaihevirralla. Kolmivaihevirta pitää muuntaa 201,6 V:n tasavirraksi akkuun varastoimista varten. Akkua käytettäessä tasavirta joudutaan taas vastaavasti muuntamaan kolmivaihevirraksi

ja nostamaan sen jännite 500 V:n tasolle. Tätä varten invertteriyksikköön (kuva 13) kuuluvat jännite- ja taajuusmuuntimet.



**Kuva 13** Invertteriyksikkö /21/

Auton apulaitteiden käyttöjännite on 12 V:n tasajännite. Jännitemuunninta käytetään korkeajänniteakun 201,6 V:n muuntamiseen 12 V tasajännitteeksi auton 12 V:n akun lataamiseksi. Invertteriyksikkö sijaitsee moottoritilassa (kuva 14).



**Kuva 14.** Invertteriyksikön sijainti moottoritilassa /30/

#### 4.5 Akku /1; 3; 4; 5; 6; 17/

Akkupaketti sijaitsee taka-akselin päällä (kuva 15).



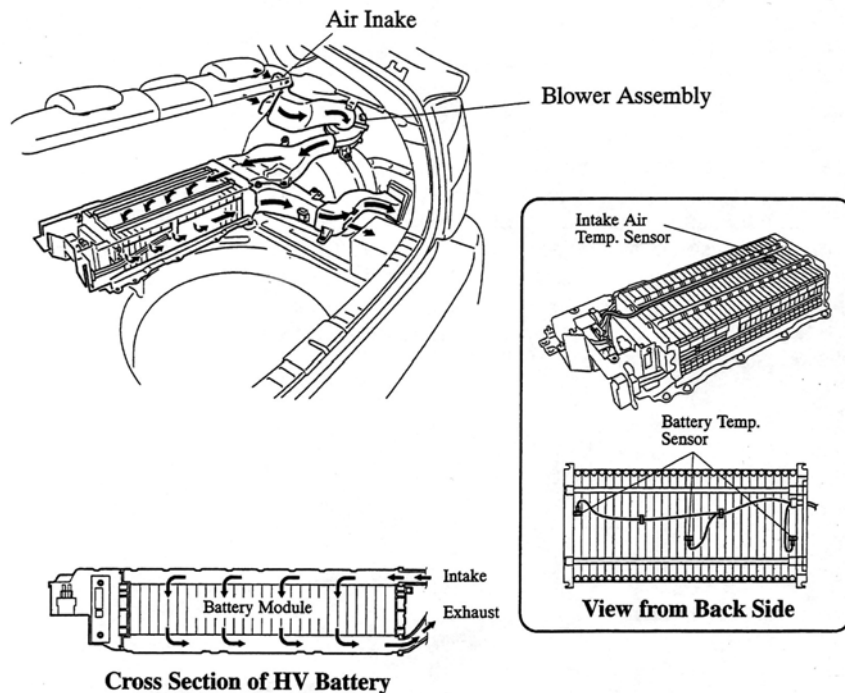
**Kuva 15** Akkupaketin sijainti tavaratilassa /31/

Akku on tyypiltään suljettu nikkelimetallihybridiakku (NiMH). Akussa on 168 kennoa  $[(1,2 \text{ V} \times 6 \text{ kennoa}) \times 28 \text{ moduulia}]$  ja sen nimellisjännite on 201,6 V. Akun kapasiteetti on 6,5 Ah, ja sen paino on noin 45 kg. Akun jokainen moduuli on erikseen vaihdettavissa (kuva 16).



**Kuva 16** Hybridijärjestelmän nikkelimetallihybridiakku /17/

Akun lämpötila pidetään sopivalla tasolla jäähdytysjärjestelmällä, jota ohjataan akun ohjainyksiköllä. Jäähdytyspuhallin sijaitsee tavaratilan oikeassa reunassa, ja se imee ilmaa matkustamosta ilmanottoaukosta. Ilma johdetaan akulle ja se virtaa akun moduulien välistä ylhäältä alas jäähdyttäen niitä. Tämän jälkeen ilma virtaa poistokanavaa pitkin auton ulkopuolelle (kuva 17). Akun ohjainyksikkö säättää akun lämpötilan sopivalle tasolle kolmen akkuun asennetun lämpötilatunnistimen ja yhden sisään tulevan ilman lämpötilatunnistimen avulla. Se myös tarkkailee akun varaustilaa, vuotoja, virran voimakkuutta sekä jännitettä ja lähettää tiedot eteenpäin hybridijärjestelmän ohjainyksikölle.



**Kuva 17** Akun jäähdytysjärjestelmä /1/

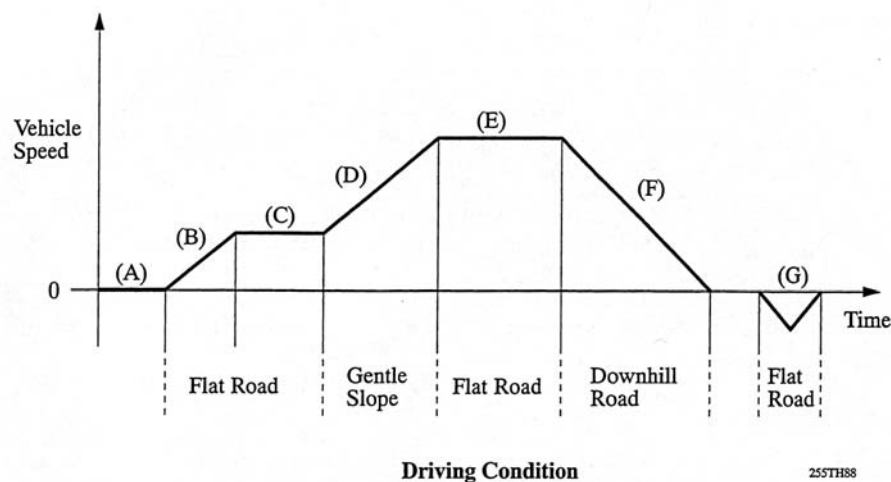
Auton liikkuessa akku latautuu ja purkautuu toistuvasti. Akku purkautuu sähkömoottoria käyttäessään kiihdytyksissä ja latautuu generaattoreiden avulla ajossa ja jarrutuksissa. Akun ohjainyksikkö tarkkailee varaustilaa virtatunnistimen havaitsemien purkaus- ja latausvoimakkuuksien perusteella ja lähettää tiedon hybridijärjestelmän ohjainyksikölle. Hybridijärjestelmä pyrkii pitämään akun lataustilan 40 ja 75 prosentin välillä, jotta akussa olisi aina riittävästi virtaa sähkö



moottorille käytettäväksi liikkeelle lähdöissä ja apuna kiihdytyksissä. Toisaalta taas akussa pitää olla kapasiteettia varastoida jarrutuksissa liike-energiaa talteen. Akku riittää parin kilometrin ajoon sähkömoottorilla, mutta normaalisti siitä otetaan virtaa sähkömoottorille hetkellisesti liikkeellelähdöissä ja kiihdytyksissä. Priuksen korkeajännitteinen sähköjärjestelmä on suljettu, eikä sitä tarvitse eikä voi ladata ulkoisesta virtalähteestä. Näin ollen kaikki kulkemiseen käytettävä energia syntyy bensiinistä.

## 5 PRIUKSEN TEHONSIIRTOYKSIKKÖ /1; 13/

Tehonsiirtoyksikkö muodostuu sähkömoottorista, generaattorista sekä planeetta-pyörästöstä. Se säätelee niiden pyörimisnopeuksia ja voimanjakoa parhaaseen tehokkuuteen ja taloudellisuuteen pääsemiseksi eri ajotilanteiden mukaan (kuva 18). Seuraavissa luvuissa kerrotaan mitä missäkin ajotilanteessa tapahtuu.



A: Valmiustila

B: Liikkeelle lähteminen

C ja E: Ajo kevyellä kuormituksella

D: Kevyt kiihdytys polttomoottorilla

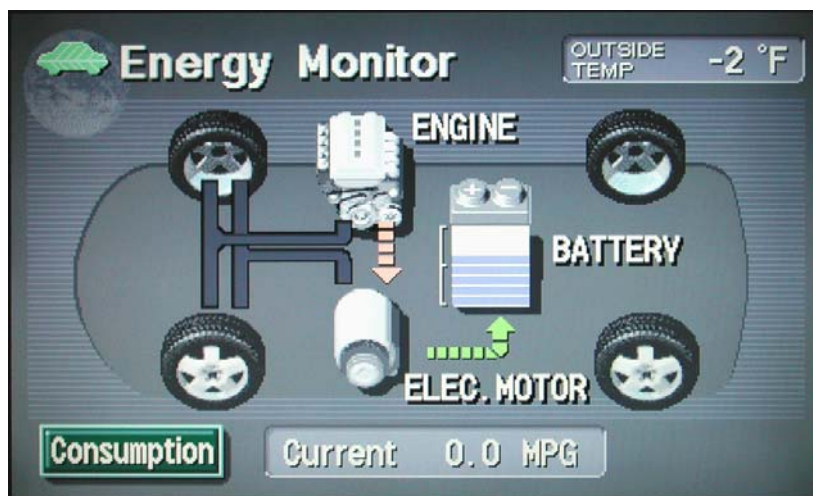
F: Jarrutus

G: Peruutus

**Kuva 18** Ajonopeus ja ajo-olosuhteet /1/

### 5.1 Valmiustila /1/

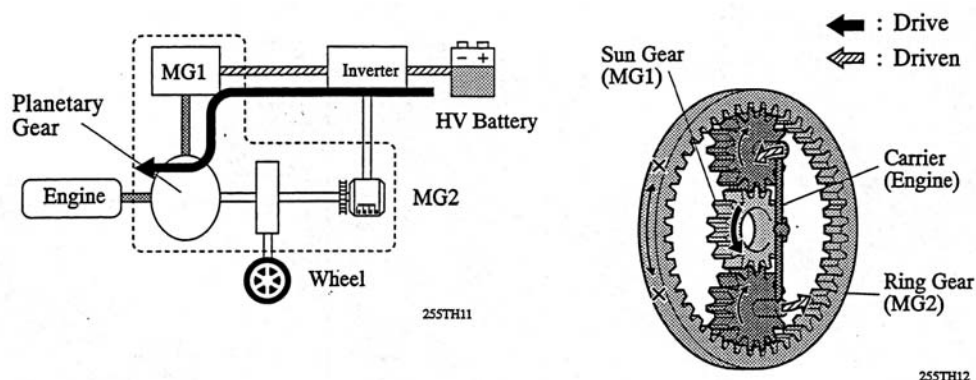
Käynnistysnappia painettaessa auto on valmiustilassa. Hybridijärjestelmän ohjainyksikkö tarkkailee jatkuvasti akun varaustilaa ja sen lämpötilaa, järjestelmän veden lämpötilaa ja sähköisen kuormituksen tilaa. Jos kaikki arvot ovat ohjearvoissaan, liikkeelle lähdetään sähkömoottorilla. Muuten generaattori käynnistää polttomoottorin akkujen lataamiseksi (kuva 18).



Kuva 18 Generaattori lataa akkua /32/

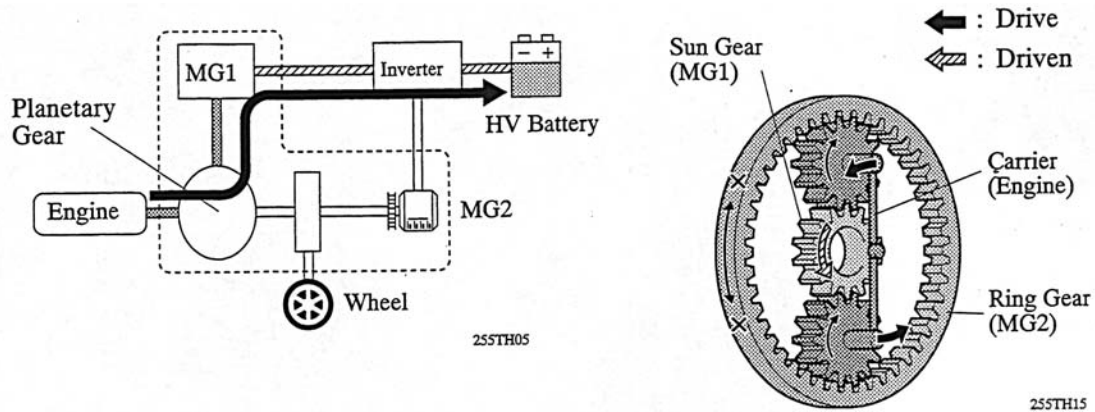
### 5.2 Polttomoottorin käynnistys /1/

Kuvassa 19 generaattori käynnistää polttomoottorin. Generaattori on kytketty planeettapyörästäön aurinkopyörään. Aurinkopyörä pyörittää planeettapyöriä, jotka ovat kytketty polttomoottoriin. Näin polttomoottorin kampiakseli pyörii ja moottori käynnistyy.



Kuva 19 Generaattori käynnistää polttomoottorin /1/

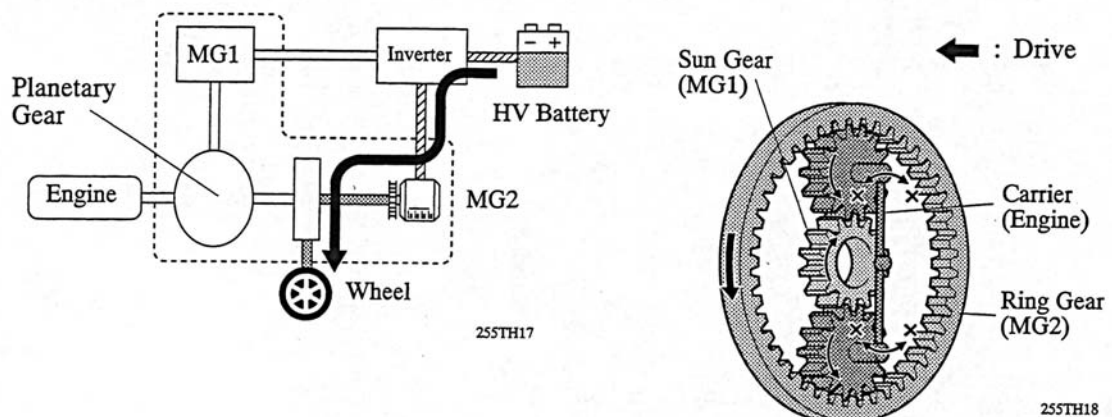
Kuvassa 20 polttomoottori on käynnissä. Polttomoottori pyörittää generaattoria joka lataa akkuja.



**Kuva 20** Polttomoottori pyörittää generaattoria /1/

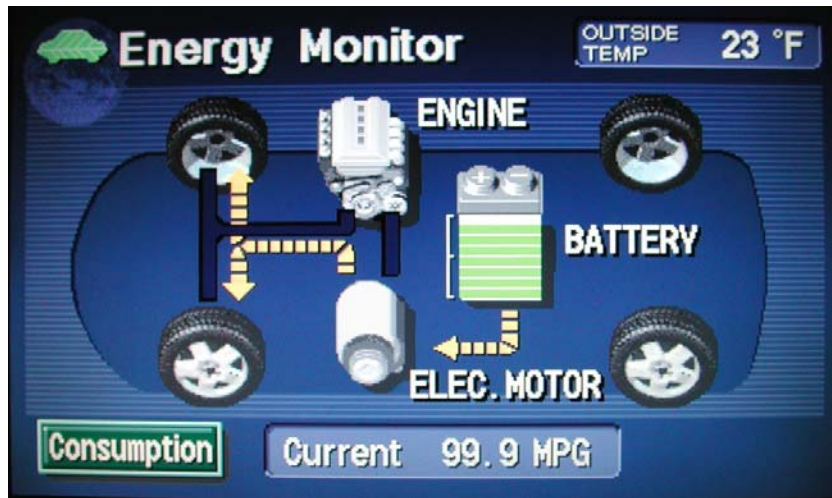
### 5.3 Liikkeelle lähteminen /1/

Auton lähtiessä liikkeelle se kulkee pelkästään sähkömoottorin voimalla. Se on kytketty planeettapyörästäön kehäpyörään. Sähkömoottori saa virran akulta. Polttomoottori on pysähdyksissä ja generaattori pyörii vastakkaiseen suuntaan kehittämättä sähköä (kuva 21). Kojelaudassa olevasta näytöstä näkyy että käytössä on sähkömoottori. (kuva 22).



**Kuva 21** Sähkömoottori saa virran akulta /1/

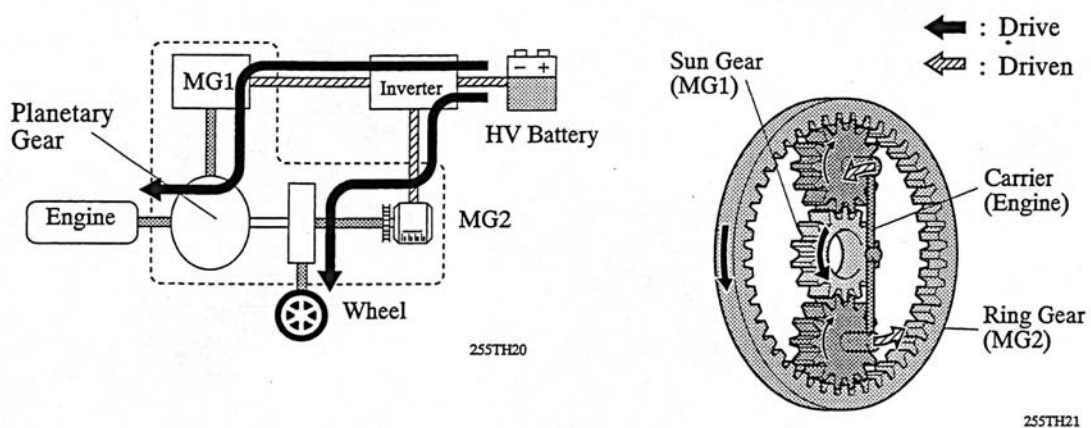




Kuva 22 Sähkömoottorilla ajettaessa /32/

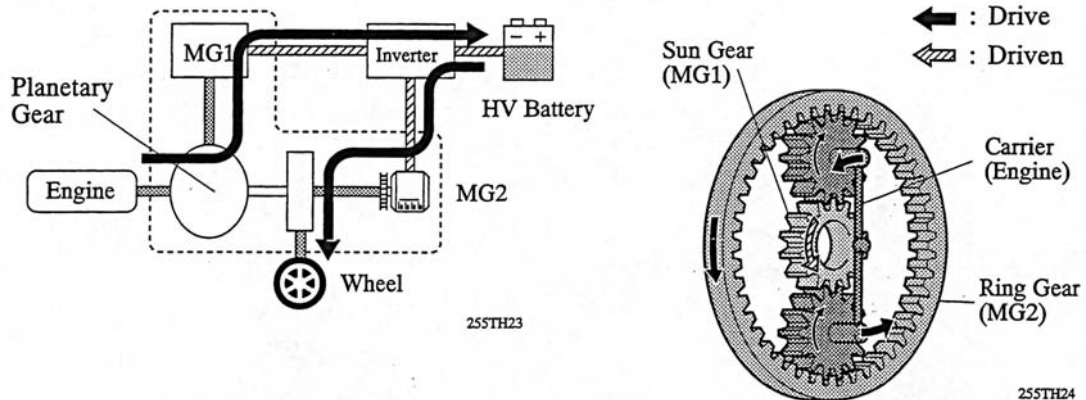
#### 5.4 Polttomoottorin käynnistys ajon aikana /1/

Jos sähkömoottorilla ajettaessa tarvitaan enemmän tehoa esimerkiksi nopeassa kiihdytyksessä, generaattori käynnistää polttomoottorin. Näin tapahtuu myös jos jokin tarkkailtavista arvoista, esimerkiksi akun varaustila, poikkeaa järjestelmän määritellyistä arvoista (kuva 23).



Kuva 23 Polttomoottorin käynnistys /1/

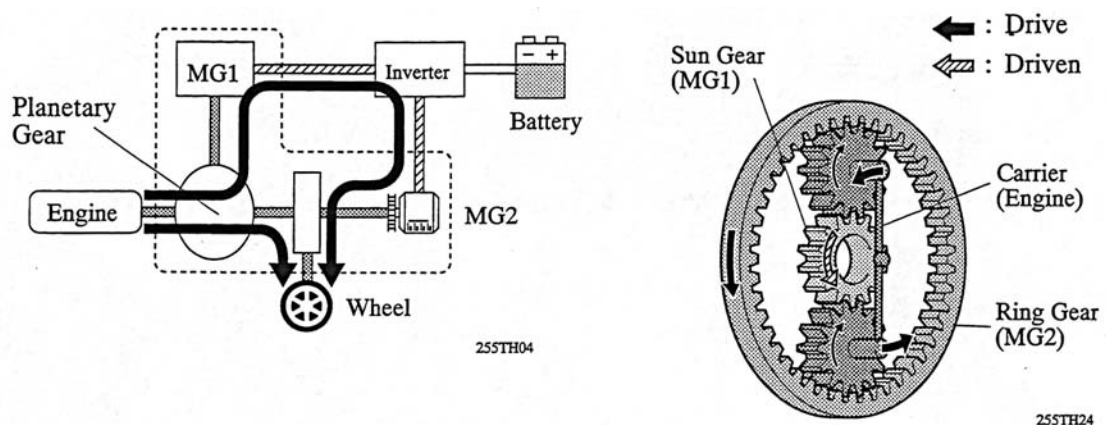
Kuvassa 24 generaattori lataa akkuja.



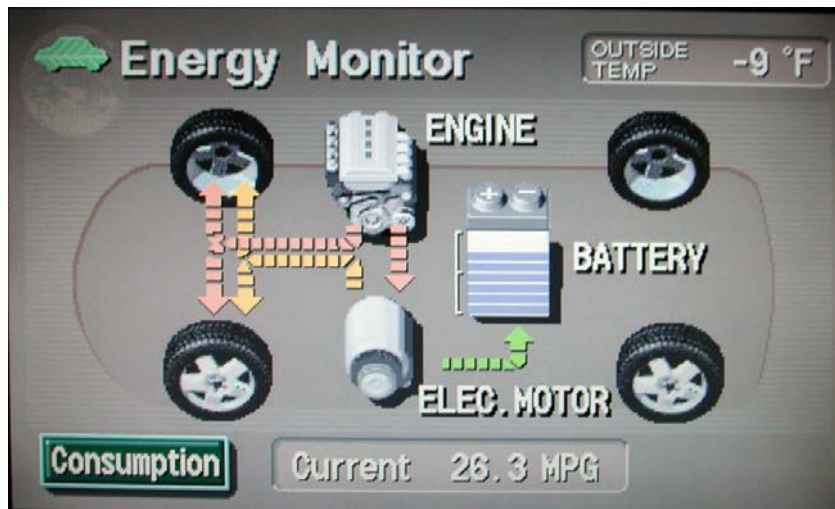
**Kuva 24** Generaattori lataa akkuja ajettaessa sähkömoottorilla /1/

### 5.5 Kevyt kiihdytys polttomoottorilla /1/

Kiihdytettäessä autoa kevyesti polttomoottorilla, planeettapyörästä jakaa osan tehosta suoraan vetäviin pyöriin ja osalla tuotetaan sähköä generaattorin avulla. Tuotettava sähköteho siirretään sähkömoottorille käytettäväksi auton liikuttamiseen invertterin kautta (Kuvat 25 ja 26).



**Kuva 25** Polttomoottorin teho jaetaan /1/



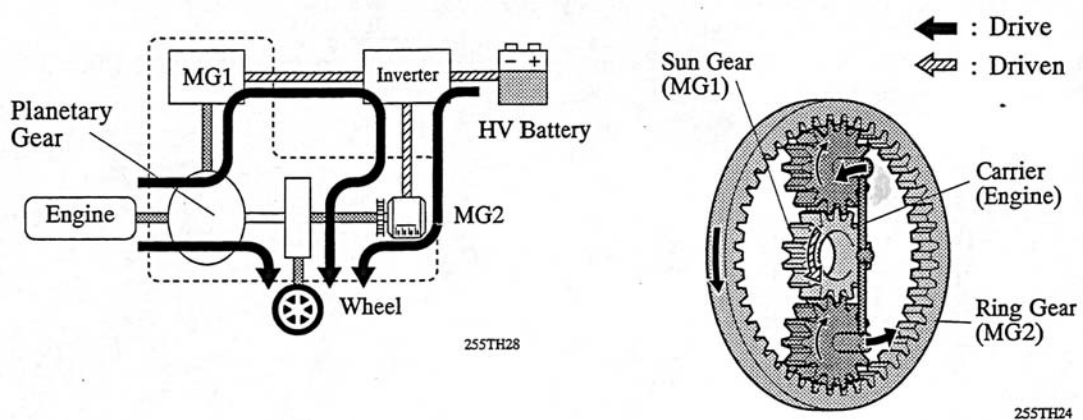
Kuva 26 Kevyt kiihdytys /32/

## 5.6 Ajo kevyellä kuormituksella /1/

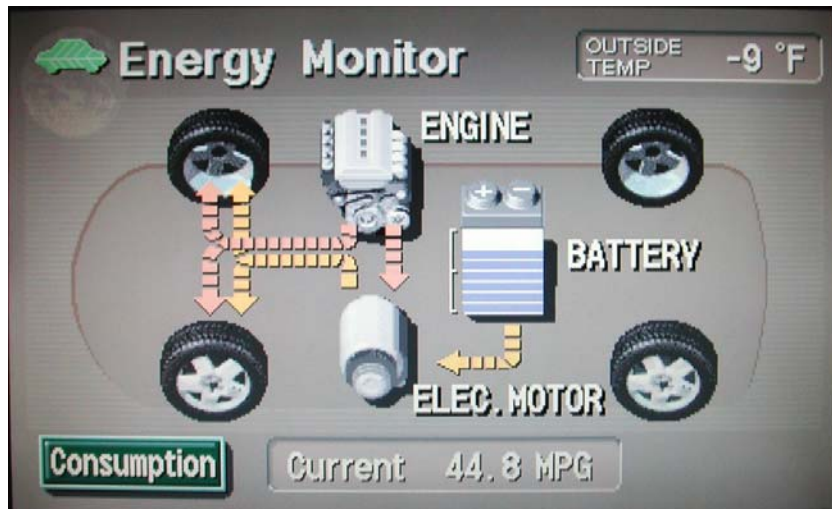
Ajettaessa autoa kevyellä kuormituksella polttomoottorin teho jaetaan planeettapyörästäöllä samaan tapaan kuin edellisessä kohdassa.

## 5.7 Kiihdytys täydellä kaasulla /1/

Täyskaasukiihdytyksessä sähkömoottori käyttää sekä generaattorin tuottamaa sähköä että akun sähköä (kuvat 28 ja 28). Akkuja ei ladata kiihdytyksen aikana



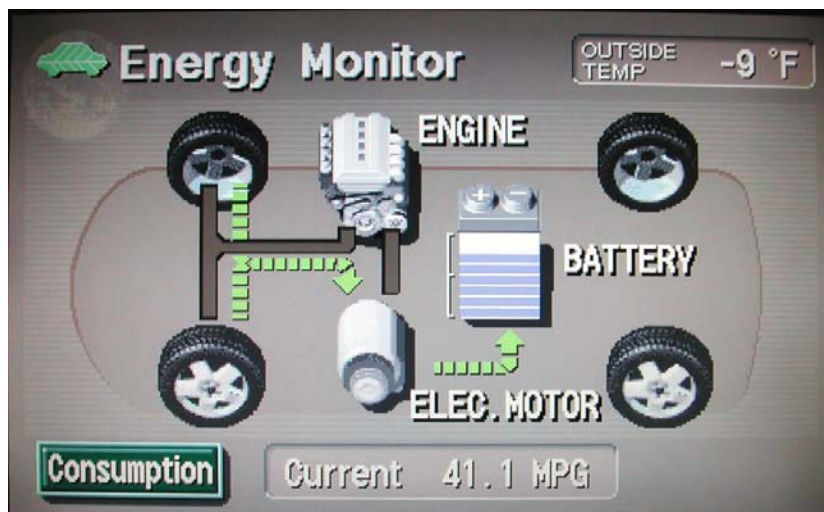
Kuva 27 Täyskaasukiihdytys /1/



Kuva 28 Täyskaasukiihdytys /32/

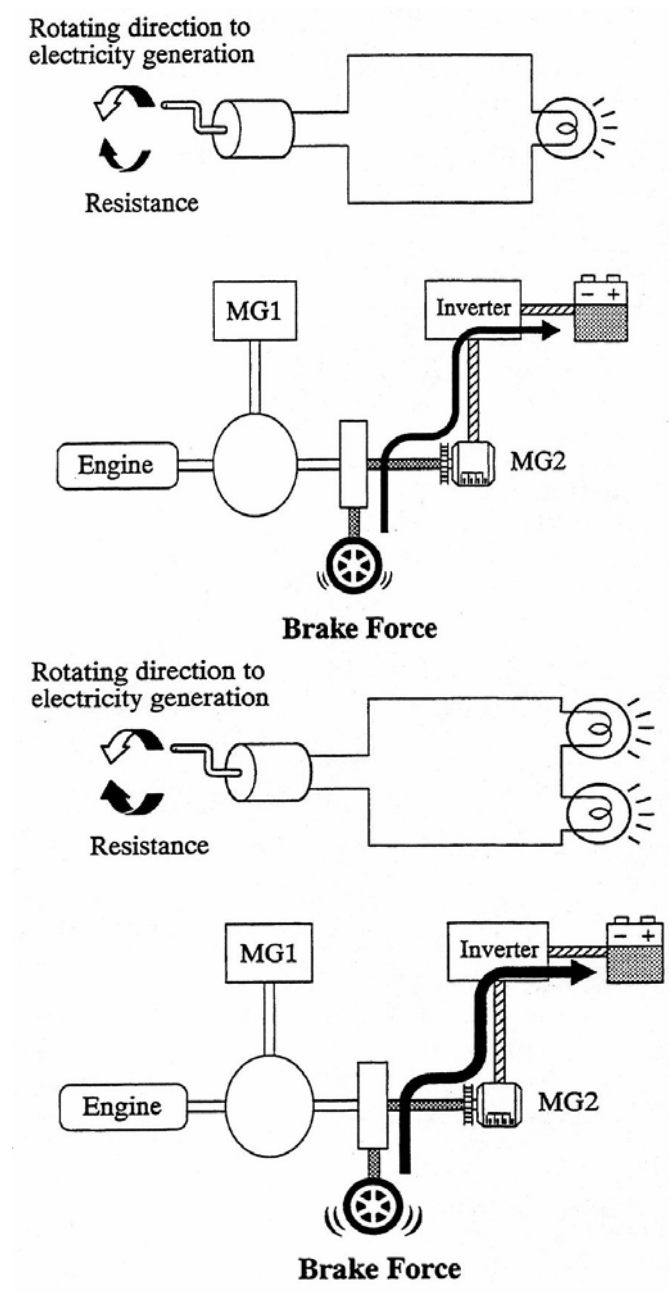
## 5.8 Jarrutus /1/

Vaihteenvalitsimen ollessa D-asennossa ja vauhdin hidastuessa polttomoottori pysähtyy ja sähkömoottori toimii generaattorina ladataen akkuja (kuva 29).



Kuva 29 Jarrutus /32/

Sähkömoottoria käytetään generaattorina ja sähköenergia varastoidaan akkuun. Samalla tämä toiminto hyödyntää sähkömoottorin sähkötuotannon seurauksena syntyvää pyörimisvastusta jarruttavana voimana (kuva 30). Mitä suurempi on syntyvä virta, sitä suurempi on vastustava teho (kuva 31).

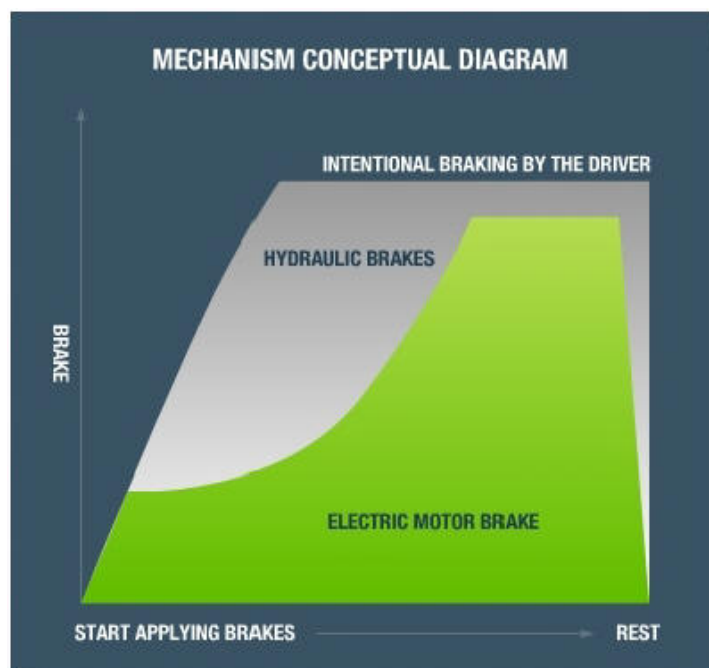


Kuvat 30 ja 31 Jarrutettaessa sähkömoottori toimii generaattorina /1/

Vetävä akseli ja sähkömoottori on kytketty mekaanisesti toisiinsa. Sähkömoottorin toimiessa generaattorina se jarruttaa autoa. Tätä jarrutustehoa säätelee hybridijärjestelmän ohjausjärjestelmä.

Jarruvoimien jako hydraulisen jarrujärjestelmän ja sähkömoottorilla tapahtuvan jarrutuksen välillä vaihtelee riippuen auton nopeudesta ja jarrutusajasta. Jako toteutetaan hydraulisen jarrujärjestelmän avulla niin, että hydraulisen ja sähkömoottorilla tapahtuvan jarrutuksen kokonaisjarruvoima vastaa tarvittavaa jarruvoimaa (kuva 32).

Mikäli sähkömoottorilla tapahtuva jarrutus ei järjestelmän häiriön vuoksi toimi, jarrujärjestelmä muuttaa ohjausta siten, että koko jarruvoima saadaan hydraulisesta jarrujärjestelmästä. Normaalisti hidastaminen tapahtuu sähkömoottorilla. Jarrutuksen loppuvaiheessa tehtävä siirtyy pyöräjarruille.

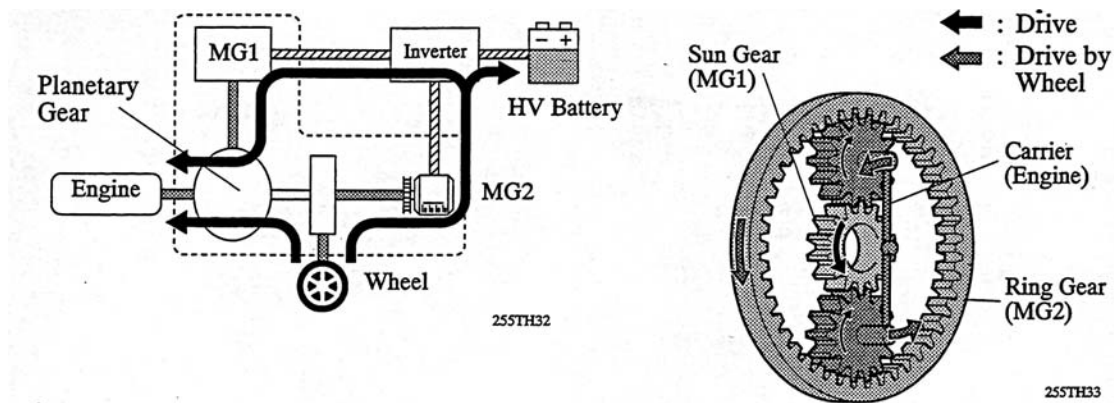


**Kuva 32** Jarruvoimien jako /29/

Auton jarruttaessa suuresta nopeudesta polttomoottori ei pysähdy välittömästi, vaan jää käyntiin määrätyllä nopeudella. Se pysäytetään kun veden lämpötila, akun varaustila ja lämpötila sekä sähköisen kuormituksen olosuhteet ovat oikeat.



Jarrutettaessa vaihteenvälitsin B-asennossa järjestelmä toimii samaan tapaan kuin edellisessä kohdassa. Lisäksi sähkömoottori syöttää sähkövirtaa generaattorille, joka näin ylläpitää polttomoottorin pyörintänopeutta ja aikaansaa moottorijarrutuksen. Tässä vaiheessa polttoaineensyöttö moottorille on katkaistuna (kuva 33).

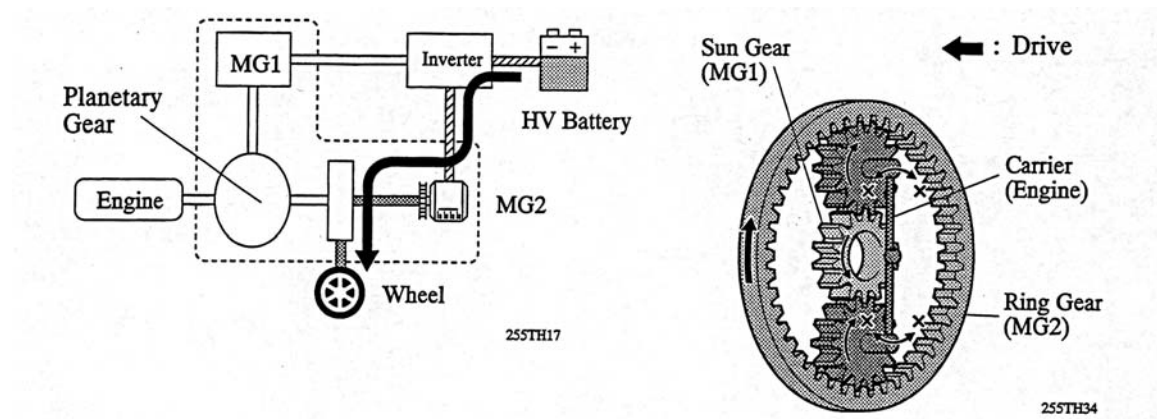


**Kuva 33** Jarrutettaessa myös polttomoottori jarruttaa/1/

Mikäli kuljettaja auton vauhdin hidastuessa painaa jarrupoljinta, virran talteenottoa lisätään vaaditun jarrutusvoiman saavuttamiseksi.

## 5.9 Peruutus /1/

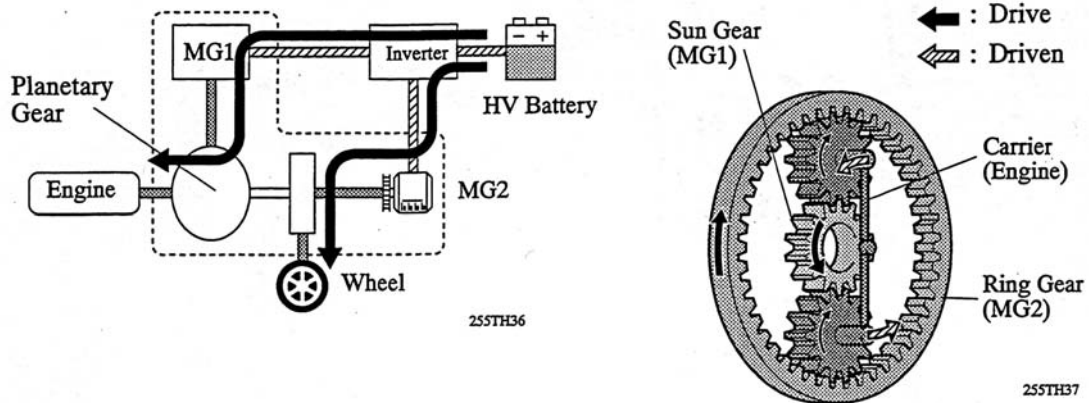
Peruutettaessa auto kulkee pelkästään sähkömoottorilla. Tässä vaiheessa sähkömoottori pyörii vastakkaiseen suuntaan, polttomoottori pysyy pysähdyksissä ja generaattori pyörii normaaliin suuntaan tuottamatta sähkövirtaa (kuva 34).



**Kuva 34** Peruutus tapahtuu sähkömoottorilla /1/

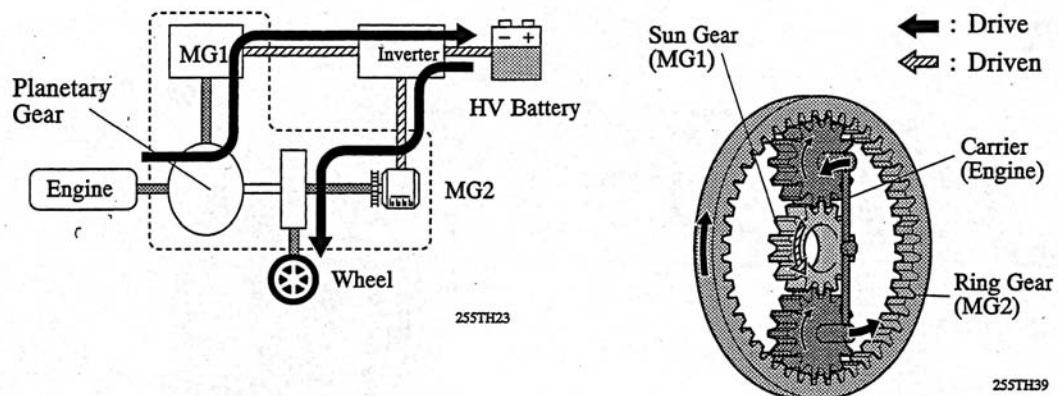


Polttomoottori voi käynnistyä myös peruutettaessa, jos jokin määritellyistä arvoista poikkeaa normaalista (kuva 35).



**Kuva 35** Generaattori käynnistää polttomoottorin /1/

Polttomoottori pyörittää generaattoria joka lataa akkua. (kuva 36).



**Kuva 36** Generaattori lataa akkua /1/

Ajon jälkeen auton pysähtyttyä ja valitsimen ollessa P-asennossa polttomoottoria käytetään jonkin aikaa. Se pysäytetään kun veden lämpötila, akun varaustila ja lämpötila sekä sähköisen kuormituksen olosuhteet ovat oikeat. Tällöin polttomoottori, sähkömoottori ja generaattori pysähtyvät.

## 6 YHTEENVETO

Päästömääräysten kiristyessä vähemmän kuluttavat ja saastuttavat autotekniikat tulevat lisääntymään lähitulevaisuudessa. Hybriditekniikkaan perustuvien autojen päästöt ja kulutus ovat pienempiä kuin perinteiseen polttomoottoritekniikkaan perustuvien autojen. Hybridiautojen myynti tulee varmuudella lisääntymään lähivuosina, sillä polttoaineen hintojen nousu sekä verotuksen määräytyminen päästöjen mukaan tekevät hybridiautojen käytöstä edullisempaa kuin polttomoottoriautojen. Autoverotuksen muutos vuoden 2008 alusta pudotti vähemmän kuluttavien autojen hintoja merkittävästi. Esimerkiksi Priuksen hinta laski lähes 8000€, ollen nyt hieman alle 30 000€.

Toyota ja Honda ovat olleet edelläkävijöitä hybridiautoissa. Viime vuosina useat muut valmistajat ovat kuitenkin esitelleet konseptimallejaan ja hybriditekniikka kehittyä jatkuvasti. Eri valmistajilta on tulossa useita uusia hybridimalleja markkinoille muutaman vuoden sisällä. Monissa konseptimalleissa polttomoottorina käytetään diesel-moottoria, joka pienentää kulutusta edelleen.

Hybriditekniikka ymmärretään yleensä vain polttomoottorin ja sähkömoottorin yhdistelmäksi, mutta polttomoottorin tilalla voi tulevaisuudessa olla polttokenno. Akkujen lataaminen sähköverkosta tulee yleistymään lähitulevaisuudessa. Näin lyhyet matkat voidaan ajaa ladatulla akulla eikä polttomoottoria tarvitse käynnistää lainkaan.

Yleisin akkutyyppeillä tällä hetkellä on nikkelimetallihybridiaakku (NiMH). Muutaman vuoden kuluessa se korvautuu litiumioniakulla (LiIon). Tällä hetkellä litiumioniakkujen ongelmana on ylikuumeneminen. Myös superkondensaattoreiden käyttö tulee lisääntymään tietyissä sovelluksissa. Niiden etuina akkuihin verrattuna on pieni koko.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää autojen hybriditekniikkaa keskittyen Toyotan Prius-malliin. Rajausta tehtiin siitä syystä, että eri valmistajien hybriditekniikat eroavat toisistaan ja työstä olisi tullut näin huomattavasti laajempi.

Tulevaisuudessa työtä voi jatkaa esittelemällä laajemmin muita hybriditekniikoita ja tekniikan yhä kehittyessä päivittämällä työssä olevia tietoja.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet

- 1 Toyota Auto Finland, Toyota Prius, New Car Features, osa 1. 2003. 185 s.
- 2 Merilinna Martti, Autonne, herra ympäristöministeri. Tekniikan Maailma 15/2003, Yhtyneet Kuvalehdet., s. 46-47
- 3 Ahonen Hannu, Vihreämpää autoilua. Tekniikan Maailma 20/2003, Yhtyneet Kuvalehdet, s. 30-35
- 4 Ahonen Hannu, Sanoista tekoihin. Tekniikan Maailma 6/2004, Yhtyneet Kuvalehdet., s. 154-157
- 5 Aromaa Pekka ja Ahonen Hannu, Matka uuden tekniikan voimin. Tekniikan Maailma 20/2005, Yhtyneet Kuvalehdet., s. 70-81
- 6 Ahonen Hannu, Prius ja haastaja. Tekniikan Maailma 13/2006, Yhtyneet Kuvalehdet., s. 136-141

### Sähköiset lähteet

- 7 Vähäpäästöiset ajoneuvot Helsingissä. Saatavissa: [www.hel.fi/wps/wcm/resources](http://www.hel.fi/wps/wcm/resources)
- 8 Kunnan toimialojen mahdollisuudet liikenteen kasvihuonepäästöjen hallintaan. Saatavissa: [www.tut.fi/liku/ilma](http://www.tut.fi/liku/ilma)
- 9 Vaihtoehtoiset polttoaineet ja ajoneuvot. Saatavissa: [www.motiva.fi](http://www.motiva.fi)
- 10 Superkondensaattori iskee moneen sovellukseen. Saatavissa: [www.paivalehdenarkistosaatio.fi/arkisto/artikkelit](http://www.paivalehdenarkistosaatio.fi/arkisto/artikkelit)
- 11 Superkondensaattori. Saatavissa: [fi.wikipedia.org/wiki/Superkondensaattori](http://fi.wikipedia.org/wiki/Superkondensaattori)
- 12 Jarrutusenergia talteen superkondensaattorilla. Saatavissa: [www.tekes.fi](http://www.tekes.fi)
- 13 Prius Education, Saatavissa: <http://john1701a.com>
- 14 Atkinson cycle. Saatavissa: [www.answers.com/topic/atkinson-cycle](http://www.answers.com/topic/atkinson-cycle)
- 15 Koiviston Auto kehittää omaa hybridibussia. Saatavissa: [www.tekniikkatalous.fi/rakennus](http://www.tekniikkatalous.fi/rakennus)
- 16 Prius. Saatavissa: [www.rits.net.au/prius](http://www.rits.net.au/prius)
- 17 Toyota Prius II Battery Pack. Saatavissa: [www.cleangreencar.co.nz/page/prius-battery-pack](http://www.cleangreencar.co.nz/page/prius-battery-pack)
- 18 Test Drive: 2004 Toyota Prius. Saatavissa: [www.canadiandriver.com/testdrives/04prius](http://www.canadiandriver.com/testdrives/04prius)
- 19 Aid for the Auto Industry. Saatavissa: [www.ornl.gov/info/ornlreview](http://www.ornl.gov/info/ornlreview)
- 20 2004 Toyota Prius Road Test. Saatavissa: [www.familycar.com/RoadTests/ToyotaPrius](http://www.familycar.com/RoadTests/ToyotaPrius)

- 21 Toyota Prius Technical Information. Saatavissa:  
[www.cleangreencar.co.nz/page/prius-technical-info](http://www.cleangreencar.co.nz/page/prius-technical-info)
- 22 Hybridien jaottelu. Saatavissa: [www.tuulilasi.fi/tekniikka](http://www.tuulilasi.fi/tekniikka)
- 23 Future motoring. Saatavissa: [www.imperialoil.ca/Canada-English/ThisIs/Publications/2001q1/440motoring](http://www.imperialoil.ca/Canada-English/ThisIs/Publications/2001q1/440motoring)
- 24 Happy Birthday Hybrid. Saatavissa:  
[www.fahrtipps.de/news/toyota-prius](http://www.fahrtipps.de/news/toyota-prius)
- 25 Prius introduction. Saatavissa: [www.myprius.co.za/introduction](http://www.myprius.co.za/introduction)
- 26 Second generation Prius. Saatavissa:  
[www.artsautomotive.com/PriusEngineBrake](http://www.artsautomotive.com/PriusEngineBrake)
- 27 Honda Civic Hybrid. Saatavissa: [www.autozone.be/auto/fiches-voitures-neuves-v12-5304/voitures-neuves-honda-civic-hybrid](http://www.autozone.be/auto/fiches-voitures-neuves-v12-5304/voitures-neuves-honda-civic-hybrid)
- 28 Atkinson cycle versus Miller cycle engine. Saatavissa:  
[www.john2211.nl/Hybride\\_motor](http://www.john2211.nl/Hybride_motor)
- 29 Hybrid Vehicle. Saatavissa: <http://privatenrg.com>
- 30 The tidy hybrid package. Saatavissa: [alternativefuels.about.com](http://alternativefuels.about.com)
- 31 Hybrid-Batterie. Saatavissa: [www.priuswiki.de/wiki/Hybrid-Batterie](http://www.priuswiki.de/wiki/Hybrid-Batterie)
- 32 Prius – how it works. Saatavissa:  
<http://john1701a.com/prius/prius-how>