



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Hybridivoimansiirtojärjestelmät raskaissa ajoneuvoissa ja työkoneissa

Tommi Huhtala

KONETEKNIikka TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Helmikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Hybridivoimansiirtojärjestelmät raskaissa ajoneuvoissa ja työkoneissa

Tommi Huhtala

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2022, 31 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Miro-Tommi Tuutijärvi

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on perehtyä laaja-alaisesti raskaiden ajoneuvojen ja työkoneiden hybridijärjestelmiin. Työn tarkoituksena on avata lukijalle hybridijärjestelmiin liittyvää termistöä ja jaottelua työkoneiden näkökulmasta. Lisäksi työssä pyritään tarjoamaan esimerkkejä kaikista työssä mainittavista hybridijärjestelmistä.

Hybridivoimanlähteitä tutkittiin kirjallisuuskatsauksilla ja lähdemateriaalina käytettiin kirja-, ja verkkolähteitä. Kirjallisuuden ja verkkolähteiden avulla hybridivoimansiirtojärjestelmiin liittyvää termistöä ja jaottelutapaa koottiin yhteen, keskittyen eritoten raskaiden ajoneuvojen ja työkoneiden hybridiratkaisuihin. Tutkimuksessa havaitaan työkoneisiin ja raskaisiin ajoneuvoihin liittyvien hybridiratkaisujen jaottelun olevan monimutkaista, sillä hybridivoimalähde antaa useita erilaisia mahdollisuuksia voimansiirron suunnitteluun. Hybridivoimanlähteitä vertailtiin toisiinsa ja vertailua tehtiin myös hybridikoneen ja vastaavan polttomoottoriajoneuvon välillä. Tämä kandidaatintyö on laaja katsaus erilaisista hybridivoimansiirtojärjestelmistä raskaissa ajoneuvoissa ja työkoneissa kuitenkin perehtymättä kovin syvällisesti tiettyyn järjestelmään.

Asiasanat: Sähköhybridi, hydraulikkahybridi, hybridivoimansiirto

ABSTRACT

Hybrid drivetrain systems for heavy vehicles and machinery

Tommi Huhtala

University of Oulu, Bachelor of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2022, 31 pp.

Supervisor(s) at the university: Miro-Tommi Tuutijärvi

The aim of this bachelor's thesis is to research hybrid drivetrain systems for heavy vehicles and work machines. This thesis helps reader to understand the terminology and division related to hybrid systems from the perspective of work machines. In addition, the work aims to provide examples of all the hybrid drivetrain systems mentioned in the work.

This thesis is about hybrid drivetrain systems for heavy vehicles and machinery it was performed as literature review. Research gathers online sources, articles and magazine. Information in them is summarized to text, images and table. In this thesis, we can notice that classification of hybrid drivetrain systems for heavy vehicles is complicated because of the sheer amount of opportunities to place the components of powertrain. Hybrid drivetrain systems were compared to each other. Comparison was also made with vehicle that had hybrid drivetrain system and its counterpart that only had a combustion engine. This thesis is an extensive overview of various hybrid drivetrain systems for heavy vehicles and machinery without trying to focus only on one system.

Keywords: electric hybrid, hydraulic hybrid, hybrid drivetrain

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	7
2 Energian varastointi- ja uudelleenkäyttöjärjestelmät	8
2.1 Sähköhybridit	8
2.1.1 Hybridiasteet	8
2.1.2 Sarjahybridit	10
2.1.3 Rinnakkaishybridi	12
2.1.4 Yhdistelmähybridi	14
2.2 Hydrauliikkahybridit	16
2.2.1 Sarjahydrauliikkahybridi	17
2.2.2 Rinnakkaishydrauliikkahybridi	19
2.3 Energian varastointi	22
2.3.1 Sähkökemialliset akut	23
2.3.2 Superkondensaattorit	24
3 Pohdinta.....	26
3.1 Vertailua sähkö- ja hydrauliikkahybridin välillä.....	26
3.2 Kustannusarviointia hybridi- ja polttomoottoriajoneuvojen välillä	27
4 Yhteenveto	28
5 Lähdeluettelo	29

MERKINNÄT JA LYHENTEET

V	Jännitteen SI-järjestelmän yksikkö Voltti
EREV	Lyhenne englannin kielestä Extended Range Electric Vehicle
PHEV	Lyhenne englannin kielestä Plug-in Hybrid Electric Vehicle
HEV	Lyhenne englannin kielestä Hybrid Electric Vehicle
MHEV	Lyhenne englannin kielestä Mild Hybrid Electric Vehicle
mHEV	Lyhenne englannin kielestä Micro Hybrid Electric Vehicle

1 JOHDANTO

Energian kallistumisen ja ympäristösyiden johdosta ajoneuvo- ja työkoneteknologia on edistynyt viime vuosikymmeninä vauhdilla. Ekologisen ajattelun ja kiristyneiden päästörajojen vuoksi ajoneuvojen käyttäjät ja valmistajat ovat alkaneet kiinnittää enemmän huomiota ajoneuvojen polttoainetaloudellisuuteen sekä päästöjen minimointiin.

Edellä mainittujen syiden johdosta hybridivoimansiirtojärjestelmät ovat ottaneet valtaa ajoneuvomarkkinoilla perinteisten polttomoottorien kustannuksella. Hybridijärjestelmät alkoivat yleistyä noin 20 vuotta sitten autotekniikassa, ja sieltä ne ovat edelleen levinneet raskaisiin ajoneuvoihin ja työkoneisiin. Tämä on merkittävä siirtymä, sillä nyt ajoneuvoista johtuvia päästöjä voidaan vähentää kohdennetummin tieliikenteen raskaissa kulkuneuvoissa, joita ovat esimerkiksi raskaat ajoneuvoyhdistelmät ja linja-autot. Tämän lisäksi päästövähennyksiä voidaan tehdä työkoneissa, kuten maa- ja metsätalouden kulkuneuvoissa, sekä raskaissa tehdasajoneuvoissa (Hietalahti, 2011)

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä hybridivoimansiirtojärjestelmiin raskaissa ajoneuvoissa ja työkoneissa. Työssä esitellään erilaisia energian varastointiin ja uudelleenkäyttöön liittyviä järjestelmiä. Tarkastellaan erilaisia hybridiasteita, joita esiintyy raskaissa ajoneuvoissa ja työkoneissa. Tavoitteena on myös vertailla hybridijärjestelmien hyötyjä ja haasteita perinteiseen polttomoottorilla toimivaan raskaaseen ajoneuvoon verrattuna. Lisäksi työssä käydään läpi konkreettisia esimerkkejä erilaisista työkoneista ja raskaista ajoneuvoista, jotka hyödyntävät hybriditekniologiaa.

2 ENERGIAN VARASTOINTI- JA UUELLEENKÄYTTÖJÄRJESTELMÄT

Tässä kappaleessa perehdytään sähkö- ja hydrauliiikkahybrideihin ja tutkitaan mitä eroa näillä hybridityypeillä on, sekä miten rinnakkais- ja sarjahybridit eroavat toisistaan. Pääpaino on kuitenkin sähköhybrideillä, sillä kyseinen teknologia on huomattavasti yleisempää raskaissa ajoneuvoissa ja työkoneissa verrattuna hydrauliiikkahybrideihin. Pneumaattisia hybridejä on myös kehitetty, mutta niistä on tämän työn kirjoitushetkellä hyvin vähän tietoa. Tästä syystä tässä työssä ei paneuduta niihin. Yhteistä kaikilla hybridityypeillä kuitenkin on hidastusenergian varastoiminen, kahden tai useamman voimanlähteen käyttäminen ja energian uudelleen käyttäminen työvoimana.

2.1 Sähköhybridit

Tässä osiossa tutustutaan tarkemmin sähköhybrideihin ja tarjotaan erilaisia esimerkkejä sähköhybridien käytöstä raskaassa ajoneuvotekniikassa. Sähköhybridit koostuvat polttomoottorista ja yhdestä tai useammasta sähkömoottorista. Usein miten polttomoottorin voimanlähteenä toimii diesel. Hybridivoimanlähteitä voidaan jaotella hybridiasteen ja hybridikokoonpanon mukaan.

2.1.1 Hybridiasteet

Mikrohybrideiden (mHEV, micro Hybrid Electric Vehicle) parempi polttoainetaloudellisuus perustuu siihen, että polttomoottori voidaan sammuttaa silloin kun ajoneuvo on paikallaan, esimerkiksi liikennevaloissa. Mikrohybrideissä sähköjärjestelmän tuottama polttoainetehokkuus on 2–4 % ja sähköjärjestelmää käytetään pääasiassa start-stop-järjestelmissä. Start-stop-automatiikka on usein toteutettu normaalia tehokkaammalla ajoneuvon laturilla, joka pystyy käynnistämään polttomoottorin lähes välittömästi. Mikrohybridi on myös helppo toteuttaa sen yksinkertaisen rakenteen ja halvan hinnan takia. Mikrohybrideistä seuraava askel on kevythybridi (MHEV), joka pystyy mikrohybridin ominaisuuksien lisäksi tarjoamaan rajoitetusti avustavaa voimantuottoa polttomoottorille ja hybridijärjestelmän akkua voidaan ladata jarrutusten aikana. Polttomoottoria on avustamassa kiihdytyksissä ja liikkeelle lähdössä, jonka avulla tästä järjestelmästä saatava hyöty on noin 10 %. Mikro- ja kevythybridejä erottaa myös niiden järjestelmien vaatima jännite. Mikrohybridien vaatima jännite on normaalin auton

akun verran, eli 12 V. Kevythybridi vaatii selvästi suuremman jännitteen, yli 48 V. Tästä syystä kevythybridillä on oltava erillinen akku. Mikro- ja kevythybrideillä ei voi ajaa pelkän sähköjärjestelmän tuottaman tehon avulla. Ne ovat kuitenkin hyviä ratkaisuja ajoneuvoihin, joissa ei ole tilaa suurelle akustolle. Akuston koon kasvattaminen voi pahimmassa tapauksessa tehdä hybridistä paremman saastuttajan kuin mitä pelkällä polttomoottorilla varustettu ajoneuvo olisi. Tämä johtuu akuston ja moottorin tuomasta lisäpainosta. Lisäksi ne ovat halvempia valmistaa kuin ylemmän asteen hybridit.

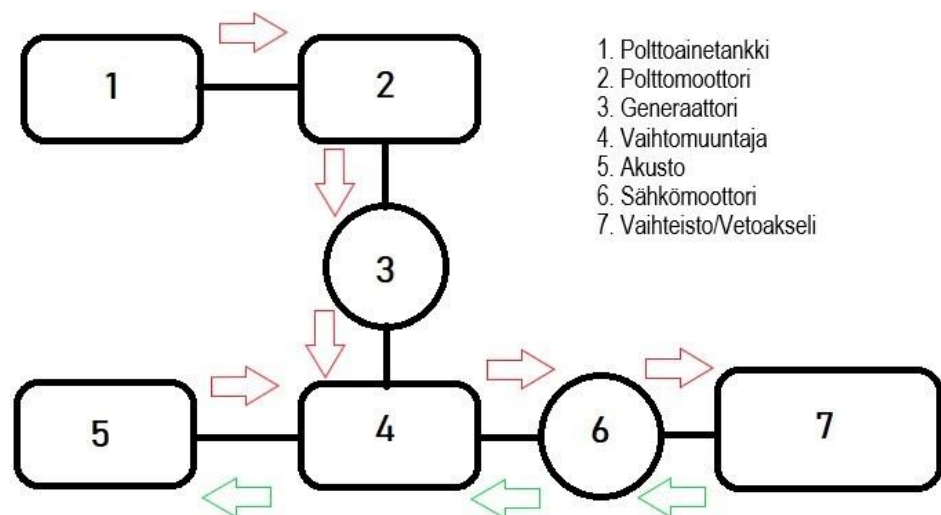
Täyshybridillä (FHEV) on mahdollista ajaa pelkän sähköjärjestelmän avulla, vaikkakin hyvin rajoitetusti. Tämä on suurin ero kevythybridin ja täyshybridin välillä. Lisäksi täyshybridillä on parempi polttomoottorin avustuskyky ja jarrutusenergian talteenottokyky. Ajoneuvossa olevat suuremmat akustot ja voimakkaampi sähkömoottori auttavat pienentämään polttomoottorin vaadittua kokoa, jolloin täyshybridin sähköjärjestelmästä saatava polttoainetehokkuushyöty on noin 20–35 %. Täyshybridistä korkeamman sähkökäyttöasteen hybridejä ovat Plug-in hybridi (PHEV) ja pidennetyn kantaman hybridi (EREV). Näillä on paljon suurempi ja voimakkaampi akusto. Niissä on myös suuremmat sähkömoottorit avustamassa bensiinimoottoria voimakkaissa kiihdytyksissä (Wu ym.,2015).

Plug-in Hybridillä voi ajaa kohtuullisen pitkiäkin matkoja pelkällä sähköllä. BMW 530e henkilöautolla voi matkustaa jopa 52 km pelkällä sähköllä, mutta vain taajama-ajossa, jossa nopeudet eivät kasva suuriksi ja kiihdytykset ovat maltillisia. (Oy BMW Suomi Ab, 2021). Lisäksi niitä pystyy lataamaan myös silloin, kun ne eivät ole ajossa. Polttomoottori on silti Plug-in hybrideissä päävoimanlähde ajoneuville, sillä PHEV vaatii polttomoottorin tehoa suurissa nopeuksissa, kiihdytyksissä tai kun ajoneuvo ajetaan mäkeä ylöspäin. PHEV sähköjärjestelmästä saatava hyöty on 50–60 %.

EREV pystyy kulkemaan pelkällä sähköllä koko ajan. Polttomoottori toimii ajoneuvossa generaattorina, joka lataa ajoneuvon akustoa. Akustosta energia ohjataan sähkömoottorille, joka pyörittää ajoneuvon vetoakselia. EREV:ssä sähköjärjestelmä ei avusta polttomoottoria, kuten kaikissa muissa hybrideissä, vaan kaikki teho tulee sähkömoottorilta ja saatava hyötyteho on yli 60 % (Wu ym.,2015).

2.1.2 Sarjahybridit

Tässä voimansiirtorakenteessa polttomoottorilta (IC-Engine) saatava pyörimisenergia muunnetaan sähköenergiaksi generaattorin avulla. Generaattori (Generator) on kiinnitettyinä polttomoottorin kiinteään akseliin. Tällöin mekaaninen energia muuntuu sähköenergiaksi, joka kulkeutuu vaihtosuuntaajalle (Power Converter). Vaihtosuuntaajalta energia voidaan viedä joko akustolle (Battery), tai sähkömoottorille (Electric motor). Sähkömoottori on siis yksinään ainut voimanlähde, joka välittää vedon vaihteistolle (Transmission) ja sieltä vetäville pyörille. Sähkömoottoria voidaan myös käyttää generaattorin tavoin, jolloin ajoneuvon jarruttaessa energiaa voidaan ottaa talteen. (Hietalahti, 2011)



Kuva 1 rakennekuva sarjasähköhybridistä (mukaiillen Hietalahti, 2021)

Sarjahybridin etuja verrattuna rinnakkaishybridiin on mahdollisuus säätää polttomoottorin pyörimisnopeus optimaaliselle hyötysuhdealueelle, koska moottorin pyörimisnopeus ei ole riippuvainen vetävien pyörien pyörimisnopeudesta. Tämä on pääsyy sille, miksi sarjahybridi on taloudellisempi kuin pelkällä polttomoottorilla varustettu ajoneuvo. Sarjahybridin ohjaaminen on myös helppoa, koska vetävänä koneena toimii ainoastaan sähkömoottori. Tämä mahdollistaa siis napamoottoreiden käytön, jolloin tilaa vievä vetoakseli voidaan unohtaa. Rakenteen heikkoutena voidaan pitää energian monivaiheista muuntamista ensin mekaanisesta energiasta generaattorin kautta sähköenergiaksi, josta sähkömoottori muuttaa saman energian taas mekaaniseksi

energiaksi. Energian muuttaminen muodosta toiseen heikentää kokonaishyötysuhdetta. Lisäksi rakenne on painava ja tilaa vievä, koska rakenne vaatii kolme voimakonetta: generaattorin, sähkömoottorin ja polttomoottorin.

Sarjahybridivoimansiirtoa käytetään lähinnä raskaissa työkoneissa, sotilaskulkuneuvoissa ja kaupunki linja-autoissa sen tilaa vievän rakenteen takia. Sarjahybridi on optimaalinen ajoon, jossa kuormitusyksi on hyvin vaihtelevaa ja se sisältää paljon jarrutusenergian talteenottoa. Tämän kaltaista ajoa on esimerkiksi pyöräkuormaajalla, joka ajaa maata tehdas- tai kaivosalueella. Pitkään kestävässä tasaisessa kuormituksessa sarjahybridin hyödyt vähenevät merkittävästi. Hyödyt voivat jopa huonontua polttomoottoriajoneuvoon verrattuna useiden energiamuunnoksien takia. (Hietalahti, 2011)

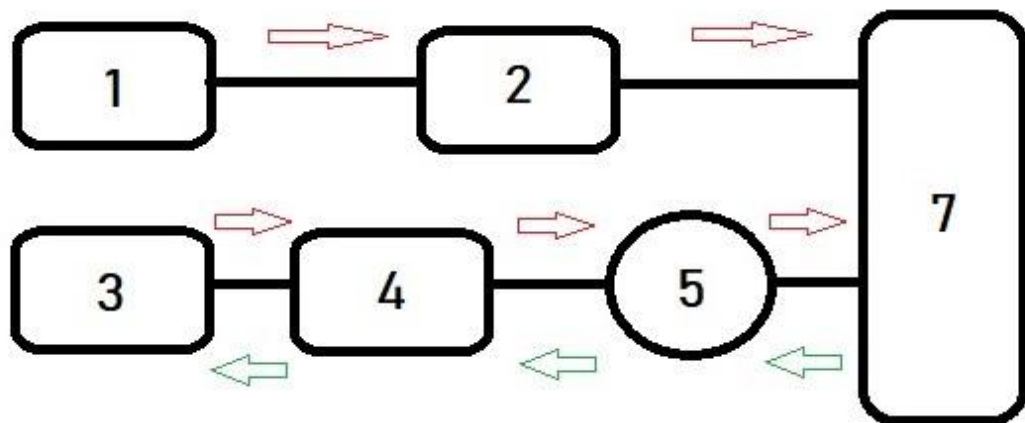
Kuvassa 2 on esitetty sarjasähköhybriditekniikkaa hyödyntävä pyöräkuormaaja. Kyseessä on John Deeren valmistama 944K Hybrid. Hybridiasteeltansa tämä kyseinen työkone on pidennetyn kantaman hybridi (EREV), sillä polttomoottori pyörittää generaattoria muuttaen mekaanisen energian sähköenergiaksi. Generaattorilta sähköenergia ohjataan sähkömoottoreille, joita on neljässä pyörän navassa yksi kappale. Polttomoottori ajaa pyöräkuormaajan hydraulikkaa (John Deere, 2015)



Kuva 2 John Deere 944K Hybrid (Anon, 2020)

2.1.3 Rinnakkaishybridi

Kuvassa 3 on esitetty rinnakkaishybridin toimintaperiaate. Tässä rakenteessa polttomoottori ja sähkömoottori on sijoitettu rinnakkain tuottamaan mekaanista tehoa vaihteistolle. Toisin kuin sarjahybridissä, sähkömoottori toimii polttomoottoria avustavana voimanlähteenä. Sähkömoottori osallistuu voimantuottoon kiihdytyksissä, ja jarrutusilanteissa se ottaa talteen energiaa toimien generaattorina.



1. Polttoainetankki 2. Polttomoottori 3. Akusto
4. Vaihtosuuntaaja 5. Sähkömoottori
7. Vaihteisto/Vetoakseli

Kuva 3 havainnekuva rinnakaissähköhybridistä (mukaillen Hietalahti, 2021)

Rinnakkaishybridin etuja sarjahybrideihin verrattuna on vaatimus ainoastaan kahdelle voimakoneelle (polttomoottori ja sähkömoottori). Tämä säästää tilaa ja painoa. Mikäli akustossa on käytössä tarpeeksi energiaa, niin polttomoottori ja sähkömoottori voidaan mitoittaa pienemmiksi, verrattuna saman suorituskyvyn sarjahybridisiin. Tällöin rinnakkaishybridi on polttoainetaloudellisempi polttomoottorin pienemmän kokoluokan takia, verrattuna pelkällä polttomoottorilla varustettuun ajoneuvoon. Tämä tekee rinnakkaishybridiajoneuvoista hyviä pitkän matkan kulkuneuvoja. Polttomoottori tulee mitoittaa maksimiteholle, mutta sähkömoottori voidaan mitoittaa noin puolet maksimitehosta. Tällöin sähkömoottorin koon ei tarvitse olla suuri, kuten sarjahybrideissä. Rinnakkaishybridin haittapuolena on sen mekaaninen kytkentä vaihteistolle, jolloin polttomoottoria ei voida ajaa koko aikaa parhaalla hyötysuhteella.

Rakenteeseen liittyy myös haasteita ohjaamisessa ja sähkömoottorin kytkennässä samalle vetävälle akselille tai vaihteistolle. (Hietalahti, 2011)

Sähkömoottori voidaan sijoittaa usealla eri tavalla rinnakkaishybridirakenteessa. Sähkö- ja polttomoottorin momentti voidaan yhdistää mekaanisella momenttitasajalla. Tällöin sähkömoottori voidaan sijoittaa omalle akselille oman vaihdelaatikon kanssa. Järjestelmässä voi myös olla käytössä vain yksi vaihdelaatikko. Kytkentä on mahdollista toteuttaa myös niin kutsutulla momenttivahvistuksella. Tällaista rakennetta käytetään esimerkiksi kevythybridirakenteissa. Järjestelmässä poltto- ja sähkömoottori on kytketty ”peräkkäin”. Rakenteessa polttomoottorin ja sähkömoottorin momentti ohjataan vain yhdelle vaihteistolle. Poltto- ja sähkömoottori voivat olla molemmat ennen vaihteistoa, jolloin molempien moottoreiden momentti viedään vaihdelaatikkoon, josta se ohjataan voimansiirtojärjestelmään vetoakseleille. Sähkömoottori voidaan asentaa myös vaihteiston jälkeen, jolloin sähkömoottori ohjaa momenttinsa suoraan voimansiirrolle.

Rinnakkaishybridillä voidaan myös toteuttaa nelivetojärjestelmä, jossa sähkömoottorin tuoma momentti ohjataan eri pyörästä, kuin minne polttomoottori tuottaa. Etuna tällaisessa järjestelmässä on, että ajoneuvosta tulee luontaisesti nelivetoinen, mikäli akkukapasiteettia riittää. Rakenteen huono puoli on se, että se vaatii oman voimansiirtojärjestelmän, mikä voi pienissä ajoneuvoissa viedä huomattavasti tilaa muulta hyötykuormalta. (Hietalahti, 2011)

Alla olevassa kuvassa 4 on esitetty Sisu Polar Hybrid 900+ kuorma-auto. Energian varastointiin käytetään kondensaattoreita. Tämä johtuu siitä, että kondensaattoreiden avulla pystytään varastoimaan ja purkamaan energiaa nopeammin, kuin mitä perinteisellä litiumakustolla pystytään. Rinnakkaissähköhybridit ovat mielekkäämpiä käyttää rekoissa ja kuorma-autoissa, sillä akuston ei tarvitse olla niin suuri kuin sarjahybrideissä on. Tällöin ajoneuvon lastin kantokyky on parempi ja akusto ei vie ”turhaa” tilaa. (Sisu, 2021)



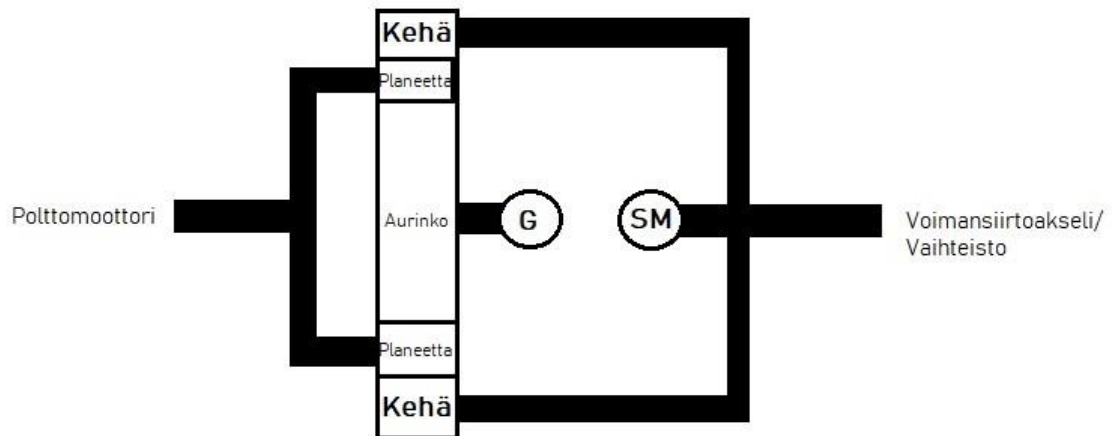
Kuva 4 Sisu Polar 900+ (Sisu, 2017)

Lisäksi rinnakkaishybrideihin on myös mietitty sähköisen turbon (E-turbon) liittämistä. E-turbon avulla saadaan tuotettua suurempi määrä vääntöä polttomoottorin matalilla kierrosnopeuksilla. On lähes samanlainen kuin normaali turboahdin, mutta E-turbon kompressori ja turbiini puolen yhdistävälle akselille on asennettu sähköinen moottori. Normaali turboahdin kärsii ahtopaineen keräämiseen kuluva viiveestä, koska ahtaminen tapahtuu polttomoottorista saatavien pakokaasujen avulla. Matalilla kierroksilla pakokaasua tulee vähemmän, jolloin turbiini ei voi pyörittää kompressoria, joka ahtaa ilmaa moottorin imusarjan puolelle. Mitä korkeammaksi kierrosluvut nousevat moottorilla, niin sitä paremmin turboahdin ahtaa ilmaa moottorille. Tätä turboahtimen viivettä korjataan E-turbolla edellä mainitun sähkömoottorin avulla. Sähkömoottori avustaa turboahtimen kompressori puolen pyörittämistä matalilla kierroksilla, jolloin polttomoottorin vääntö kasvaa ja raskaan ajoneuvon liikkeelle saaminen on helpompaa. E-turbon sähkömoottori voi ottaa energiansa samalta akustolta jolta rinnakkaishybridin vetoakselille sijoitettu sähkömoottori ottaa energiansa. (Ekberg ym., 2021)

2.1.4 Yhdistelmähybridi

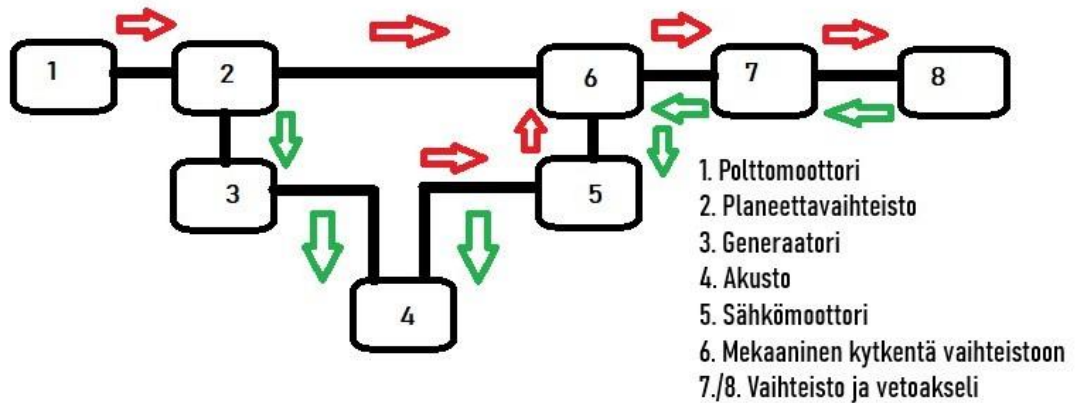
Yhdistelmähybridi on sanan mukaisesti yhdistelmä sarja-, ja rinnakkaishybridia. Yhdistelmähybridistä käytetään myös nimitystä sekahybridi ja jaetun tehon hybridi. Yhdistelmähybridi koostuu tyypillisesti planeettavaihteistosta, polttomoottorista ja

kahdesta sähkökoneesta. Planeettavaihteistolla yhdistetään sähkökoneet toisiinsa, jossa generaattori (G) energian talteenottoa varten on kiinnitetty planeettavaihteiston aurinkopyörään, polttomoottori planeetakannattimeen ja sähkömoottori (SM) kehäpyörään. Generaattorin ja sähkömoottorin yhdistelmän avulla on mahdollista toteuttaa sähköisesti ohjattu portaaton voimansiirto, jossa generaattorin avulla polttomoottorin pyörimisnopeutta voidaan säätää ja sähkömoottorilla tuotetaan tarvittava lisämomentti. Tällainen järjestelmä on esitelty Toyota Priuksessa. Näistä jälkimmäinen toteutus yleisempi raskaissa ajoneuvoissa. Kuvassa 5 on esitetty yhdistelmähybridin mekaaninen kytkentä planeettavaihteistoon.



Kuva 5 yhdistelmähybridin mekaaninen kytkentä planeettavaihteistoon (mukaihen Hietalahti, 2021)

Yhdistelmähybridin heikkoudeksi voidaan esittää sen monimutkaisuutta ja kallista toteutusta. Suunnitteluvaiheessa generaattori on mitoitettava polttomoottorin huippuvääntömomentin mukaan. Jos generaattorissa tai siihen liitettyssä tehoelektronikassa ilmenee vikaantumisen, niin koko voimansiirron toimintakyky menetetään. Rinnakkaishybridin tapauksessa polttomoottorilla on mahdollista jatkaa toimintaa, vaikka sähköinen osa voimansiirrosta olisikin vikaantunut. Sekahybridin etuja taas ovat pelkällä sähköllä ajamisen mahdollisuus lyhyillä ajomatkoilla, samaan aikaan kun polttomoottorille voidaan antaa enemmän tehoa vaativissa tilanteissa. Kuvassa 6 on esitetty yksinkertaistettu kuvaus yhdistelmähybridin toiminnasta. (Hietalahti, 2011)



Kuva 6 rakennekuva yhdistelmähybridistä. (mukaillen Hietalahti, 2021)

Esimerkkinä yhdistelmähybridistä on Volvon linja-auto 7900 S-Charge. Linja-auto kykenee kulkemaan lyhyitä matkoja pelkällä sähköllä taajama-alueella. Maksiminopeus sähköllä ajettaessa on 50 km/h. Volvon mukaan polttoainekulutusta ja CO₂ päästöjen määrää pienenee jopa 39 % hybriditeknologian avulla. Poikkeuksellista tässä ajoneuvossa on se, että se on kevythybridi, vaikka se pystyy kulkemaan pelkän sähköenergian avulla. Etäisyydet ovat kylläkin noin kilometrin luokkaa. (Volvo, 2022)

2.2 Hydrauliikkahybridit

Hydrauliikkahybridissä voimanlähteenä toimii polttomoottori ja avustavana koneena hydrauliikkamoottori. Hydrauliikkamoottorin toimintaan kuuluu kaksi tärkeää komponenttia. Ensimmäisenä on varaaja, joka sisältää korkeassa paineessa olevan hydrauliikkanesteen. Toinen tärkeä komponentti on hydrauliikkapumppu/moottori, jossa varaajasta tulevan hydrauliikkanesteen korkeapaine-energia muutetaan mekaaniseksi energiaksi. Syntyvä mekaaninen energia voidaan käyttää esimerkiksi vetävällä pyörästöllä.

Hydrauliikkahybridi käyttää varaajassa olevaa korkeapainehydrauliikkanestettä voiman tuottamiseen. Kun varaajan hydrauliikkanestetaso pienenee tarpeeksi alas, niin hydrauliikkavoimansiirto lopettaa toimintansa ja ajoneuvo käyttää ainoastaan polttomoottoria hyödyksi. Käytetty hydrauliikkaneste kulkeutuu hydrauliikkamoottorista varastosäiliöön odottamaan uudelleen käyttöä. Kun varaajaa halutaan täyttää uudestaan, niin hydrauliikkapumppu lataa varaajan täyteen korkeassa paineessa olevaa

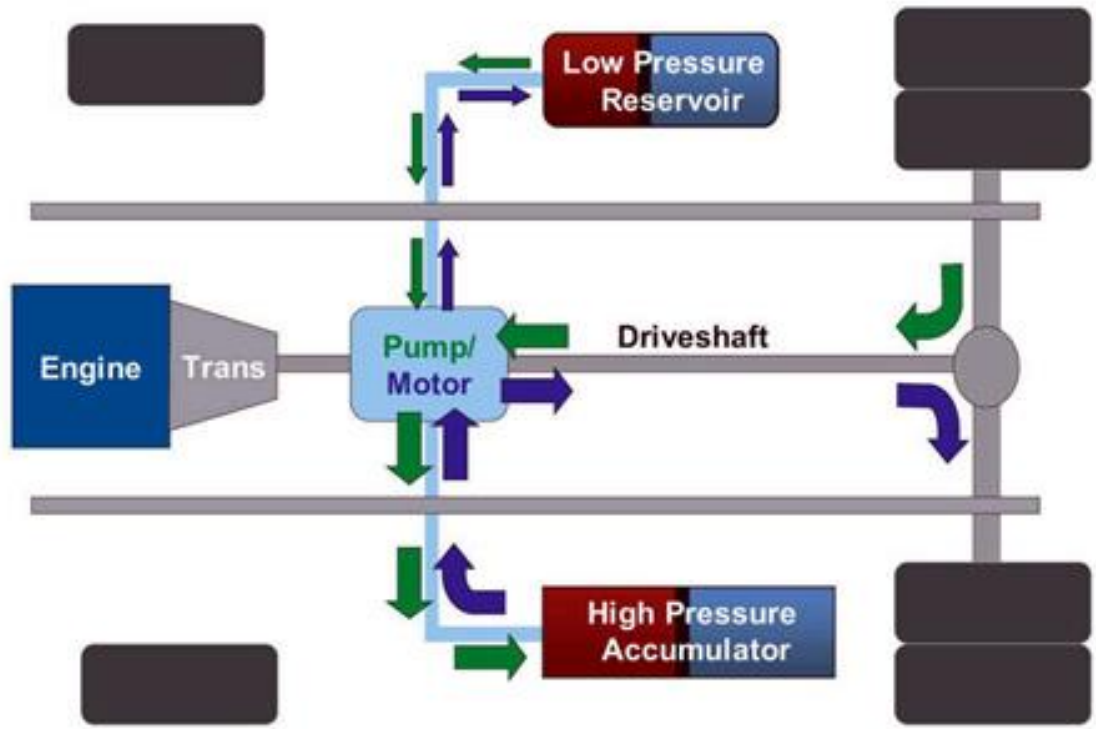
hydrauliikkanestettä, eli muuttaa kineettisen energia potentiaalienergiaksi. Tämä hydrauliikkaneste tulee edellä mainitusta varastosäiliöstä. Täyttö tapahtuu, kun ajoneuvo hidastaa tai jarruttaa. (EPA, 2016) Hydrauliikkahybridissä työaineena voidaan käyttää esimerkiksi typpikaasua N_2 .

2.2.1 Sarjahydrauliikkahybridi

Tässä hybridikokoonpanossa polttomoottori ei ole kytketty suoraan vetävälle pyörästölle. Vetoakseli on ”katkaistu” ja katkaisukohtaan on asennettu hydrauliikkapumppu/moottori yhdistelmä. Kun ajoneuvolle annetaan kaasua, niin varaajassa oleva korkeapaineinen hydrauliikkaneste alkaa pyörittämään hydrauliikkamoottoria. Tällöin teho alkaa siirtyä haluttuun toimintaan. Käytetty alhaisen paineen hydrauliikkaneste kulkeutuu varastosäiliöön.

Kun varaajaan nestepitoisuus tippuu tietyn pisteen alapuolelle, niin polttomoottori käynnistyy. Polttomoottorin käynnistyessä hydrauliikkanesteen varastosäiliöstä aletaan ottamaan nestettä takaisin hydrauliikkamoottori/pumppu yhdistelmälle. Polttomoottori pyörittää hydrauliikkapumppua, joka nostaa hydrauliikkanesteen korkeampaan paineeseen. Korkeapaineinen neste pyörittää jälleen hydrauliikkamoottoria, josta neste palautuu takaisin varastosäiliöön. Sarjahydrauliikkahybridissä polttomoottorin kierrosnopeus on vakio sen ollessa päälle, jolloin polttomoottori voidaan optimoida parhaalle hyötysuhdealueelle. Koska polttomoottori pyörittää hydrauliikkapumppua vakiokierroksilla, niin on mahdollista, että se voi tietyissä kohdissa ajoa paineistaa liikaa hydrauliikkanestettä. Tällöin ylimäärä korkeapaineisesta hydrauliikkanesteestä ohjataan takaisin varaajalle.

Hydrauliikkanestettä voidaan myös uudelleen paineistaa jarrutusprosesseissa. hydrauliikkamoottori/pumppu yhdistelmä hyödyntää ajoneuvon liike-energiaa hydrauliikkanesteen paineistukseen. Jarrutuksesta saatava korkean paineen hydrauliikkaneste ohjataan varaajaan. Jarrutuksesta saatu korkean paineen neste voidaan täten käyttää uudestaan kiihdytysprosessissa. Alla olevassa kuvassa 7 on esitetty sarjahydrauliikkahybridin rakennetta. Kuvassa High Pressure Accumulator on varaaja, jossa on korkean paineen hydrauliikkaneste ja Low Pressure Reservoir on hydrauliikkanesteen alempi paineinen varastosäiliö. (U.S., 2011) (EPA, 2016)



Kuva 7 havainnekuva sarjahydrauliikkahybridin rakenteesta (Bernell, 2012)

Sarjahydrauliikkahybridin etu on, että niiden moottori voidaan sammuttaa kesken ajon. Tällöin hydrauliikka on ainut voimaa tuottava komponentti voimansiirrossa. Tämä tekee sarjahydrauliikkahybridistä loistavan kulkuneuvon esimerkiksi kaupunkiajoon, koska tällaisessa ympäristössä on paljon kiihdytyksiä, mutta myös pysähdyksiä, joiden aikana hybridijärjestelmää voidaan ladata. Toisaalta tämän kokoonpanon hyödyt häviävät, jos ajoneuvolla ajetaan pitkää matkaa, jolloin polttomoottori on koko ajan käynnissä. (EPA, 2016) (Deaton, 2008). Kuvassa 8 on esitetty yhdysvaltalaisen lähettiyrityksen UPS:n hybridijakeluauto, joka hyödyntää sarjahydrauliikkahybridin teknologiaa. Kyseiset raskaat ajoneuvot kulkevat pääasiassa kaupunkiliikenteessä, mikä edellä mainitusti vähentää

päästöjä huomattavasti epäsäännöllisessä ajonopeudessa, kun polttomoottori voidaan pitää pois päältä. (Deaton, 2008)

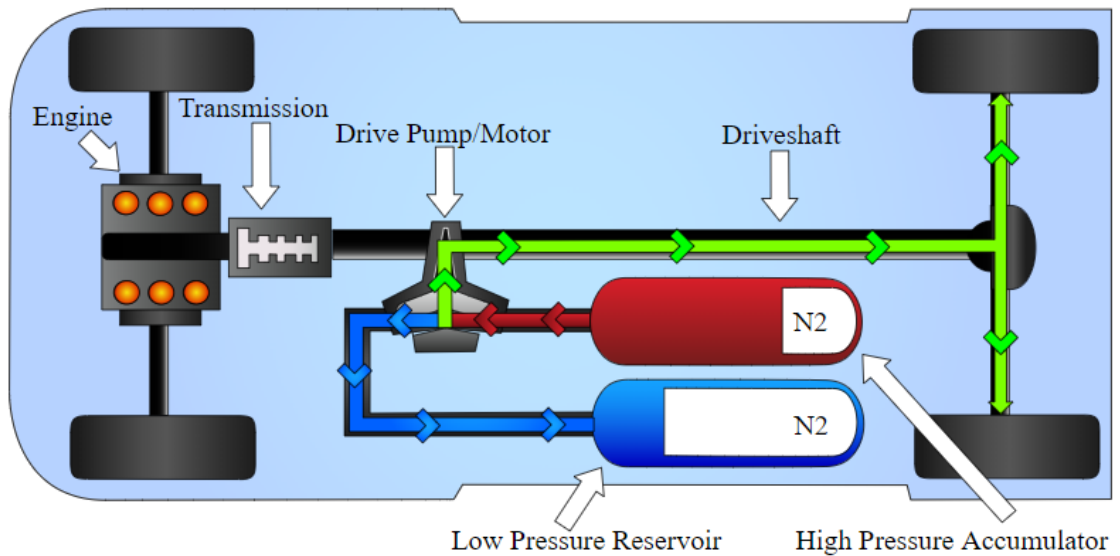


Kuva 8 UPS:n hydraulikkahybridinä hyväksi käytävä jakeluauto (Hall, 2006)

2.2.2 Rinnakkaishydraulikkahybridi

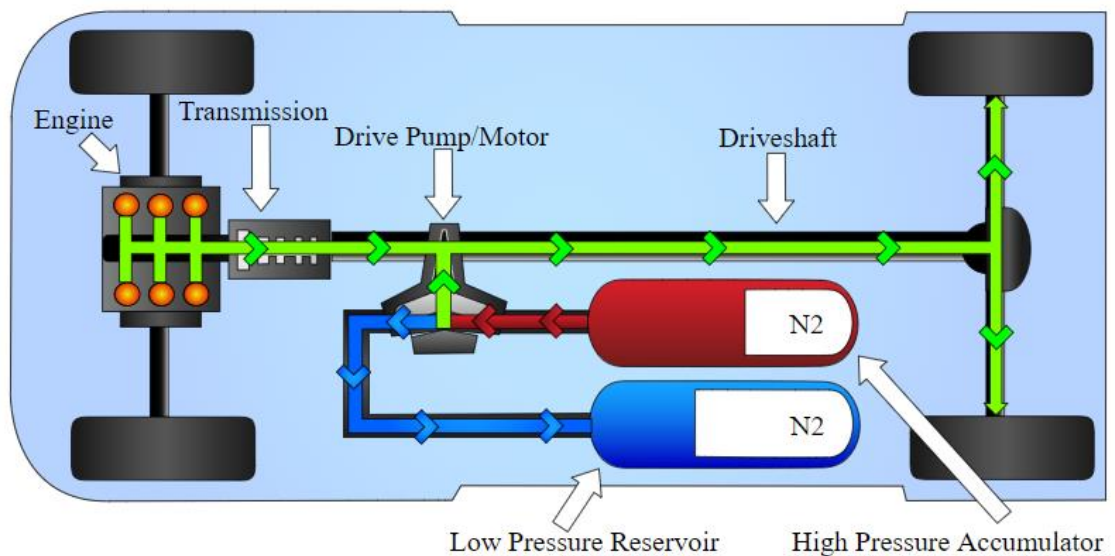
Tässä hydraulikkahybridiratkaisussa polttomoottori on koko ajan kytkettynä vetävälle pyörästölle tehonsiirtoakselilla. Hydraulikkamoottori/pumppu on kiinnitetty tehonsiirtoakselille, ja se avustaa kiihdytyksissä luovuttamalla energiaa tai varastoimalla liike-energiaa hidastuksissa. Rinnakkaishydraulikkahybridin toiminnassa voidaan erotella neljä erilaista vaihetta.

Ensimmäisenä vaiheena voidaan pitää rauhallisen kiihdytyksen vaihetta, jossa pelkästään hydraulikkamoottori/pumppu on toiminnassa. Kuten sarjahydrauliikassakin, rinnakkaishydrauliikalla on samanlainen varaaja, joka sisältää korkeapaineista hydraulikkaneestettä, ja varastopuoli, jonne virtaa alemmassa paineessa oleva hydraulikkaneeste moottori/pumppu-komponentilta. Alla olevassa kuvassa 9 on kuvattu tätä vaihetta.



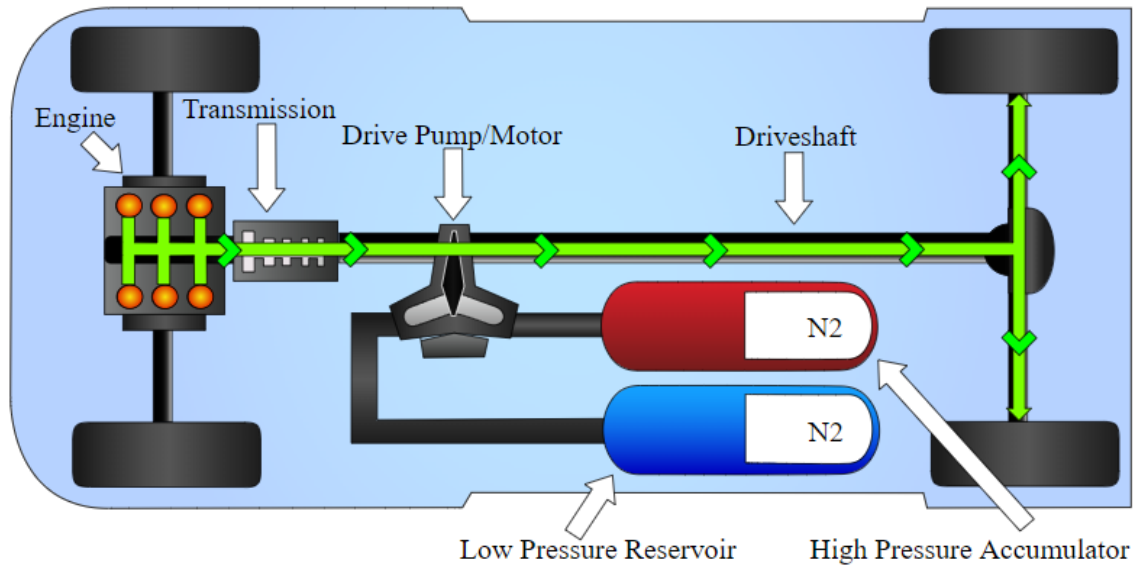
Kuva 9 ainoastaan hydraulikkaneustettä käytetään voimantuottoon (EPA, 2016)

Voimakkaamman tai pidemmän kiihdytyksen vaiheessa myös polttomoottori osallistuu tehon tuottoon ja hydraulikkamoottori/pumppu toimii moottoria avustavana tekijänä. koska moottori/pumppu-kompleksi avustaa polttomoottoria, niin polttomoottorin ei tarvitse kuluttaa polttoainetta niin paljon kuin mitä sen pitäisi toimiessaan yksin. Polttomoottori voidaan tällöin tehdä ”normaalista” pienikokoisemmaksi, koska huipputehon tuottoon osallistuu myös hydraulikkamoottori. Perusidea on siis samanlainen kuin rinnakkaissähköhybridin tilanteessa. Kuvassa 10 on esitetty Voimakkaan ja pidemmän kiihdytyksen vaihetta.



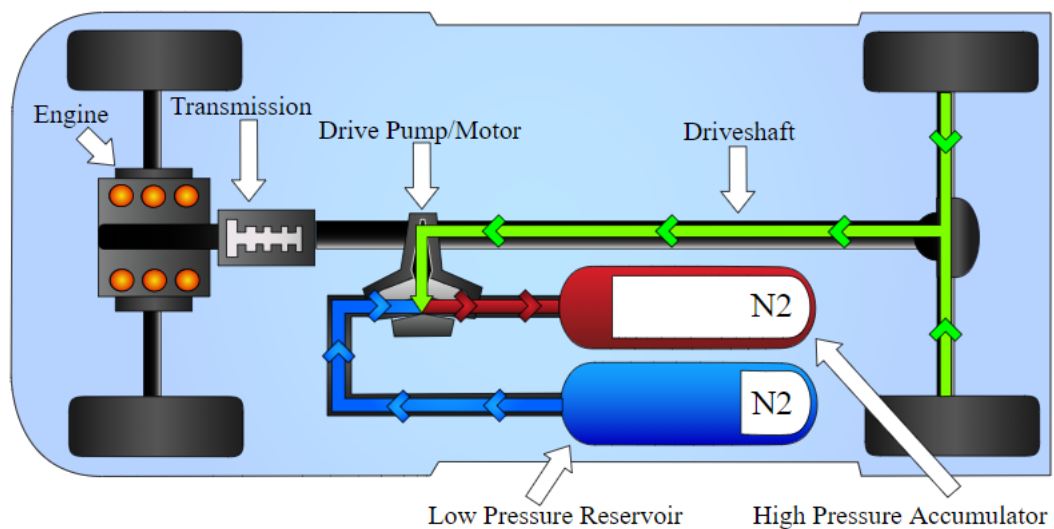
Kuva 10 molemmat voimanlähteet käytössä (EPA, 2016)

Kun rinnakkaishydrauliikkahybridi toimii vakioteholla, niin polttomoottori on ainut tehoa tuottava komponentti. Kuvassa 11 kuvattu kyseinen tilanne, mikäli se visuaalista esitystä nyt tarvitsee.



Kuva 11 ainoastaan polttomoottori osallistuu voimantuottoon (EPA, 2016)

Jarrutustilanteissa polttomoottori kytkeytyy pois päältä ja hydrauliikkapumppu aktivoituu lataamaan korkeapaineista hydrauliikka nestettä varaajaan alhaisen paineen varastosta. Jarrutustilanteissa muuten hukkaan menevä liike-energia pyörittää ajoneuvossa olevaa tehonsiirtoakselia, joka pyörittää hydrauliikkapumppua. Uudelleen kerätty korkean paineen hydrauliikkaneste on taas varaajassa valmiina käyttöön. Kuvassa 12 on visuaalisesti esitetty tätä tapahtumaa. (EPA, 2016)



Kuva 12 jarrutusenergiaa otetaan talteen varaajaan (EPA, 2016)

Rinnakkaishydrauliikkahybridin käytöstä on muutamia kaupallisia versioita. Eräs niistä on Volvo EC300E HYBRID kaivinkone, joka hyödyntää kaivurin puomin laskuliikettä energian talteen otossa. Puomin laskuliikkeen aikana ladataan paineakkua, eli varaajaa. Tämä talteen otettu energia ohjataan puominnostoliikettä avustavalla hydrauliselle apumoottorille. Kyseisen innovaation kautta polttoainetehokkuus kasvaa 17 % verrattuna perinteiseen EC300E malliin, jolloin myös hiilidioksidipäästöt vähenevät. Lisäksi saavutetaan pitempi yhtäjaksoinen työskentelyaika, sillä konetta ei tarvitse tankata niin usein. Molemmissa konemalleissa on yhtä suuri polttoainesäiliö. (Volvo, 2021)

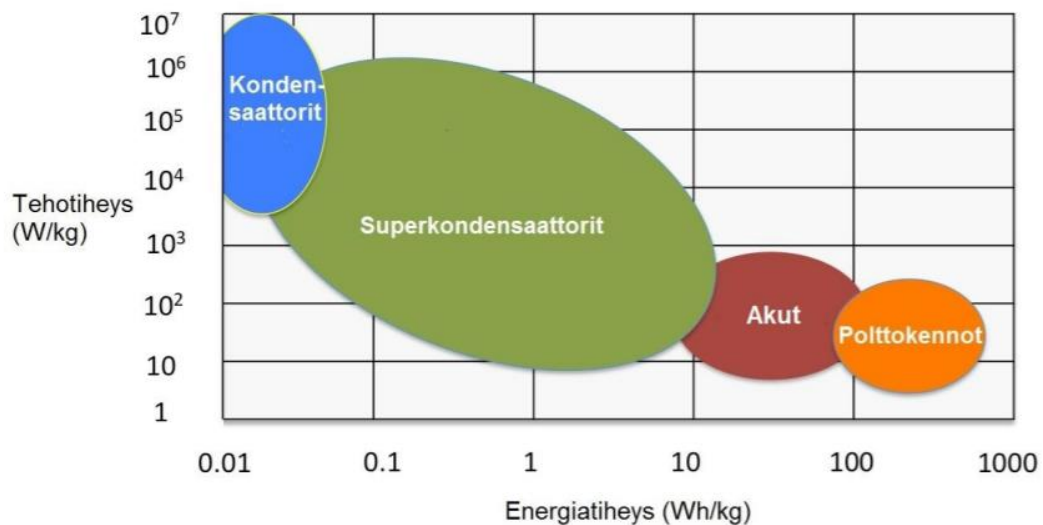
Toinen esimerkki hydrauliikkahybridien käytöstä on Sun Hydraulicsin kehittämä hybridijärjestelmä, joka voidaan jälkiasentaa raskaisiin ajoneuvoihin, kuten linja-autoihin ja kuorma-autoihin. Yhtiön kehittämä järjestelmä asennetaan ajoneuvon kardaaniakselille, jolloin ajoneuvo muutetaan hybridiksi. Järjestelmän etu on sen keveys verrattuna sähköisiin hybrideihin, sillä ajoneuvon kantokyky ei heikkene kovin paljoa. Sun hydraulics sanoo, että tällä innovaatiolla on mahdollista säästää jopa 35 % polttoainetta. Yhtiö lupaa, että haitallisten päästöjen määrän pienenevän vähintään 30 %. (Sun, 2017)

2.3 Energian varastointi

Tässä osiossa perehdytään energianvarastointimenetelmiin hybridi-voimansiirtojärjestelmissä. Hydrauliikkahybridien energiavarastoihin emme kiinnitä niin suuresti huomioita, sillä niitä käsiteltiin jo sopivasti edeltävässä kappaleessa ja niiden toimintaperiaate on samanlainen lähes kaikissa sovelluksissa. Osiossa keskitytään sähköisiin energiavarastoihin. Alkuun käsitellään sähkökemiallisia akkuja, jonka jälkeen perehdytään kondensaattoreiden ja superkondensaattoreiden.

Raskaat työkoneet vaativat suuria tehoja ja niillä on vaativia suorituskykyvaatimuksia. Etenkin haastavia tilanteita tuottavat kiihdytykset, joissa nopeudet ovat jo suuria. Haasteita lisäävät vaatimukset esimerkiksi suuressa kuormankantokyvyssä ja vetokyvyssä. Etenkin sähköiset energianvarastointijärjestelmät ovat tärkeässä roolissa suunniteltaessa hyvän tehopainosuhteen ja riittävän eliniän työkoneita, jotka ovat myös kohtuuhintaisia ja turvallisia.

Energiavarastojen luokittelussa on monenlaisia termejä, mutta niistä tärkeimpiä ovat Energiatiheys, tehotiheys ja käyttökertaikä. Energiatiheydellä tarkoitetaan, kuinka monta wattituntia energiaa voidaan varastoida kohteen yhtä kilogrammaa tai litraa kohden (Wh/kg , Wh/dm^3). Tehotiheys on vastaavasti huipputeho kilogrammaa tai litraa kohden (W/kg , W/dm^3), joka saadaan varastosta ulos tietyssä varaustilassa. Käyttökertaikä tarkoittaa kuinka monta kertaa energiavarasto voidaan purkaa ja ladata uudelleen energiavaraston eliniän aikana. Kuvassa 13 on erilaisia energiavarastojen energia- ja tehotiheyksiä. (Hietalahti, 2011)



Kuva 13 havainnekuva energiavarastojen luokittelusta (Ukkonen, 2015)

2.3.1 Sähkökemialliset akut

Akkuteknologia on ollut jo kauan yksinkertainen menetelmä varastoida energiaa. Akku on sähkökemiallinen systeemi, jonka purkaminen ja lataaminen aiheuttaa akun sisällä kemiallisia reaktioita. Tärkeimmät akun ominaisuudet ovat sen varauskyky ja hyötysuhde. Varauskyky tarkoittaa saatavan sähkövarauksen suuruutta, kun akkua puretaan. Sähkövaraus ilmoitetaan useimmiten ampeeritunteina (Ah). Sähkökemiallisen akun ongelmana voidaan pitää sen hyötysuhdetta, sillä akku vaatii enemmän sähkövarausta ladattaessa kuin mitä sieltä on mahdollista saada akun purkamisen yhteydessä. Akun lataaminen ja purkaminen ovat siis häviöllisiä prosesseja. Työkoneissa ei kuitenkaan käytetä pelkästään yhtä akkua, vaan akustoja. Akustot rakentuvat useista sarjaan kytketyistä akkuyksiköistä, eli kennoista. Tällä pyritään nostamaan laitteen jännitetasoa.

Sähkökemiallisia akkutyyppjä on useita, mutta hybridivoimansiirron energiavarastona käytetään usein nikkelimetallihybridi- (NiMH), litiumioni- (Li-ion) ja litiumrauta-akkuja (LFP). Näitä akkuja käytetään siksi, koska niillä on suurempi energia- ja tehotehiys, parempi hyötysuhde ja pidempi käyttöikä, kuin esimerkiksi perinteisillä lyijyakuilla. Litium on erinomainen akkumateriaali, sillä se on kevyin materiaali jaksollisessa järjestelmässä sekä elektroninegatiivisin metalli. Tällöin saavutetaan erinomainen energiatiheys. Akkuja pyritään edelleen optimoimaan ja kehittämään niiden viiden tärkeimmän ominaisuuden saralla, joita ovat teho, elinikä, energia, turvallisuus ja hinta. Kehittäminen on tasapainottelua näiden viiden ominaisuuden välillä, sillä esimerkiksi tehotehiyden parantaminen kasvattaa akusta saatavaa jännitettä, mutta huonontaa akun elinikää ja turvallisuutta. Voidaan myöskin olettaa, että kehitystyö tehon, eliniän, energian ja turvallisuuden saralla kasvattaa myös akunhintaa. Tämän takia akkukennotyyppit ovat ominaisuuksiltaan yksilöllisiä ja optimoituja vaikka teho- tai energiakenttoiksi. (Hietalahti, 2011)

2.3.2 Superkondensaattorit

Ominaisuuksiltaan superkondensaattorit sijoittuvat akkujen ja kondensaattoreiden väliin. Normaalit kondensaattorit soveltuvat ajoneuvokäyttöön huonosti, sillä niillä on pieni kapasitanssi niiden kokoon nähden. Tällöin ne eivät pysty varastoimaan tarpeeksi energiaa. Superkondensaattoreilla on suuri kapasitanssi normaaleihin kondensaattoreihin nähden, jolloin ne myös pystyvät varastoimaan paljon energiaa. Superkondensaattoreiden etuja akkupohjaisiin energiavarastoihin verrattuna ovat suuri tehotehiys, lyhyet lataus- ja purkausajat, lataaminen ja purkaminen korkeammilla virroilla, parempi hyötysuhde sekä suuri syväpurkaussyklien lukumäärä. Akkuihin verrattuna superkondensaattoreiden heikkouksia ovat pieni energiatiheys, sekä pieni maksimijännite. Niiden voimalla ei ole mahdollista ajaa pelkällä sähköllä pitkiä matkoja. Maksimijännite on noin 3 V. Tästä syystä kondensaattoreita tulee kytkeä useita kappaleita sarjaan suuremman jännitteen saavuttamiseksi. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 1 on tehty vertailua tavallisen kondensaattorin, superkondensaattorin ja lyijyakun välillä. (Hietalahti, 2011)

Taulukko 1 erilaisten energianvarastointijärjestelmien ominaisuuksia (Hietalahti, 2011)

Tutkittava suure	Kondensaattori (Sähköstaattinen)	Superkondensaattori (sähkökemiallinen)	Akku
Purkausaika	10^{-6} – 10^{-3} s	1–30 s	0.3–3 h
Latausaika	10^{-6} – 10^{-3} s	1–30 s	1–5 h
Energiatiheys (Wh/kg)	<0,1	1–11	20–100
Tehotiheys (W/kg)	>10 000	1000–10 000	50–200
Lataus/purkaus- hyötysuhde	lähes 1.0	0.95–0.90	0.85–0.7
Käyttölämpötila	-40°C - +70°C	-40°C - +70°C	-20°C - +60°C
Toimintajaksojen lukumäärä	Rajaton	>500 000	500–2000

Superkondensaattoreita hyödyksi käyttää esimerkiksi Logsetin hybridiharvesterit 8H GTE hybrid ja 12H GTE hybrid. Superkondensaattoreiden avulla saavutetaan suuri määrä lyhyt kestoista tehoa esimerkiksi suuren puun siirtämisessä. Tällöin polttomoottori voidaan ”alimitoitaa” ja työkoneesta tulee huomattavasti ympäristöystävällisempi ja polttoainetaloudellisempi. (Pulkkinen, 2017)

3 POHDINTA

3.1 Vertailua sähkö- ja hydraulikkahybridin välillä

Sähkö- ja hydraulikkahybridijärjestelmillä voidaan saavuttaa suuria hyötyjä esimerkiksi polttoainetaloudellisuudessa, melusaasteissa, työsykliä pituuksissa ja huipputehon tuotossa. Täten molemmat järjestelmät ovat tärkeitä tämänhetkisen raskaan tieliikenteen ja työkoneteknologian kehityksessä. Sähkö- ja hydraulikkahybrideillä on kuitenkin selkeitä etuja ja haittoja toisiinsa verrattuna.

Koska hydraulikkahybrideillä ei ole tarvetta akustolle, niin akuista syntyvät ympäristövahingot häviävät. Akut tuottavat rasitetta ympäristölle, kun niitä tuotetaan ja loppusijoitetaan. Hydraulikkahybridit ovat myös huomattavasti parempia ottamaan talteen energiaa, kun ajoneuvo hidastaa. Sähköhybridi pystyy muuttamaan noin 30 % jarrutusenergiasta uusiokäyttöön, kun sarjahydraulikkahybridi voi saavuttaa 70 % energian talteenottokyvyn. Hydrauliset hybridit ovat myös kevyitä ja yksinkertaisia, sekä vaativat vain vähän huoltoja. Huomattavia rahallisia säästöjä voi tehdä siis myös huoltokustannuksissa, sillä hydrauliset laitteet vaativat harvoin erikoisosaamista, toisin kuin akuilla toimivat laitteet. Hydraulisten hybridien keveydestä johtuen ne ovat erittäin suosittuja ajoneuvoissa, joissa vaaditaan paljon kantokykyä, kuten kuorma-autoissa.

Sähköhybridien etuihin taas kuuluu niiden kyky pitää käynnissä muitakin laitteita, kuin pelkästään voimansiirtoon liittyviä komponentteja. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi radio, ilmastointi ja digitaalinen mittaristo. Tällöin kuljettajan on pidettävä polttomoottori päällä paikallaan ollessaan, mikäli hän mieltä käyttää edellä mainittuja mukavuuksia. (Bernell, 2012). Tämä lienee eräs syy miksi hydraulikkahybridit, etenkin sarjahydraulikkahybridit, eivät ole lyöneet läpi markkinoilla sähköhybridien tapaan. Tämä ongelma ei kuitenkaan esiinny rinnakkaishydraulikkahybrideissä, koska polttomoottori on koko ajan käynnissä. (Deaton, 2008). Sähköhybrideillä voi olla Suomen kaltaisissa oloissa haastavaa, sillä akut eivät siedä kovin paljoa kylmää ja niiden kapasiteetti loppuu paljon nopeammin kesken, ainakin vielä. Ongelmia saattaa tulla esimerkiksi Volvon linja-auto 7900-Chargessa. Talviolosuhteiden myötä kylmänä käynnistetyistä kevythybridin akustosta ei todennäköisesti saada paljoa apua polttomoottorille, jolloin ajoneuvon kulutus voi nousta huomattavasti. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma EREV hybridiasteen hybrideissä.

3.2 Kustannusarviointia hybridi- ja polttomoottoriajoneuvojen välillä

Teollisuudessa ja tieliikenteessä käytössä olevien raskaiden ajoneuvojen ja työkoneiden määrä on alati kasvava, mutta tällä hetkellä suurin osa kulkuneuvoista kulkee edelleen polttomoottorilla. Lisäksi tämän työn kirjoitushetkellä ei ole tehty kattavia tilastoja raskaiden hybridi-ajoneuvojen polttoainetaloudellisuudesta, huoltokustannuksista ja päästöistä. Kustannuksien arviointia pitäisi myös toteuttaa enemmän ajoneuvo-kohtaisesti ja huomioida samalla ajoneuvolla toteutettu käyttötyyli, sillä esimerkiksi kaivinkone ja pyöräkuormaaja ovat hyvin erilaisiin käyttötarkoituksiin luotuja koneita. Suuntaa antavia arvioita voidaan kuitenkin tehdä henkilöautojen hybriditeknologian avulla.

Lähtökohtaisesti hybridijärjestelmällä varustellut ajoneuvot ovat aina kalliimpia. Ne sisältävät uutta tekniikkaa, ovat monimutkaisempia valmistaa ja ajoneuvoon lisätään komponentteja, jotka ilmiselvästi nostavat tuotantokustannuksia. Hybridijärjestelmällä kustannushyödyt saavutetaan vasta laitteen käyttöönoton jälkeen. Mitä ilmeisimpien polttoainesästöjen lisäksi aikaa pystytään säästämään. Mikäli hybridijärjestelmällä varustetussa työkoneessa on yhtä suuri polttoainetankki kuin saman mallisessa työkoneessa, jossa ei ole hybridijärjestelmää, niin työtehokkuus on parempi hybridikäyttöisellä koneella. Tämä johtuu siitä, että hybridikäyttöistä konetta ei tarvitse tankata niin usein sen pienemmän polttoainekulutuksen takia. Tällöin työkone voi olla pitempään työmaallaan, ja tankkaamiseen kuluva joutoaika pienenee huomattavasti. Hybridikoneen ylläpitokustannukset voivat olla korkeammat huoltohinnastoja katsottaessa, sillä osat saattavat vaatia erityistä huoltoa ja erikoisosaamista, esimerkiksi sähköjärjestelmien osalta.

4 YHTEENVETO

Tässä työssä käsitellyt hybridiratkaisut ja innovaatiot ovat raskaissa ajoneuvoissa ja työkoneissa käytettyjä rakenteita ja menetelmiä. Lukijalle on alussa pyritty luomaan yleinen ymmärrys siitä, mitä hybridivoimansiirto on ja miten niitä voidaan luokitella. Hybridivoimansiirron voi rakentaa raskaisiin työkoneisiin ja ajoneuvoihin niin sähkön, kuin hydrauliiikan avulla. Näitä järjestelmiä pystytään muokkaamaan hyvinkin vapaasti erilaisiin ajoneuvoihin erilaisten sarja-, seka-, ja rinnakkaishybridi ratkaisujen avulla. Erilaiset energian talteenottojärjestelmät tuovat myös paljon vaihtelua järjestelmien arkkitehtuuriin ja tuovat paljon mahdollisuuksia uuden ajoneuvon suunnitteluun. Näitä talteenottojärjestelmiä olivat kondensaattorit, erilaiset akut, ja hydrauliiikkahybrideissä varaajat. Lisäksi työssä käsiteltiin yleisesti erilaisten hybridiratkaisujen ja energian talteenottojärjestelmien yhteensopivuutta, sekä niiden hyötyjä ja haittoja. Lisäksi työssä esiteltiin konkreettisia esimerkkejä erilaisista raskaista ajoneuvoista ja työkoneista, jotka hyödyntävät hybriditeknologiaa.

Ajoneuvoteollisuus on työn kirjoitushetkellä käymässä läpi eräänlaista murrosvaihetta. Uudet polttoaineet ja hybridi- ja sähköteknologiat ovat tulleet laajenevissa määrin markkinoille viimeisen vuosikymmenen aikana ja kukaan ei vielä osaa sanoa varmasti mikä on tulevaisuuden polttoaine raskaissa ajoneuvoissa. Tällä hetkellä sähköteknologia jyrää selvästi markkinoilla sähköhybridien ja sähköautojen muodossa, ainakin henkilöauto puolella. Raskaassa ajoneuvo, ja työkonekäytössä hybridiajoneuvot eivät vielä nousseet valtavirtaan. Päästörajoitteiden ja kasvavan kilpailun myötä hybridityökoneet ovat todennäköisesti yleistynyt trendi, jossa tullaan näkemään myös hydrauliiikkahybridejä sähköhybridien rinnalla. Työssä mainittu E-turbo voi olla myös selkeä edistysaskel vähäpäästöisempään ajoneuvoteknologiaan raskaiden työkoneiden saralla.

Työn jatkokäsittelyä varten voisi keskittyä tarkemmin kustannusvertailuun hybridityökoneiden ja polttomoottorikoneiden välillä. Myöskin vähemmän tunnettu hydrauliiikka-hybriditeknologia saisi olla tarkemman tarkastelun kohteena, sillä käyttökohteita voi löytyä niin metsä-, kaivos-, ja maatalouskone puolelta, etenkin työkoneiden puomien laskuliikkeen energian talteenotossa.

5 LÄHDELUETTELO

Bernell Hydraulics inc. (2012). Are Hybrid Hydraulic Systems the Future for Large Vehicles? Saatavissa: <https://www.bernellhydraulics.com/are-hybrid-hydraulic-systems-the-future-for-large-vehicles/> [Viitattu 27.12.2021]

Ekberg, K., Eriksson, L. & Sundström, C. (2021). Electrification of a Heavy-Duty CI Truck—Comparison of Electric Turbocharger and Crank Shaft Motor. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/5/1402>

EPA United States Environmental Protection Agency. (2016). How parallel hydraulic hybrid vehicles work. Saatavissa: <https://archive.epa.gov/otaq/technology/web/html/how-it-works-parallel.html> [Viitattu 19.11.2021]

EPA United States Environmental Protection Agency. (2016). How series hydraulic hybrid vehicles work. Saatavissa: <https://archive.epa.gov/otaq/technology/web/html/how-it-works.html> [Viitattu 18.11.2021]

EPA United States Environmental Protection Agency. (2016). Hydraulic Hybrid Research. Saatavissa: <https://archive.epa.gov/otaq/technology/web/html/research-hhvs.html> [Viitattu 18.11.2021]

Hietalahti, L. (2011). Sähkökäyttö- ja hybriditekniikka ajoneuvo- ja työkonekäyttöön. Amk-kustannus Oy Tammertekniikka 1. painos, 142 s. ISBN 978-952-5491-71-5

Jamie Deaton. (2008). How Hydraulic Hybrids Work? HowStuffWorks. Saatavissa: <https://auto.howstuffworks.com/hydraulic-hybrid.htm#pt2> [Viitattu 1.12.2021]

John Deere. (2015). John Deere 944K Hybrid Wheel Loader. 19.6.2015, Saatavilla: <https://youtu.be/RxUFR-waycU> [11.1.2022]

Oy BMW Suomi Ab. (2021). BMW 5-sarja touring tekniset tiedot. Saatavissa: https://www.bmw.fi/fi/mallisto/5-sarja/touring/2021/yleisesittely.html#G31_hybrid [Viitattu 12.12.2021]

Oy Sisu Auto Ab. (2021). Sisu Polar Hybrid 900+ tekniset tiedot. Saatavilla:

<https://sisuauto.com/polar-etusivu/> [10.11.2021]

Pulkkinen Markku. (2017). Logsetin hybridi kiinnostaa maailmalla: "Koneen hevosvoimat riittävät hyvin myös päätehakkuisiin". Maaseuduntulevaisuus. Saatavissa:

<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/suomalainen-maaseutu/artikkeli-1.213012>

[Viitattu 10.1.2022]

Sun Hydraulics Corporation. (2017). Putting Sun at the heart of hydraulic regenerative braking systems. (21.6.2017). Saatavilla:

<https://www.sunhydraulics.com/about/highlights/putting-sun-heart-hydraulic-regenerative-braking-systems> [Viitattu 12.1.2021]

U.S. Environmental Protection Agency. (2011). How Heavy Duty Series Hydraulic Hybrid Vehicles (HHVs) Work. 4.8.2011, Saatavilla: <https://youtu.be/FpthKavtSSo>.

[Viitattu 18.11.2021]

Volvo BM AB. (2021) Volvo EC300E tekniset tiedot. Saatavissa:

<https://www.volvoce.com/suomi/fi-fi/products/excavators/ec300e/> [Viitattu 26.11.2021]

Volvo Buses. (2022). Volvo 7900 S-Charge tekniset tiedot. Saatavissa:

<https://www.volvobuses.com/fi/city-and-intercity/buses/volvo-7900-s-charge.html>

[Viitattu 08.01.2022]

Volvo BM AB. (2021) Volvo EC300E HYBRID tekniset tiedot. Saatavissa:

<https://www.volvoce.com/suomi/fi-fi/products/excavators/ec300e-hybrid/> [Viitattu 26.11.2021]

Wu, G., Zhang, X. & Dong, Z. (2015). Powertrain architectures of electrified vehicles: Review, classification and comparison. [https://www-](https://www-sciencedirectcom.pc124152.oulu.fi:9443/science/article/pii/S0016003214001288#bib2)

[sciencedirectcom.pc124152.oulu.fi:9443/science/article/pii/S0016003214001288#bib2](https://www-sciencedirectcom.pc124152.oulu.fi:9443/science/article/pii/S0016003214001288#bib2)

KUVAT

Kuva 2: Anon. (2020) John Deere 944K Hybrid Wheel Loader Reaches 1 Million Field Hours. (20.10.2020). Saatavilla: <https://www.oemoffhighway.com/trends/hybrids/press-release/21199336/john-deere-worldwide-construction-forestry-div-john-deere-944k-hybrid-wheel-loader-reaches-1-million-field-hours>

Kuva 4: Sisu Auto Ab Oy. (2017). Sisu Polar Hybrid. Saatavilla: <https://europorssi.com/fi/sisu-polar-hybrid/>

Kuva 8: Hall, R. (2006). Hydraulic hybrid promises big savings for UPS. Linkki kuvaan: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.hydraulicspneumatics.com%2Ftechnologies%2Fhydraulic-pumps-motors%2Farticle%2F21884820%2Fhydraulic-hybrid-promises-big-savings-for-ups&psig=AOvVaw21Hz7nFL3o_89LuELUk3FG&ust=1642015749566000&source=images&cd=vfe&ved=0CAgQjRxqFwoTCJjI8723qvUCFQAAAAAdAAAAABAd

Kuva 13: Ukkonen, H. (2015). Superkondensaattoreiden valmistus selluloosageeleistä ja hiilimustasta. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/103573/Diplomity%c3%b6_UkkonenHenna.pdf?sequence=2

