



HYBRIDIVINTTURI PURJEKONEELLE

Antti Lehtonen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2011
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Antti Lehtonen: Hybridivintturi purjekoneelle

Opinnäytetyö 88 s., liitteet 8 s.
Marraskuu 2011

Opinnäytetyön aihe syntyi kaverin kanssa käydyn ilmailuharrastukseen liittyneen keskustelun tuloksena. Taustalla oli myös teollisuuden vähäinen opinnäytetyöhön soveltuvien projektien määrä. Aihe oli hyvä lähtökohta ilmailuun liittyvän fysiikan ymmärtämiseen. Tarkoitus oli valita sopiva sähköhybridityyppi, mitoittaa vinssaustyön kannalta keskeiset komponentit laitteistoon ja vertailla vinssaustyön hyötysuhdetta ja polttoainekustannuksia jo käytössä olevan vintturin arvoihin. Alussa ongelmana oli vähäinen tieto ja ymmärrys lentämiseen liittyvän fysiikasta. Asia korjaantui lukemalla kirjallisuutta aerodynamiikasta ja lentomekaniikasta. Matlab-ohjelmalla luotiin simulaatio, joka laski purjekoneen nostoon liittyvät vastukset, vaaditun tehon ja hyötysuhteet eri vinssaustavoilla.

Tulosten mukaan nostotyön hyötysuhde nousee hybriditekniikalla. Polttoainekustannukset puolestaan laskevat.

Tulokset kertovat osaltaan, että vintturi sähköhybridinä olisi kustannustehokas ja järkevä sijoitus ilmailuyhteisöille. Jotta hybridivintturin rakentamisesta syntyisi luotettava liiketoiminta, täytyisi ottaa selvää muun muassa markkinoiden laajuudesta ja todellisesta kiinnostuksesta Suomessa ja maailmalla. Tämän lisäksi täytyisi tarkemmin tutkia eri valmistajien komponenttivaihtoehtot esimerkiksi välipiirin osalta, simuloida nostoja eri purjekonetyypeillä, tutkia hankintakustannuksiltaan sopiva akuston ja superkondensaattorimoduulin koko ja suunnitella järjestelmään sulautettu logiikka.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical engineering
Option of Power Engineering

Antti Lehtonen: Hybridwinch for Sailplanes

Bachelor's thesis 88 pages, appendices 8 pages
November 2011

The purpose of this thesis was to find out and compare what kind of overall efficiency would it be and what kind of impact would it give in fuel economy of a sailplane winch if hybrid technique is used in the winch instead of a traditional engine. The topic of this thesis arose from the subject of a conversation regarding aviation. The study was carried out using Matlab program which give quantitative results and performance data.

Efficiency and fuel economy became much better using hybrid technique as was to be expected.

It would be reasonable to turn into hybrid technique in winch operations at least from the fuel economy point of view. In order to create business around hybrid winch it would require vast marketing research in both Finland and abroad. Also there are different type of sailplanes which have different characteristics and therefore winch performance would be a bit different.

Keywords: Hybrid, sailplane, winch, electricity.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	6
2 LENTÄMISEN MAHDOLLISTUMINEN.....	7
3 SIIVEN GEOMETRIA.....	9
4 NOSTOVOIMA.....	11
5 VASTUSVOIMAT.....	13
5.1 Siiven tuottamat vastukset.....	13
5.1.1 Profiilivastus.....	13
5.1.2 Induktiivinen vastus.....	13
5.2 Peräsimen vastus.....	16
5.3 Rungon vastus.....	16
6 SIMULAATIO.....	17
7 SIMULAATION PURJEKONE.....	19
8 RUNGON VASTUKSEN LASKENTA.....	21
9 PERÄSIMEN VASTUKSEN LASKENTA.....	23
10 NOSTETTAVAN MASSAN LASKENTA.....	25
11 TEHON JOHTAMINEN VINTTURILLE.....	27
12 SÄDE, MOMENTIT JA PYÖRIMISNOPEUS.....	29
13 LANGAN VASTUS.....	31
14 SIMULAATION LASKENTATULOKSET.....	32
15 HYBRIDIVALINTA.....	35
16 SÄHKÖMOOTTORIN VALINTA.....	37
17 TASAJÄNNITEVÄLIPIIRI.....	41
18 KÄYTTÖTILAT.....	42
18.1 Akkukäyttö.....	42
18.2 Verkkokäyttö.....	43
18.3 Ekokäyttö.....	44
18.4 Hybridikäyttö.....	45
18.5 Diesel-Verkkokäyttö.....	46
19 VIKATILANTEET.....	47
20 DC/DC ja DC/AC MUUNTIMET.....	48
21 AKUSTON VALINTA.....	49
22 ZnBr ₂ –AKUN TOIMINTAPERIAATE.....	51

23 AKUSTO.....	52
24 DC-GENERAATTORI.....	55
25 SUPERKONDENSAATTORIMODUULI.....	59
26 JOHTIMET.....	61
26.1 Invertteri-moottori johtimet.....	61
26.2 Tasajännitevälipiirin johtimet.....	62
26.3 Latausjohdin, tasasuuntaussilta ja verkkovaikutukset.....	62
26.4 DC-generaattorin johtimet.....	67
27 NOSTOJEN HYÖTYSUHTEET.....	68
27.1 Sähkökäytön hyötysuhde.....	68
27.2 Hybridikäytön hyötysuhde.....	70
27.3 Bensiinikäytön hyötysuhde.....	71
28 TALOUDELLISET NÄKÖKOHDAT.....	73
28.1 Sähkökäyttö.....	73
28.2 Hybridikäyttö.....	73
28.3 Bensiinikäyttö.....	75
28.4 Taloudellisten näkökohtien yhteenveto.....	76
29 POHDINTA.....	77
LÄHTEET.....	78
LIITTEET.....	81

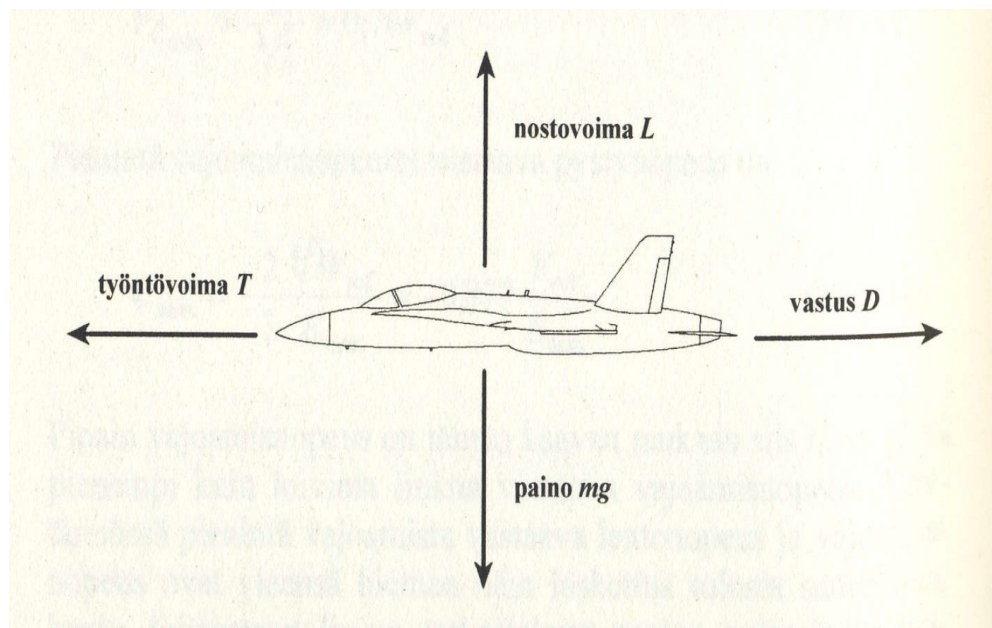
1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on vertailla purjekoneen vintturinostojen hyötysuhdetta ja polttoaineen kulutusta eri menetelmillä. Vertailukohtina käytetään perinteinen nostotapa käyttäen polttomoottoria ja hybridijärjestelmän sähkö- ja dieselhybridikäyttö. Työssä myös mitoitetaan kyseisen hybridijärjestelmän pääkomponentit. Komponenttien hintaan tai urakointikustannuksiin ei oteta kantaa. Tämä opinnäytetyö ei sisällä tarkkoja piirrustuksia eikä voi toimia yksinään tarkkana laiterakennusoppaana.

Työ sisältää mitoituksen ja valinnan liittyen hybridityyppiin, akkuun, sähkömoottoriin, generaattoriin, tasajännitevälipiirin voimajohtimiin, latausjohtimeen, vintturin langan kelan kokoon ja superkondensaattoriin. Lisäksi työssä esitellään järjestelmän tuottamia verkkoyliaaltoja ja tapaa niiden siivoamiseksi. Työssä käytettyjen komponenttien tiedot ovat peräisin valmistajien verkkosivuilta.

2 LENTÄMISEN MAHDOLLISUMINEN

Lentokoneen lentäessä tasaisella nopeudella suoraviivaista rataa, kohdistuu siihen voimatasapaino vaikuttavien voimien suhteen. /1/. Kuviossa 1 on esitettyä keskeiset lentokoneen tilaan vaikuttavat voimat.



KUVIO 1. Lentokoneeseen kohdistuvat voimat. /1/

Tasaisessa lennossa nostovoima kumoaa painovoiman ja työntövoima vastuksen. Lentoradan suuntainen kiihtyvyys a_x syntyy, jos vaakalennossa työntövoimaa lisätään vastusta suuremmaksi (1).

$$a_x = \frac{T - D}{m} \quad (1)$$

T on koneen työntövoima, [N].

m on koneen massa, [kg].

D on koneen vastusvoima, [N].

Mikäli nostovoimaa kasvatetaan suoraviivaisen radan edellyttämästä arvosta, saadaan aikaan lentorataa vastaan kohtisuora kiihtyvyys a_y (2).

$$a_y = \frac{L - mg}{m} \quad (2)$$

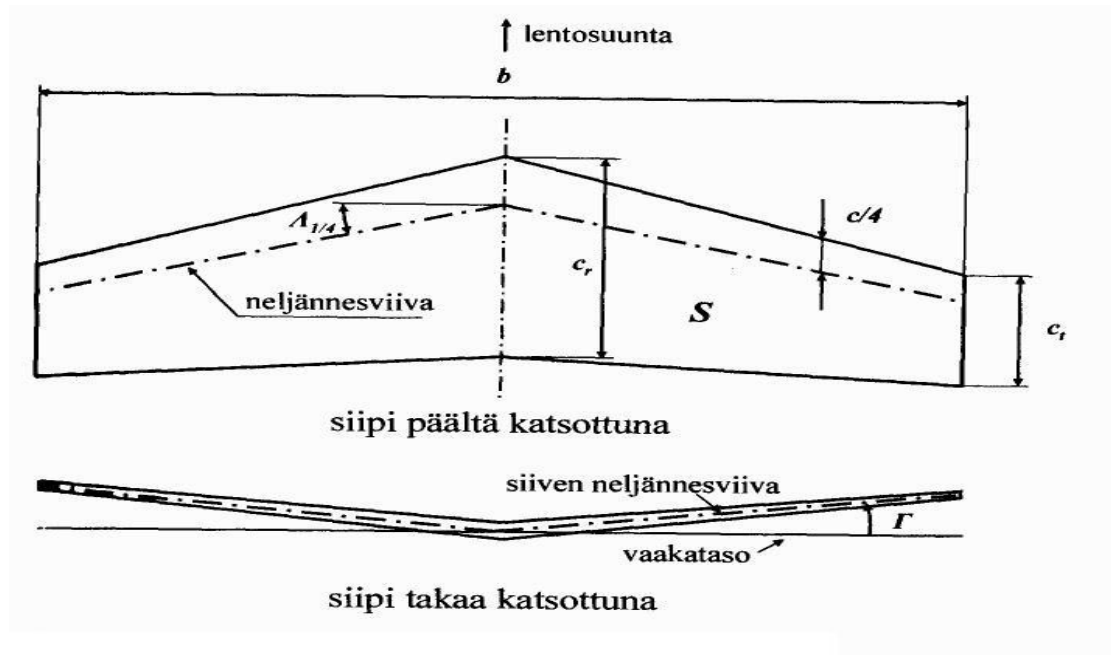
L on koneen nostovoima, [N].

mg on koneeseen kohdistuva painovoima, [N].

3 SIIVEN GEOMETRIA

Siiven muotoa kuvataan mitoilla ja suhteilla, jotka on valittu siten, että siiven aerodynaamiset suureet voitaisiin esittää Reynoldsin luvun

(R_e) lisäksi näistä riippuvina. /1/



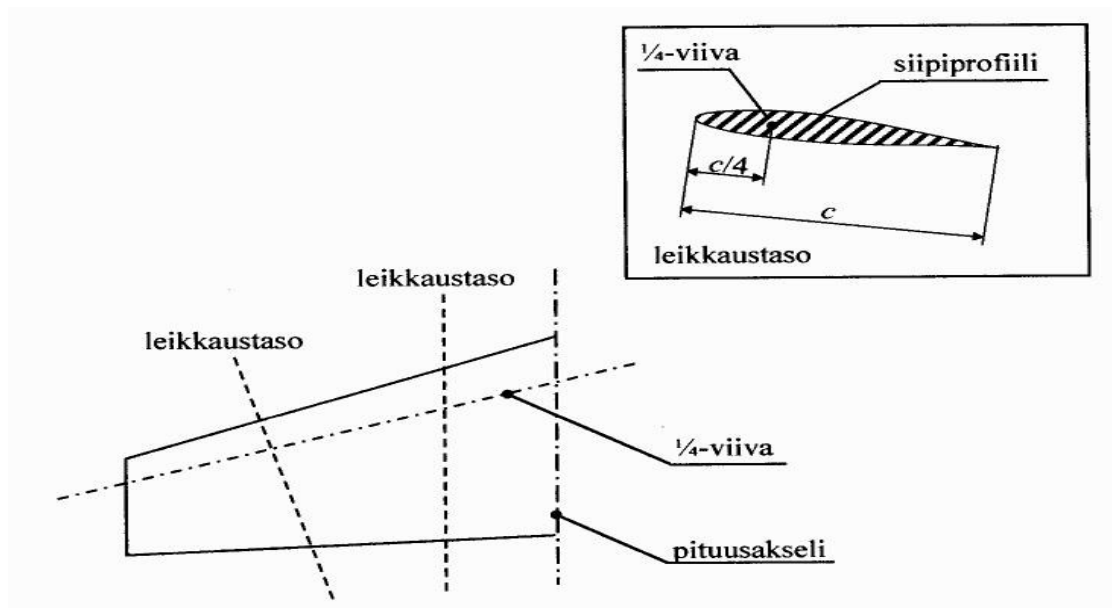
KUVIO 2. Siiven tasomuodon kuvaamiseen käytettyjä mittoja /1/.

b	on siiven kärkiväli, [m].
c_r	on siiven tyvijänne, [m].
c_t	on siiven karkijänne, [m].
$\Lambda_{1/4}$	on siiven neljännesviivan nuolikulma, [°].
A_s	on siiven pinta-ala, [m].
Γ	on V-kulma, [°].
$A = \frac{b^2}{A_s}$	on siiven sivusuhte.
$\lambda = \frac{c_t}{c_r}$	on siiven trapetsisuus.

Aerodynaaminen keskijänne on tietyllä tavalla laskettu keskiarvo siiven eri kohtien jänneistä (3). Sitä käytetään tilanteissa, joissa siivellä on trapetsisuutta.

/1/

$$c_a = \frac{2}{3} \cdot \frac{1 + \lambda + \lambda^2}{1 + \lambda} \cdot c_r \quad (3)$$

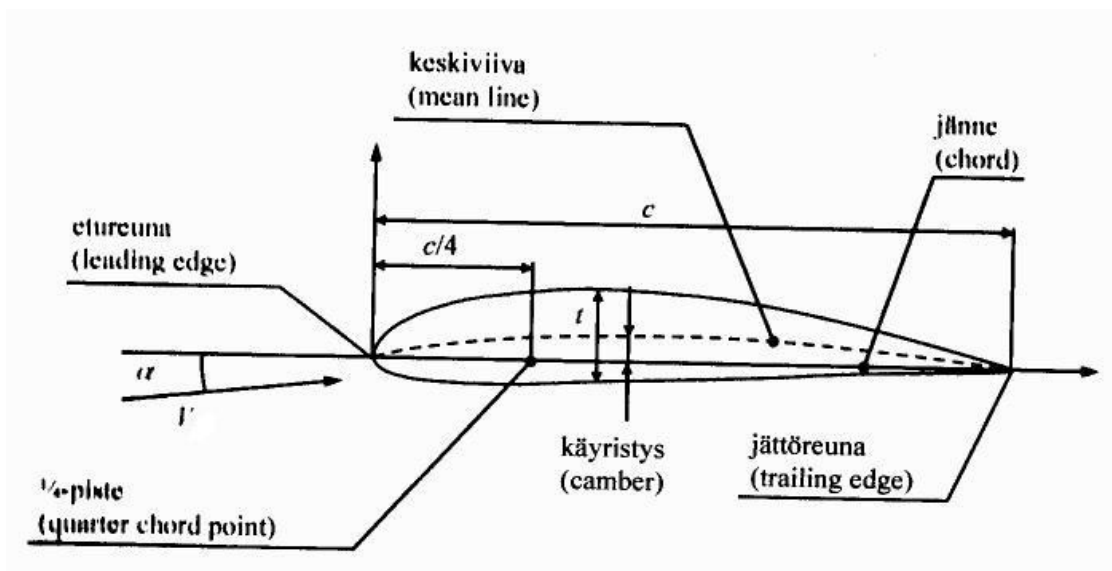


KUVIO 3. Siiven geometriassa esiintyvä 1/4-viiva. (/1/ muokattu)

c on siipiprofiilin jänne, [m].

t on siipiprofiilin suurin paksuus, [m].

v on siiven ratanopeus, [m/s].



KUVIO 4. Siipimuodon paksuusjakautuman eli siipiprofiilin kuvaamiseen käytettyjä mittoja. (/1/ muokattu)

4 NOSTOVOIMA

Nostovoima syntyy siiven liikkeestä väliaineen suhteen. Tällöin siiven ylä- ja alapuolelle syntyy paine-ero joka luo nostovoiman. Nostovoiman muodostuminen riippuu siiven pinta-alasta, ilman tiheydestä, nostovoimakertoimesta kyseisellä kohtauskulman arvolla ja kappaleen nopeuden neliöstä väliaineessa yhtälön (4) mukaisesti.

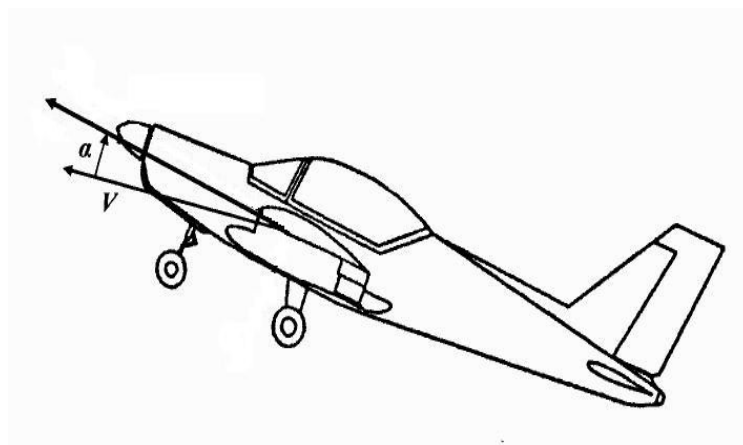
$$L(t) = \frac{1}{2} \cdot CL(\alpha) \cdot \rho \cdot A_s \cdot v^2(t) \quad (4)$$

L on siiven nostovoima, [N].

v on koneen ratanopeus, [m/s].

ρ on väliaineen tiheys, [kg/m³].

$CL(\alpha)$ on nostovoimakerroin kohtauskulman arvolla α .



KUVIO 5. Kohtauskulma tarkoittaa jonkin lentokoneen kiinteän suunnan ja lentoradan tangentin välistä kulmaa ja tällöin nostovoimakertoimen arvo riippuu lentokoneen asennosta lentosuuntaa nähden. (/1/ muokattu)

Lentosuunnaksi valitaan yleensä koneen rakenteeseen luontevasti liittyvä suunta (siiven etureuna). Tästä syystä koneen nostovoimakertoimen arvolla on pieni nollasta poikkeava arvo, kun kohtauskulma on nolla. Haluttaessa nostovoimakerroin nolaksi täytyy kohtauskulman arvoa muuttaa nolasta hieman poikkeavaksi. Nollanostolinja α_0 on tulovirtauksen suunta, joka asettaa koko koneen nostovoimakertoimen nolaksi. /1/

Siiven nostovoimakertoimen ja kohtauskulman välinen yhteys riippuu siiven tasomuodosta ja siipiprofilista. Äärettömän pitkän siiven nostovoimakerroin on sama, kuin siinä olevan profiilin nostovoimakerroin, mutta koska paine-ero ylä- ja alapinnan välillä pyrkii tasoittumaan, on erityisesti siiven kärjessä vähemmän nostovoimaa ja siten pienempi nostovoimakerroin kuin äärettömän pitkällä siivellä, samalla kohtauskulmalla /1/.

Siipiprofiilin nostovoimakertoimen kaltevuus saadaan selville graafisesti linearisoimalla siipiprofiilin kuvaaja (liite1.) Nostovoimakertoimen muutos jaetaan sitä vastaavalla kohtauskulman muutoksella. /1/

Suorien tai nuolikulmiltaan pienten siipien (purjekoneet) nostovoimakertoimen kaltevuus siivelle on likimain kaavan (5) mukainen /1/.

$$Cl_{\alpha} = \frac{cl_{\alpha} \cdot A}{\sqrt{A^2 + \left(\frac{cl_{\alpha}}{\pi}\right)^2 + \frac{cl_{\alpha}}{\pi}}} \quad (5)$$

Cl_{α} on siiven nostovoimakertoimen kaltevuus, [Cl/rad].

cl_{α} on siipiprofiilin nostovoimakertoimen kaltevuus, [cl/rad].

Sivusuhteen kasvattaminen kasvattaa nostovoimakertoimen kaltevuutta, ja kun sivusuhte kasvaa siivellä todella suureksi, se lähestyy siipiprofiilin nostovoimakertoimen kaltevuutta.

Siiven nostovoimakertoimen arvo tietyllä kohtauskulman arvolla saadaan selville kertomalla kohtauskulma kaavasta (5) saadulla siiven nostovoimakertoimen kaltevuudella. Nostovoima saadaan lasketuksi sijoittamalla kaavan (6) tulo kaavaan (4).

$$CL(\alpha) = \alpha \cdot Cl_{\alpha} \quad (6)$$

5 VASTUSVOIMAT

5.1 Siiven tuottamat vastukset

5.1.1 Profiilivastus

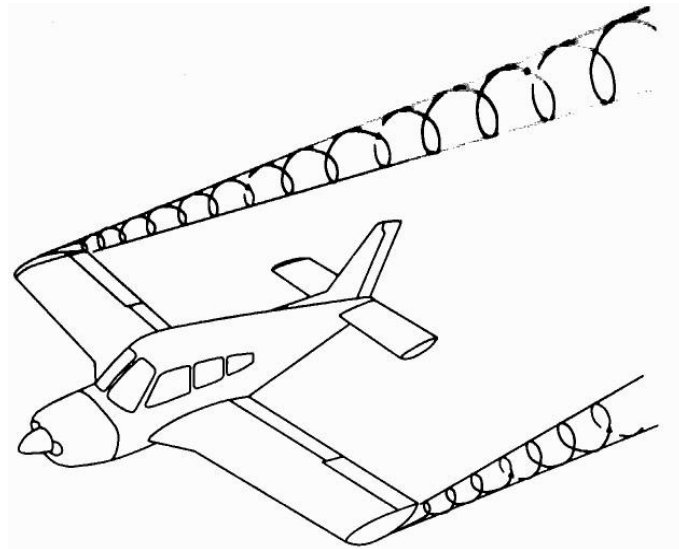
Siiven vastus muodostuu profiilivastuksesta ja nostovoimasta riippuvasta vastuksesta. Profiilivastuksen arvo riippuu siipiprofiilin profiilivastuksesta, jonka kuvaaja nostovoimakertoimen funktiona käy ilmi siipiprofiilin taulukosta (liite 1). Alisoonisilla nopeuksilla siiven nollavastuskerroin on lähes sama kuin profiilin minimivastuskerroin. Tämä vastusmuoto on pääsääntöisesti pinnan ja ilman välistä kitkavastusta ja painejakauman aiheuttamaa painevastusta. Mikäli siivessä on traptisuusutta käytetään laskennassa aerodynaamista keskijännettä (3). Profiilivastuksen arvo lasketaan kaavalla (7) /1/

$$D_p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot V^2(t) \cdot c \cdot b \quad (7)$$

C_d on profiilin vastuskerroin

5.1.2 Induktiivinen vastus

Nostovoimasta riippuvaa vastusta kutsutaan alisoonisella alueella myös induktiiviseksi vastukseksi: "Kun siivellä on nostovoimaa syntyy siiven taakse pyörteitä, jotka jonkin matkaa siiven takana yhtyvät kahdeksi kärkipyörteeksi. Kärkipyörteessä ilma pyörii likimain siiven kärjen kohdalla lentosuuntaisen akselin ympäri." /1/



KUVIO 6. Induktiivista vastusta tuottavat kärkipyörteet /1/

Siiven tasomuodon ollessa elliptinen, kuten brittiläisellä toisen maailmansodan hävittäjälentokone Supermarine Spitfirellä, on siivellä pienin mahdollinen indusoitu vastuskerroin, kun sivusuhte on annettu. /1/



KUVIO 7. Supermarine Spitfire

(22.08.2011 <http://www.aviation-history.com/supermarine/spitfire.html>)

Indusoidun vastuksen suuruus on verrannollinen nostovoiman toiseen potenssiin ja kääntäen verrannollinen kineetisen paineeseen. Kun lentonopeus kasvaa, indusoitu vastus pienenee, kun nostovoima pidetään vakiona. Indusoitu vastus riippuu lisäksi siipien kärkivälistä ja on kääntäen verrannollinen kärkivälin neliöön. Tästä syystä purjekoneiden indusoitu vastus on pienempi kuin lyhytsiipisillä koneilla samoissa oloissa /1/. Indusoitu vastus lasketaan kaavalla (9).

$$K = \frac{1}{e' \cdot \pi \cdot A} \quad (8)$$

$$D_i = \frac{K \cdot L^2}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v \cdot A_s} \quad (9)$$

Kerroin e' on siiven trapetsisuudesta, kierrosta ja nuolikulmasta riippuva kerroin. e' on arvoltaan tavallisesti 0.8 – 0.95. Sopivalla trapetsisuuden valinnalla päästään hyvin lähelle arvoa $e'=1$. Trapetsisuuden ollessa $\lambda=1$, kuten on laita suorakulmionmuotoisella siivellä, suurin nostovoima saavutetaan siiven tyven kohdalla ja pienin siiven kärjessä. Trapetsisuudella pyritään muuttamaan maksiminostovoimakohdan paikkaa siivessä lähemmäksi kärkeä /1/. Siiven kokonaisvastus saadaan selville laskemalla yhteen profiili- ja indusoitu vastus (10).

$$D_s = D_p + D_i \quad (10)$$

5.2 Peräsimen vastus

Peräsimen vastus lasketaan vastaavalla tavalla kuin siiven profiili ja indusoitu vastus. Muutoksia arvoihin tuovat peräsimen pinta-ala kärkiväli ja muoto (liite 2).

5.3 Rungon vastus

Kun kohtauskulma on nolla, perästä suipon rungon vastus on pääasiassa kitkavastusta. /1/ Kitkavastus voidaan laskea kaavalla (11).

$$D_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_f \cdot A_f \cdot \left(1 + \frac{d}{2 \cdot l_B}\right) \quad (11)$$

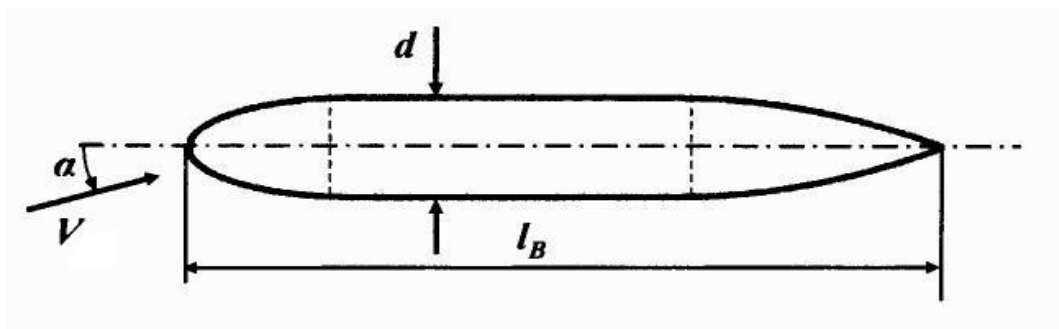
D_f on rungon kitkavastus, [N].

C_f on rungon kitkakerroin

A_f on rungon märkäpinta-ala, [m²].

l_B on rungon pituus, [m].

d on rungon maksimihalkaisija, [m].



KUVIO 8. Rungon kuvaamiseen liittyviä mittoja. /1/

6 SIMULAATIO

Simulaatiossa on käytetty joiltakin osin yksinkertaistuksia. Nostolangan massa ja ilmanvastus on huomioitu mutta lankaa kaartavan gravitaatiovoiman vaikutus on jätetty huomioimatta langan pituudessa. Toisin sanoen lanka ajatellaan täysin suoraksi johteeksi vintturilta purjekoneelle.

Maavaikutus jätettiin laskennassa pois. Maavaikutus tarkoittaa, että lähellä maanpintaa koneen siiven alle kertyvä ylipaine on suurempi lähellä maata lennettäessä kuin korkealla ilmassa, koska maa osaltaan estää ilman vapaan virtaussuunnan muutoksen. Tällöin paine siiven alapuolella on suurempi mutta yläpinnalla alipaine vähäisempi kuin simulaation laskennassa. Maavaikutuksessa nostovoimakertoimen voi joko kasvaa tai pienentyä, jos laskusiivekkeet ovat kiinni ja kohtauskulma ei ole lähellä sakkauskohtauskulmaa. Kaikissa tapauksissa maavaikutus pienentää indusoitua vastusta. Kun siiven $\frac{1}{4}$ -viivan etäisyys maanpinnasta on yhtä suuri tai suurempi kuin siiven kärkiväli, maavaikutus on mitätön. Maavaikutuksella voi olla vaikutusta lentoonlähtö ja laskeutumismatkaan /1/.

Ilman tiheydellä on vaikutusta nostovoimaan ja vastusvoimiin. Tästä huolimatta simulaatiossa ilman tiheyden arvo oli sama, kuin se on merenpinnan tasolla 1.225 kg/m^3 /1/. Tosielämässä maan vetokiihtyvyys muuttuu korkeuden suhteen, mutta simulaatiossa sen ajateltiin olevan sama kuin maan pinnalla 9.81 m/s^2 /2/.

Tuulien vaikutusta ei ole laskennassa otettu huomioon. Esimerkiksi Vastatuuleen noustaessa nousu on vintturilta vähemmän energiaa vaativaa työtä kuin myötätuuleen noustessa tai tyynellä ilmalla, jota simulaatio mallintaa.

Interferenssivastus on lentokoneen kahden eri kappaleen vaikutus toisiinsa. Siitä muodostuva yhteisvaikutus on suurempi kuin yksittäisten kappaleiden vastusvaikutus erikseen, esimerkiksi siiven ja rungon välillä tai peräsimen ja rungon välillä. Interferenssivastus johtuu rajakerroksen paksuuntumisesta ja mahdollisesta ennenaikaisesta irtaantumisesta rungon ja siiven pinnalla, koska virtaus hidastuu rungon kyljen tuoman lisäpinta-alan takia siiven edessä ja siiven pinnalla jättöreunaa lähestyessä enemmän kuin ilman runkoa. Irtantuminen saattaa tuottaa turbulenttista virtausta, jonka vastusvaikutus on suurempi kuin laminaarin. /1/ Interferenssivastus on jätetty simulaatiossa pois, toisin sanoen purjekone nousee ilmaan palasina osat riittävän etäällä toisistaan.

Rungon ollessa perästä tylppä, siihen kohdistuu nostovoima kohtauskulman suhteen, kuten myös painevastus. /1/ Koska kurjekoneilla on suippo runko, jätän ne tässä huomioimatta. Rungosta lasketaan vain pinta-alan tuottaman kitkan tuottama vastusvoima.

Simulaatiossa aseteltiin valmiiksi haluttu ratanopeus ajan suhteen toimimaan PI-säätimen referenssiarvona. Tätä verrattiin koneen ratanopeusarvoon ajan suhteen. PI-säätimen lähtö kytkettiin laskentaprosessiin työntövoimaksi. Tämä tehtiin, koska vastusarvot vaativat ratanopeustiedon laskennassa. Haittana on se, että simulaatio ei tuota suoran momentti- tai nopeussäädetyt käytön kuvaajia. Toisin sanoen vintturin kelan säteen muutos aiheuttaa muutoksen sekä nopeudessa että momentissa. Nopeussäädetyssä ohjauksessa nopeus ei muuttuisi, ellei käyttäjä niin haluaisi ja kelan säteen tuottama muutos tehossa piiloutuisi vääntömomentissa esiintyväksi piikiksi. Tosiasiassa ratanopeus ei ole niin optimaalinen, koska vinssausnopeutta säädetään pilotin ja vinssaaajan yhteistyöllä: pilotti ilmoittaa radiopuhelimitse tai konetta kallistamalla, nostetaanko, lasketaanko vai pidetäänkö nopeus samana.

7 SIMULAATION PURJEKONE

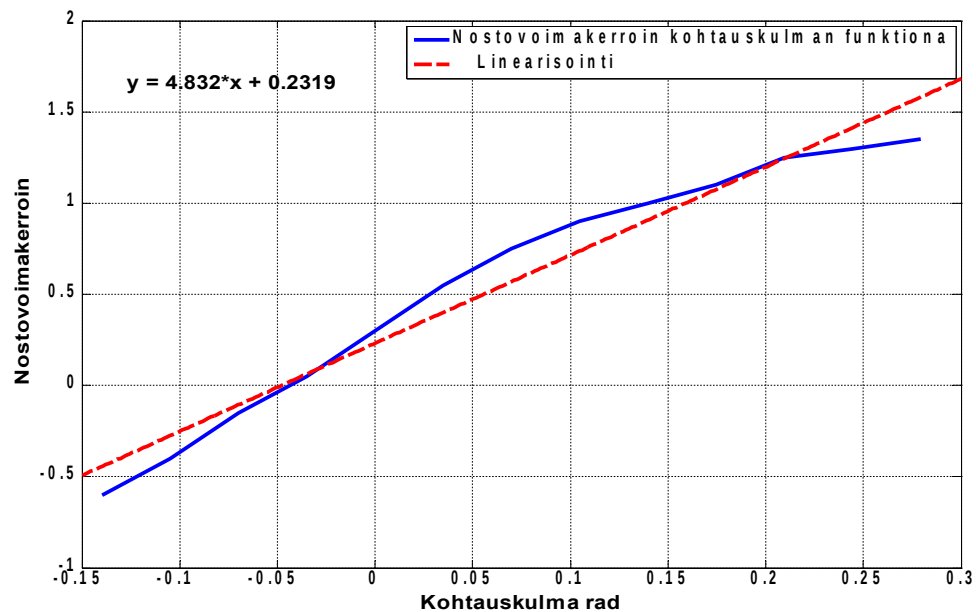
Simulaation laskennassa käytetty purjekone oli suomalaisen Leonard Niemen suunnittelema ja yhdysvalloissa rakennuttama Sisu 1 A -merkkinen purjekone. Tätä konetta valmistettiin vain 11 kappaletta. Kyseinen purjekone niitti mainetta 60-luvulla ilmailupiireissä voittamalla Yhdysvaltojen kansallisen purjelentokilpailun useina eri vuosina ja olemalla ensimmäinen yli 1000 kilometriä liitänyt purjekone. /3/ Valitsin tämän koneen, koska koneen tiedot olivat vaivattomammin saatavilla kuin monen muun koneen (liite 1. ja 2).



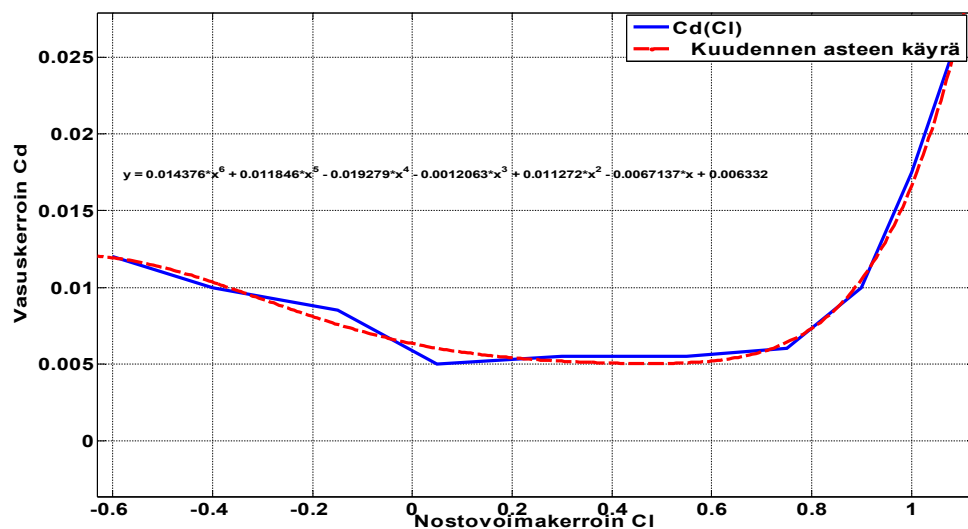
KUVA 1. Sisu 1A /3/

Valitsemani Sisu A1 purjekoneessa on NACA 65(3)-418 $a=0.5$ -siipiprofiili /3/, jonka nostovoimakerron kohtauskulman funktiona on selostettu liitteestä 1. (NACA -National Advisory Committee for Aeronautics) oli NASA:n edeltäjä. Profiilin merkinnöissä ensimmäinen numero viittaa kyseiseen sarjaan ja toinen numero ilmoittaa minipainekohdan x/c -arvon. Kolmas numero, joka on sulkeissa, jaettuna viidellä on sen nostovoimakerron alueen leveys, jolla vastuskerron on minimisään, ja seuraava numero jaettuna kymmenellä on se nostovoimakertoimen arvo, joka on vastuksen minimialueen keskellä. Kaksi viimeistä numeroa on profiilin paksuussuhde prosentteina. /1/

Siiven nostovoimakertoimen ja vastuskertoimen selville saamiseksi loin kuvaajat, jotka mukailevat purjekoneen siiven profiilin nostovoima- ja vastuskertoimien kuvaajia (liite 1). Kohtauskulma on muutettu radiaaneiksi. Nostovoimakertoimen kuvaajan linearisointi antaa nostovoimakertoimen kaltevuuden arvon, jota käytetään kaavassa (5) ja vastuskertoimen kuvaajaa käytetään kaavassa (7).



KUVIO 9. NACA 65(3)-418 $a=0,5$ siipiprofiilin nostovoimakerroin kohtauskulman funktiona (mukaillen liite 1).



KUVIO 10. NACA 65(3)-418 $a=0,5$ siipiprofiilin vastuskerroin nostovoimakertoimen funktiona (mukaillen liite 1).

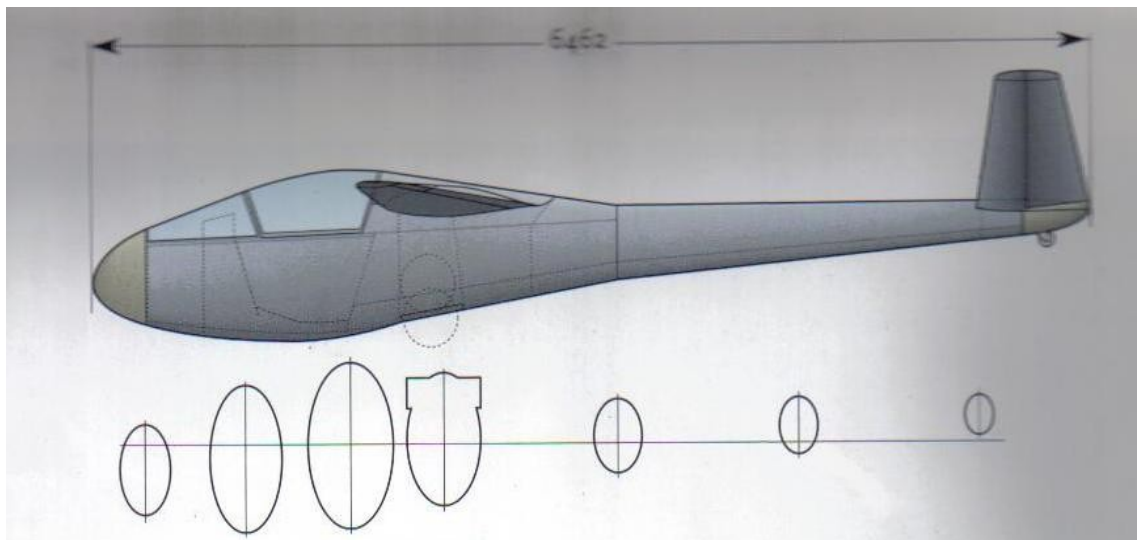
8 RUNGON VASTUKSEN LASKENTA

Rungon tuottama vastusvaikutuksen laskemiseksi käytin kuvaa, joka on liitteessä 2. Ensin mittasin kuvasta elliptisen runko-osan leveyden ja korkeuden, ja jaoin arvot kahdella. Tämän jälkeen muunsin liitteen 2. mitta-arvot rungon mitta-arvoiksi suoraan verrannolla liitteen 2 mitta-asteikkoa hyväksi käyttäen. Sijoitin arvot ellipsin piiriin likimääräiseen laskentakaavaan (12) /2/.

$$p_e \approx a + b + 3 \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \quad (12)$$

Kerroin saadun tuloksen peräkkäisten elliptisten keskiöiden rungon mitta-arvoksi muunnetulla etäisyydellä. Laskin eri elliptisen kehän ja keskiöiden etäisyyden omaavat rungon osat yhteen. Tähän tulokseen lisäsin jokaisen edellisen ja siitä jatkuvan ellipsien pinta-alan (13) erotuksen arvon. Lopulta sijoitin rungon pinta-alan ($S_f = 9,62 \text{ m}^2$) rungon vastuksen laskentakaavaan (11) /2/.

$$A_e = a \cdot b \cdot \pi \quad (13)$$



KUVIO 11. Purjekoneen Sisu 1A runkokuva. Liite2.

Kitkakertoimen arvon laskenta tapahtuu mukailemalla liitteen 3. kitkakertoimen kuvaajaa, kuten nostovoima ja vastuskertoimien kuvaajien kohdalla tehtiin.

Kuvaajassa esiintyvä R_e :n arvo ajan hetkellä t saadaan selville kaavalla (14) /1/.

$$R_e = \frac{v(t) \cdot l_B}{v} \quad (14)$$

v on ilman kinemaattien viskositeetti, $15 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$.

R_e :n kautta selviävä kitkakertoimen arvo ajan hetkellä t sijoitetaan rungon vastusvoiman laskentakaavaan (13) /1/.

9 PERÄSIMEN VASTUKSEN LASKENTA

Peräsimen vastus lasketaan vastaavalla tavalla kuin siiven profiili ja indusoitu vastus. Muutoksia arvoihin tuo vain siiven pinta-ala ja kärkiväli. Laskennan arvoina käytin liitteen 1 arvoja. Peräsimen leveys l_p selviää peräsimen leveyden puolikkaan $\frac{l_p}{2}$ ja peräsimen V-kulman puolikkaan $\frac{90}{2}$ avulla kaavasta (15) ja pinta-ala puolisuunnikkaan kaavasta (16). Simulaatiossa peräsimen kohtauskulma on vastaava kuin koneen kohtauskulma mutta negatiivinen. Se, että tuottaako kyseinen peräsimen siivekkeen kohtauskulman muutos oikeanlaisen voiman kallistamaan kohtauskulmaa, ei huomioitu. Toisin sanoen todellisuudessa peräsimen vastusvoima voi olla pienempi tai suurempi.

$$l_p = \frac{\frac{l_p}{2}}{\sin(45)} \cdot 2 = \frac{1810}{\sin(45)} \cdot 2 = 2559 = 2,559 \quad \text{m} \quad (15)$$

$$A_p = \frac{1}{2} \cdot (a+b) \cdot \frac{l_p}{2} = \frac{1}{2} \cdot (0,57 + 0,285) \cdot \frac{2,559}{2} = 1,088 \quad \text{m}^2 \quad (16)$$

Kohoaminen saadaan aikaiseksi, kun työntövoima kasvaa suuremmaksi kuin vastusvoima ja nostovoima kasvaa suuremmaksi kuin maan vetokiihtyvyyden ja nostettavan massan tuottama painovoima.

Työntövoiman ja vastusvoimien erotus jaettiin massalla (17) jolloin saatiin ratanopeuden suuntainen kiihtyvyys ja tämän integraalista ratanopeus (18).

$$a = \frac{T(t) - D(t)}{m(t)} \quad (17)$$

$$v(t) = \int a(t) dt \quad (18)$$

Nousukiihtyvyys saadaan, kun nostovoiman ja kohotettavan massaan kohdistuvan painovoiman erotus jaetaan kohotettavalla massalla (19). Nousunopeus syntyy tämän integraalista (20).

$$a_y = \frac{\cos[\alpha(t)] \cdot L(t) - m(t) \cdot g}{m(t)} \quad (19)$$

$$v_y(t) = \int a_y(t) dt \quad (20)$$

10 NOSTETTAVAN MASSAN LASKENTA

Vintturinostossa käytetyn langan vuoksi kohotettava massa muuttuu yhtälössä. Pythagoraan lausekkeella (21) saadaan selville purjekoneen maata pitkin kohti vintturia kulkema nopeus ja tämän integraalista (22) kuljettu matka .

$$v_x(t) = \sqrt{v^2(t) - v_y^2(t)} \quad (21)$$

$$s_x(t) = \int v_x(t) dt \quad (22)$$

Etäisyys vintturille ajan hetkellä t (23).

$$S(t) = S_{x_{MAX}} - s_x(t) \quad (23)$$

$$S_{x_{MAX}} = \text{Lähtöpaikan ja vintturin välinen etäisyys, 1350 m.}$$

Nousunopeuden (20) integraalista syntyy korkeus (24). Vintturin ulkopuolella olevan langan pituus, joka vaikuttaa kiskottavaan ja nostettavaan massaun sekä ilmanvastukseen, saadaan selville kaavalla (25). Nostettava massa seuraa kaavasta (26).

$$h(t) = \int v_y(t) dt \quad (24)$$

$$S_l(t) = \sqrt{S(t)^2 + h(t)^2} \quad (25)$$

$$m(t) = S_l(t) \cdot \left[\frac{d_l}{2} \right]^2 \cdot \pi \cdot \rho_l \cdot \sin[\beta(t)] + m_k \quad (26)$$

d_l on langan halkaisija, [9,6 mm] /18/

ρ_l on langan tiheys, $[511,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}]$. /18/

m_k on koneen massa, [347 kg] /4/

$\beta(t) = \sin^{-1}[\frac{h(t)}{S_l(t)}]$ on maan ja langan välinen kulma, [°].

11 TEHON JOHTAMINEN VINTTURILLE

Vintturinostossa vaijerin ja maan välinen kulma muuttuu vinssauksen edetessä. Tehon johtaminen koneen lentoradalta maahan vintturille tapahtuu seuraavasti, kun tiedetään ajan suhteen koneen ratanopeus ja kohtauskulman arvo:

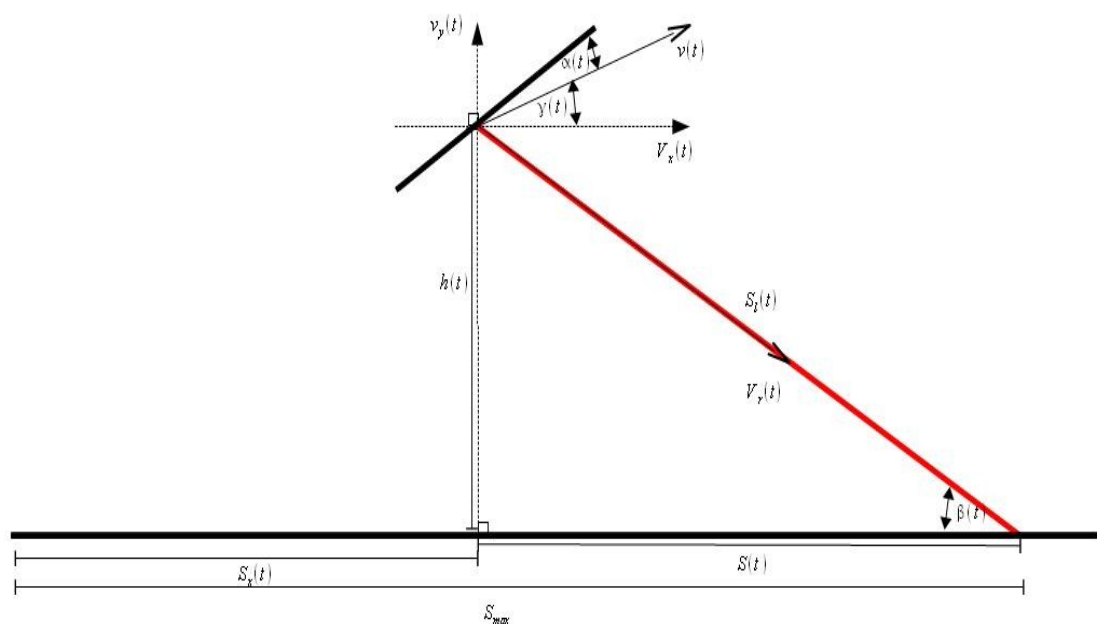
Lasketaan yhteen kulma $\beta(t)$, lentoradan kulma vaakatasoon nähden (27) ja kohtauskulma $\alpha(t)$, syntyy kulma $\delta(t)$ (28), jonka mukaan teho välittyy.

$$\gamma(t) = \sin^{-1} \left[\frac{v_y(t)}{v(t)} \right] \quad (27)$$

$$\delta(t) = \beta(t) + \gamma(t) + \alpha(t) \quad (28)$$

Vintturin langan kiskontanopeus selviää kaavasta (29).

$$v_r(t) = \frac{d}{dt} \sqrt{S_{x_{MAX}}^2 - S_l^2(t)} \quad (29)$$



KUVIO 12. Nopeudet, etäisyydet ja kulmat.

Tehon, jolla vintturin pitää kiskoa konetta, on johdetun työntövoiman (30) ja langan kiskontanopeuden tulo (31).

$$T_r(t) = \frac{T(t)}{\cos[\delta(t)]} \quad (30)$$

$T(t)$ = Työntövoima, N

$T_r(t)$ = Johdettu työntövoima, N

$$P_r(t) = V_r(t) \cdot T_r(t) \quad (31)$$

$V_r(t)$ = Langan kiskontanopeus, m/s

12 SÄDE, MOMENTIT JA PYÖRIMISNOPEUS

Vintturin kelan säde ja johdettu työntövoima määrittävät moottorin kuormavääntömomentin (33). Vintturin kelan säde tyhjänä on 25 cm ja kelan leveys on 48 cm. Vintturin kiskoessa ohjuri ohjaa langan ensin kelan koko leveydeltä, jonka jälkeen säde kasvaa langan vahvuuden verran. Simulaatiossa langan vahvuus ei kiskontavoiman suhteen muutu.

Rakensin simulaatiossa säteen laskennan käyttäen swicher- lohkoa, joka kasvattaa sädettä vaiheittain. Sisäänkiskotun langan pituuden (32) savuttaessa pituuden, joka on yhtä suuri tai suurempi, kuin senhetkisen ja edellisten säteiden avulla yhteenlaskettu kokonaispituus, kasvaa säde langan paksuudella.

$$S_r(t) = \sqrt{S_{x_{max}}^2 - S_l^2(t)} \quad (32)$$

$S_r(t)$ = Sisäänkiskotun langan pituus, m

$$M_k(t) = r(t) \cdot T_r(t) \quad (33)$$

$r(t)$ = Vintturin kelan säde, m

$M_k(t)$ = Moottorin kuormavääntömomentti, Nm

Vintturin kiskoessa lankaa kelansa ympärille muuttuu kelan säteen ja pyörimisnopeuden lisäksi myös sen massa. Laskennassa en huomionut kelan tyhjäpainoa vaan kelan massan muodosti vain kelan ympärille kietoutuva lanka. Liikemäärämomentin (35) laskennassa käytetään hyväksi paksuseinäisen renkaan hitausmomentin laskentakaavaa (34) /2/ sekä moottoritaulukosta saatavaa vakiona pysyvää moottorin omaa hitausmomenttia (taulukko 1). Lopulta lasketaan yhteen prosessin kuormamomentti ja liikemäärämomentti, jotta saadaan selville moottorilta vaadittava momentti (36).

$$J(t) = \frac{1}{2} \cdot m_l(t) \cdot [r_t^2 + r(t)^2] \quad (34)$$

r_t = Vintturin kelan säde tyhjänä, [0,25 m].

$m_l(t)$ = Vintturin kelan massa, [kg].

$J(t)$ = Vintturin kelan hitausmomentti, [kg·m²].

$$M(t) - M_k(t) = J_m \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) \cdot \frac{dJ(t)}{dt} \quad (35)$$

$M(t) - M_k(t)$ = Liikemäärämomentti, [Nm].

J_m = Moottorin hitausmomentti, [kg·m²].

$$M(t) = M_k(t) + [M(t) - M_k(t)] \quad (36)$$

Pyörimisnopeus tehon ja vääntömomentin avulla selviää kaavalla (37).

$$n(t) = \frac{P_r(t)}{M(t) \cdot 2 \cdot \pi} \quad (37)$$

13 LANGAN VASTUS

Koneelta vintturille käytettävän langan vastus on pääsääntöisesti painevastusta. Ensin vaijerin pituus $S_l(t)$ jaetaan osiin, jotka ovat pituudeltaan $0,01 \cdot S_l(t)$. Kunkin osa on tietyllä tunnetulla etäisyydellä pitkin lankaa. Kulman $\beta(t)$ derivaatan ja langan eri etäisyyksien arvojen tulo antaa ratanopeuden (38) kullekin eri etäisyyden arvolle. Lopuksi ratanopeuden arvo sijoitetaan kaavaan (39) /2/ ja eri etäisyyksiltä saadut vastusvoiman arvot summataan yhteen.

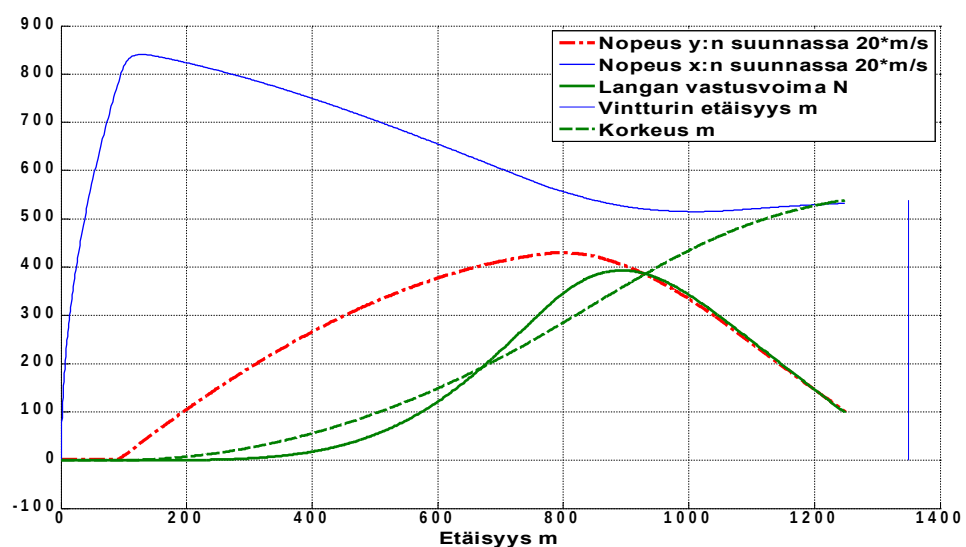
$$v_l(t) = \frac{d}{dt} \cdot \beta(t) \cdot 0,01 \cdot S_l(t) \quad (38)$$

$v_l(t)$ on langan eri etäisyyksien ratanopeus, [m/s].

$$F_l = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot d_l \cdot 0,01 \cdot S_l(t) \cdot C_{d_r} \cdot V_l^2(t) \quad (39)$$

$F_l(t)$ on eri etäisyyksien vastusvoima, [N].

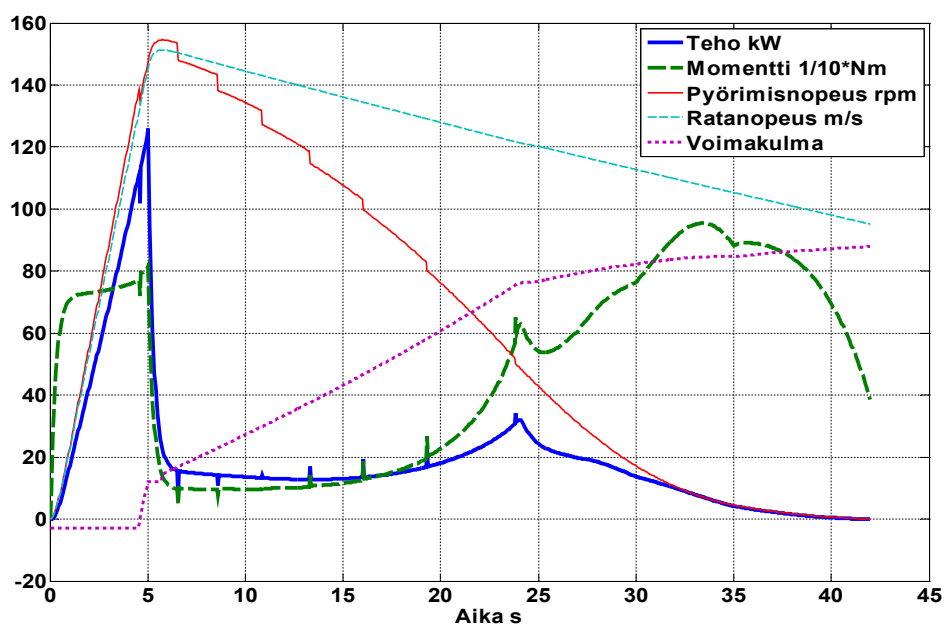
C_{d_r} on langan vastuskerroin, [1,3] /19/.



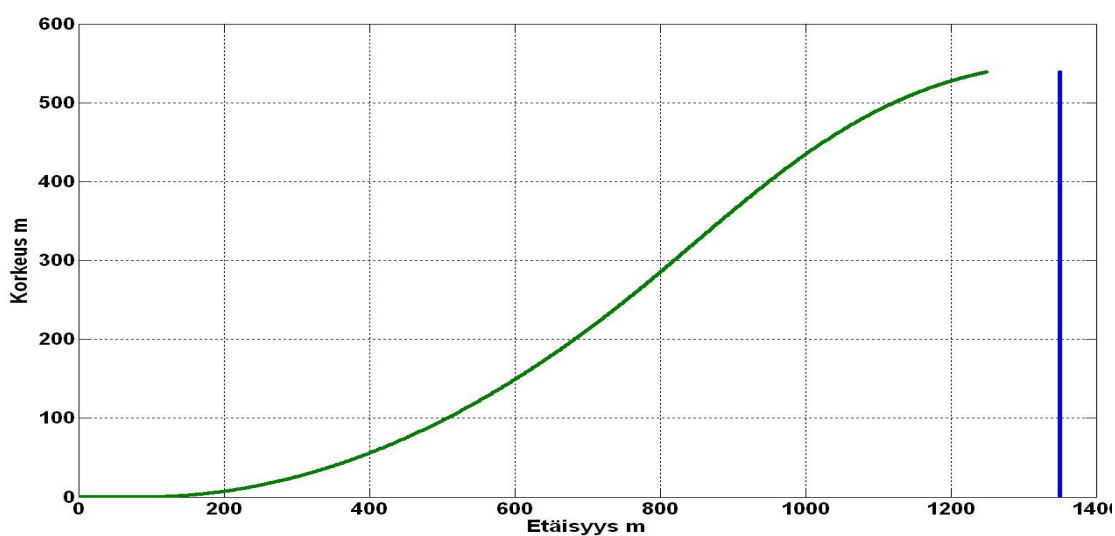
KUVIO 13. Kuvaajasta käy ilmi langan kokonaisvastusvoima sekä siihen vaikuttavat nopeuden komponentit, purjekoneen korkeus ja vintturin etäisyys.

14 SIMULAATION LASKENTATULOKSET

Kuvaajat kertovat vinssaustyön aikana tapahtuvista muutoksista, jotka vaikuttavat moottorin, akuston, superkondensaattoreiden ja johtimien mitoittamiseen ratkaisevasti, mutta myös antavat vertailupohjan eri vinssaustapojen kesken.

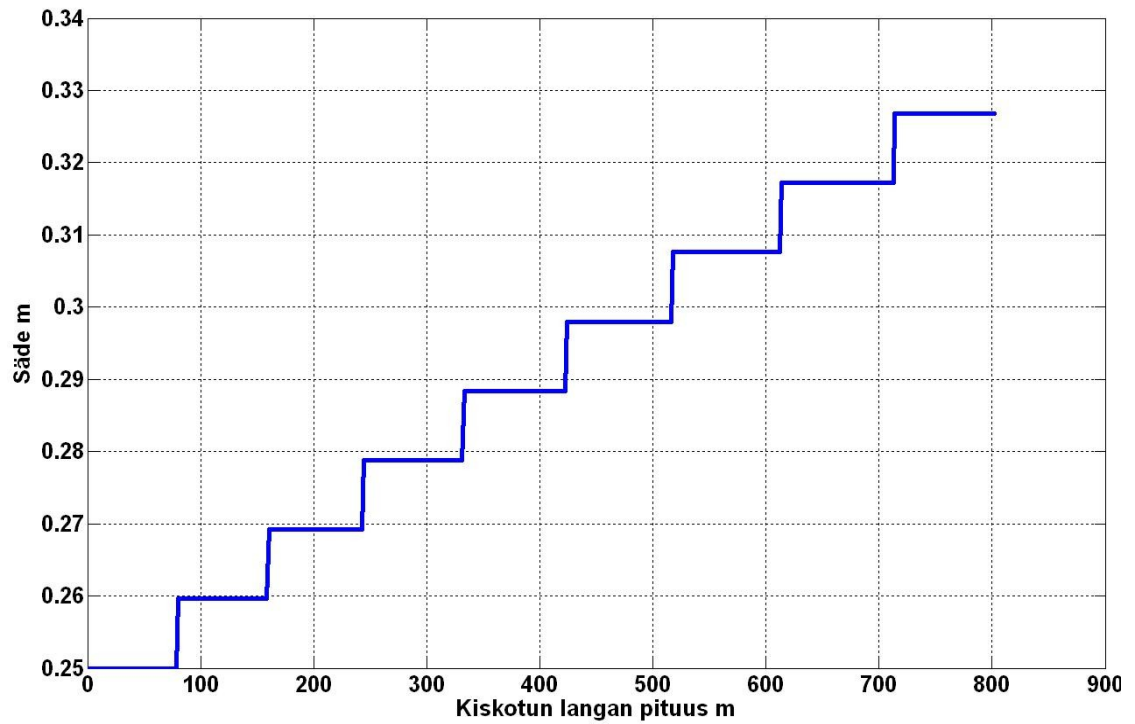


KUVIO 14. Simulaation laskennat eri tekijöille ajan funktiona.

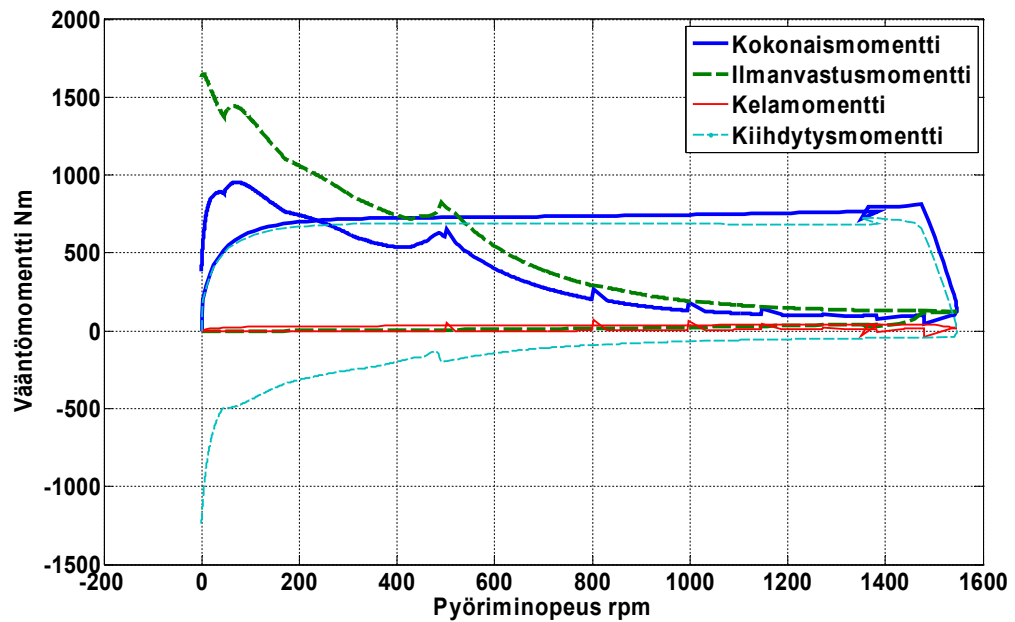


KUVIO 15. Simulaation laskennan korkeus etäisyyden funktiona.

Pystyviiva on vintturin etäisyys purjekoneen lähtöpaikalta 1350 m.



KUVIO 16. Kelan säde $r(t)$ kiskotun langan $S(t)$ funktiona.



KUVIO 17. Momentit pyörimisnopeuden funktiona. Kelan momentin laskentaan on sisällytettyä myös sähkömoottorin vakiona pysyvä inertia, vaikka valittua moottoria ei tässä yhteydessä ole vielä esitelty.

Suurimmat vääntömomentit vaaditaan moottorilta, kun purjekone on kiihdytetään maksiminopeuteensa, vaikka kulma $\delta(t)$ onkin alussa varsin vaatimaton ja loppuvaiheessa, kun kulma $\delta(t)$ on kasvanut suureksi (kuvio 14)., vaikka nopeus laskee (kuvio 17).

15 HYBRIDIVALINTA

Tyypiltään vintturihybridi olisi blug- in sarjahybridi. Tähän on suurin syy se, että tällöin päästään riippumattomuuteen kahden eri lähde-energianmuodon välillä (diesel ja sähkö), mikäli laitteisto on täysin kunnossa. Eli ilmaan päästään samalla teholla, vaikka hyötysuhteen kustannuksella, jos sähköä ei ole saatavilla. Lisäksi polttomoottorin vikaantuessa voidaan laitetta käyttää yhtä tehokkaasti vielä sähköisenä. Samassa vikatilanteessa rinnanhybridin tehonantokyky laskee merkittävästi, koska polttomoottori tuottaa merkittävän osan koneen tehosta. /11/ Jaetun tehon hybridin valinnasta sulki pois sen monimutkaisuus, kalleus ja se että laitteiston generaattori pitää mitoittaa huippuvääntömomenttiltaan yhtä suureksi kuin polttomoottori, joka osallistuisi myös kuorman vääntömomentin tuottoon. /11/ Sarjahybridin Akilleen kantapää onkin sähköisen osuuden toimivuus ja luotettavuus.

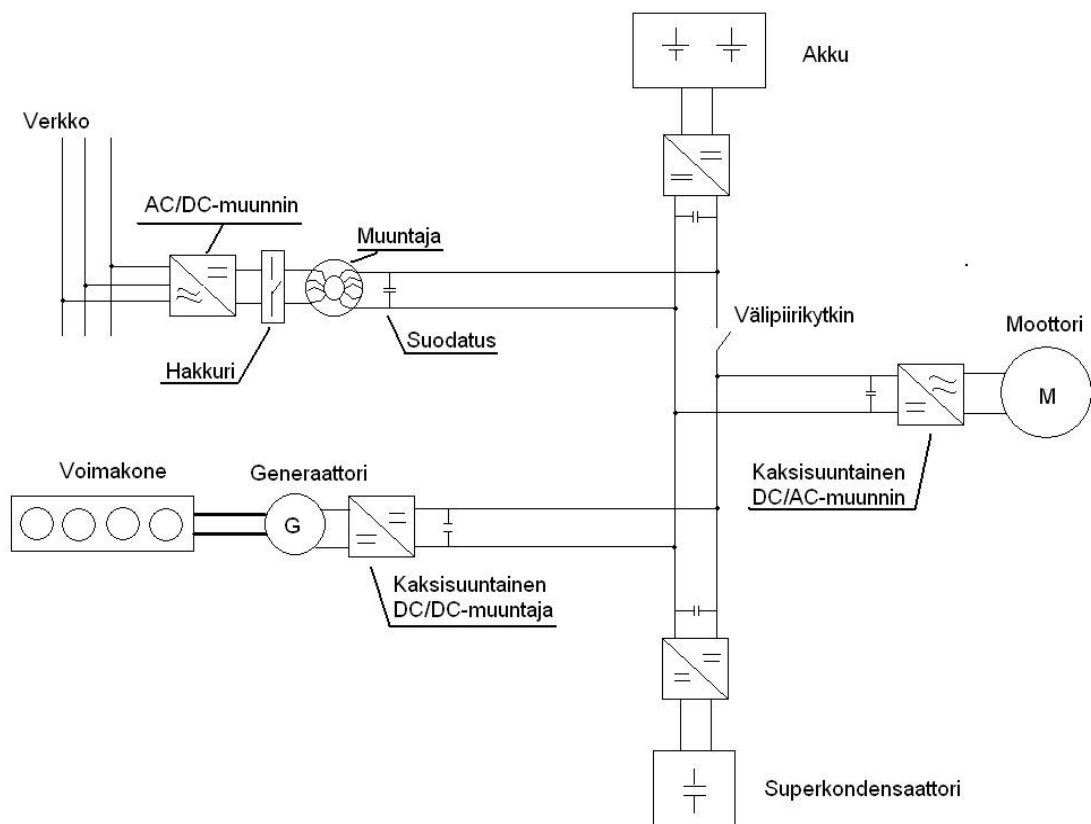
Vintturit ovat usein kentällä niille valitulla paikalla josta ne toimittavat purjekoneita ilmaan. Tällöin on järkevää ladata yön aikana akku, josta päivällä puretaan energia nostotyöhön hyvällä hyötysuhteella. Kun ilmaan nousijoita on enemmän, kuin mihin akuston energia on mitoitettu, siirrytään sarjahybridi tilaan ja voimakone tuottaa kaiken tarvittavan energian. Vinssaustyön edelleen jatkuessa, ilman vintturin akuston latausta, alkaa kokonaishyötysuhde vasta tällöin laskemaan, eli hybridin käyttöpaino on sähkökäytössä. Käytännössä nostotöitä ei vintturille kohtuuttoman montaa kertaa päivän aikana tule.

Sen lisäksi, että vintturin akkua voidaan ladata verkosta huoltorakennuksen seinästä voisi akkua ladata myös tuuli ja aurinkoenergian turvin. Tämä on järkevää, koska vinssauksen vaatima ekvivalenttinen teho on matala verrattuna kiihdytyksen vaatimaan tehontarpeeseen. Tässä tilanteessa aurinkojärjestelmäkin on varteenotettava vaihtoehto, koska purjekoneilla lennetään pääsääntöisesti aurinkoisina päivinä esiintyvien termiikkien takia, jotka mahdollistavat lentokorkeuden nostamisen korkeammalle tasolle.

Jn-Solar myy SWG-merkkistä 2kw:n tuulivoimalaa 9m:n mastolla. Kahden kilovatin teho saavutetaan kun tuulennopeus on 9 m/s:ssa. /20/

Sirling energy systems myy The Sun Catcher merkkistä auringonsäteiden kohdistavan barabolisen peilin ja free piston stirlingmoottorin yhdistelmää, jonka keskimääräinen hyötysuhde auringosta sähköenergiaksi on 26 %:a ja huipputeholla 31,25 %:a. /21/

Vaadittu energianmuunnos sarjahybridikäytössä polttoaineesta sähköksi voi tapahtua millä tahansa polttomoottorilla, tässä työssä polttomoottorioletuksena on dieselmoottori. Sirlingmoottori, voisi myös toimia itse hybridissä, tällöin päästäisiin suurempaan vapauteen polttoaineen muodon suhteen. Ainut rajoitus olisi polttoaineen annostelutapa. Annostelutapa muuttuisi sen mukaan onko polttoaineen muoto kaasu, neste vai kiinteä. Ongelmaksi voi nousta kuitenkin stirlingmoottorin hinta. koska kyseistä moottorityyppiä ei ole myynnissä samalla volyymillä kuin esimerkiksi dieselmoottoireita.



KUVIO 18. Sarjahybridin komponentit.

16 SÄHKÖMOOTTORIN VALINTA

Moottorin valinnan kulmakivenä toimi vaaditun kuormituksen vääntömomentin kuvaaja pyörimisnopeuden suhteen kuten. (kuvio 19). Kuvaajan arvojen avulla mitoitetaan sopiva sähkömoottori siten, että moottorilta vaaditun vääntömomentin arvo on noin 70% moottorin kippimomentista. Lähin työhön sopiva moottori (taulukko 1).

$$M_{max} = M_n \cdot \frac{M_{max}}{M_n} \cdot 1,19 \cdot 0,7 = 486 \cdot 3 \cdot 1,19 \cdot 0,7 = 1214,5 \text{ Nm} \quad (40)$$

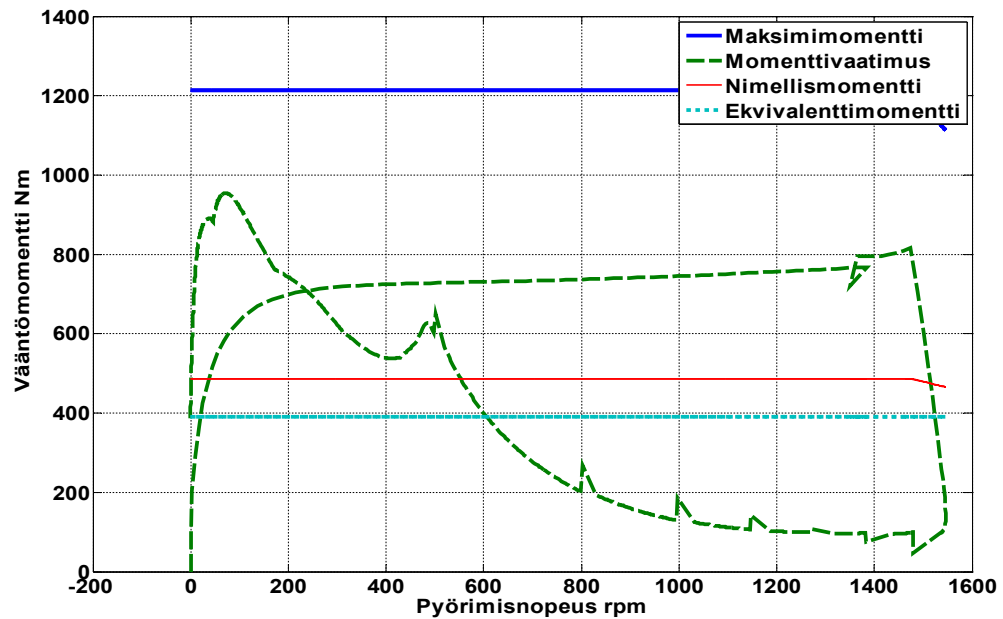
$$M_e = \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \cdot \int M^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{42+50} \cdot \int M^2(t)} = 389,9 \text{ Nm} \quad (41)$$

TAULUKKO 1. /22/

Alumiinirunkoiset vakimoottorit**Täysin suljetun, kolmivaiheisen oikosulkumoottorin tekniset tiedot**

IP 55, IC 411; Eristysluokka F, lämpenemisluokka B

Teho kW	Moottorin tyyppi	Tuote- koodi	Nopeus r/min	Hyötysuhde		Teho- kerroin cosφ	Virta		Momentti			Hitaus- momentti J=1/4 GD ² kgm ²	Äänen- paine- taso LP kg dB(A)		
				Täysi	3/4		I _N	I _S	T _N	T _S	T _{max}				
				100%	75%		A	I _N	Nm	T _N	T _N				
4-napainen = 1500 r/min				400 V 50 Hz				Vakiorakenne						EFF I	
75	M3AA 280 SMA	3GAA 282 001-••C	1480	94.8	95.3	0.86	132	7.1	486	2.7	3.0	0.88	380	67	



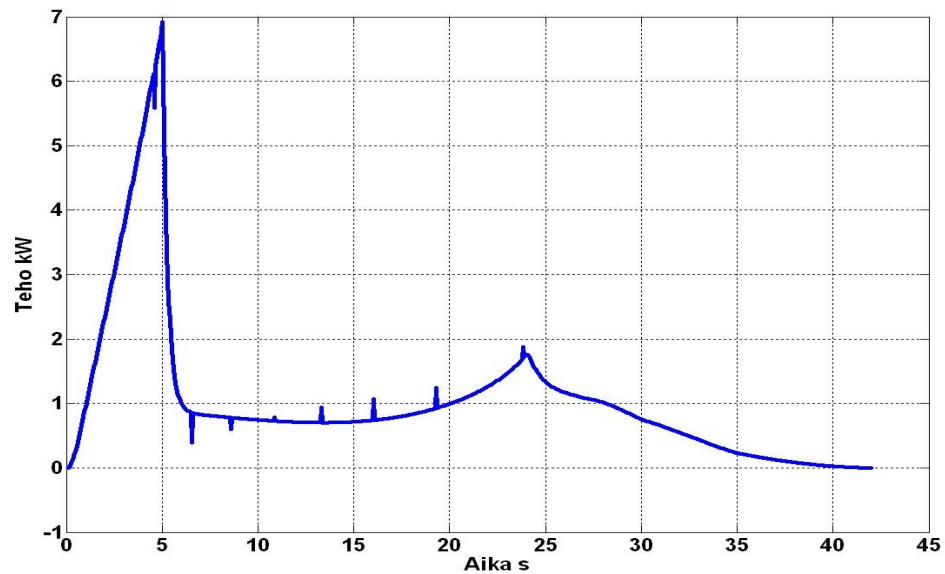
KUVIO 19. Moottorin huippumomenttikuvaaja on 70%:ia kippimomentista.

Ekvivalenttinen momentti kuormittaa moottoria termisesti yhtä paljon kuin koneen momenttivaatimuskin ja se on luotu olettaen, että vinssauksen kuluvan ajan 40 sekunnin jälkeen naru kuljetetaan seuraavana vuorossa olevalle purjekoneelle 50:ssä sekunnissa. Tämä on mahdollista, jos etäisyys 1350 m kuljetaan keskinopeudella 97,2 km/h. Aikaa joka kuluu langan laskeutumiseen alas, ajoneuvoon kiinnittämiseen ja perillä purjekoneeseen kiinnittämiseen ja ajoneuvon kiihdyttämistä ei otettu huomioon. Eli todellisuudessa moottorin seisonta-aika on hieman pidempi, mutta lyhennetystä seisonta-ajasta huolimatta ekvivalentti vääntömomentti $M_e < M_n$. Tästä syystä erillistuuletus ei ole tarpeen.

Koneen häviöteho joka täytyy johdattaa pois koneesta tuuletuksen avulla (kuvio19) saadaan lasketuksi kaavalla (42).

$$P_h(t) = \frac{P_r(t)}{\eta_m} - P(t) \quad (42)$$

η_m = Moottorin hyötysuhde, 94,8%



KUVIO 20. Häviötehon kuvaaja

Moottorin vaatima virta muuntuu vaihtosuunajassa taulukon 1 määrittelemästä 400 V:sta 530 V:iin. Muutokset laskennan momentti ja virta-arvoihin (taulukko 2), jossa käytin 550 V:n arvoja. Moottorivirrat ovat (43), (44), (45), (46) ja (kuvio 21). Vaihtosuuntaaja kompensoi tehokertoimen 0,98:ksi.

TAULUKKO 2. /22/

Moottorin käämitys	230V		400V		500V		690 V	
Kytetty 50 Hz:iin	220V	230V	380V	415V	500V	550V	660V	690V
% arvoista, kun 400V, 50 Hz								
Teho	100	100	100	100	100	100	100	100
I_N	182	174	105	98	80	75	61	58
I_S/I_N	90	100	90	106	100	119	90	100
T_S/T_N	90	100	90	106	100	119	90	100
T_{max}/T_N	90	100	90	106	100	119	90	100

$$I_p(t) = \frac{\frac{P_r(t)}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\varphi)} \quad (43)$$

$$I_p(t) = \text{Pätövirta, A}$$

$$I_q(t) = \tan[\cos^{-1}(\cos(\varphi))] \cdot I_p(t) = \tan[\cos^{-1}(0,98)] \cdot I_p(t) \quad (44)$$

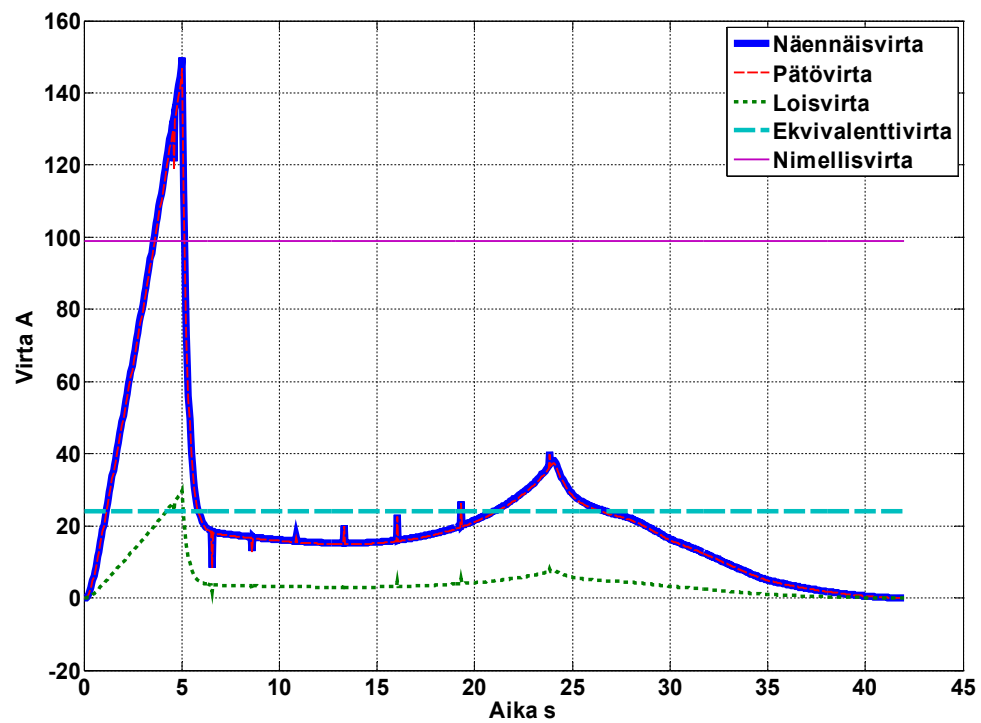
$$I_q(t) = \text{Loisvirta, A}$$

$$I_s(t) = \sqrt{I_p^2(t) + I_q^2(t)} \quad (45)$$

$$I_s(t) = \text{Näennäisvirta, A}$$

Ekvivalenttivirran laskenta (46).

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \cdot \int I_s^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{42+50} \cdot \int I_s^2(t)} = 24 \text{ A} \quad (46)$$



KUVIO 21. Vaihtosuuntaajan ja moottorin välillä kulkevien päävirtojen kuvaajat.

17 TASAJÄNNITEVÄLIPIIRI

Tasajännitevälipiiri mahdollistaa hybridikäyttöille tyypillisen monipuolisen lähde-energian käytön. Akustolta ei pystytä ottamaan suuria purkausvirtoja. Tällöin huipputehopiikit kannattaa ladata superkondensaattoreihin, jotka kykenevät käsittelemään suuria tehoja. Superkondensaattoreiden korkean hinnan vuoksi niihin ei ole viisasta ladata nostotyöhön vaadittua kokonaisenergiaa. Lisäksi kondensaattorimoduulin kautta kulkeneen energian hyötysuhde on matalampi, kuin suoraan akustolta tulleen energian, koska välissä on useampi energian muodonmuunnos.

Verkkomuuntajan kohdalla menetellään, siten että ensin verkkovirta tasasuunnataan ja tämän jälkeen sitä katkotaan akuston tasavirtamuuntajan hakkurilla suurella taajuudella. Tai mikäli sähkönsyötössä on riittävän suuri sulake voidaan käyttää myös muuntajan omaa hakkuria, jolloin tehoa verkosta voidaan käyttää suoraan ilman, että se varastoidaan ensin akustoon. Verkosta katkotuilla suuritaajuisilla tasavirtapulsseilla saavutetaan muuntajan pieni fyysinen koko. /23/ Tämän saman asian voi myös todeta Faradayn induktiolaista.

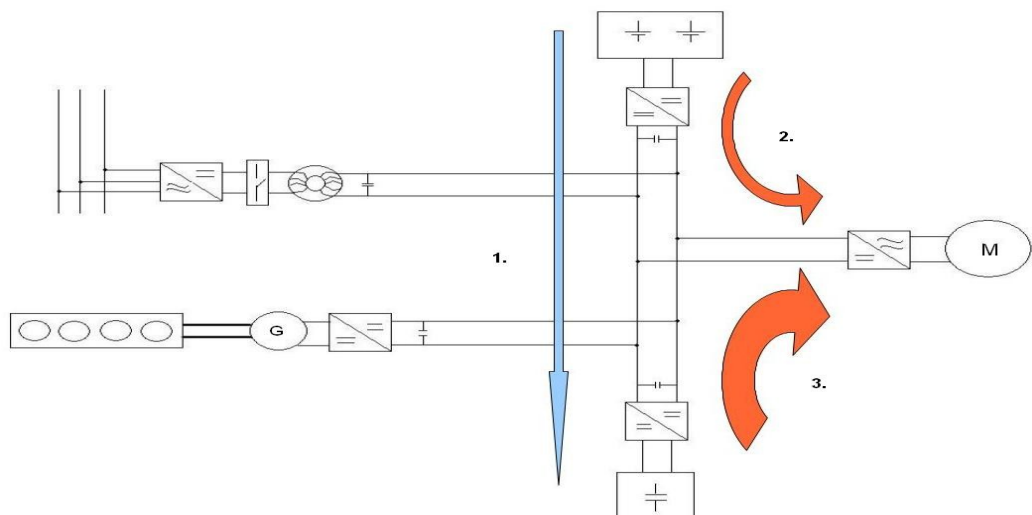
Maasta erottaminen on järkevää myös sähköjärjestelmän kannalta, koska verkkosyötöstä muodostettu tasajännitteen negatiivinen jännite on maan nollapotentiaalista poikkeava. Ilman galvaanista erotusta maan ja negatiivisen navan välille syntyisi merkittävä potentiaaliero. Vintturijärjestelmässä kaapeloidaan myös negatiivinen johto, koska miinusnapaa ei kytketä koneen runkoon. Tämä siksi koska tällöin vältetään tilanteelta jossa henkilö on yhteytenä rungon (negatiivinen potentia) ja positiivisen navan välillä. Kyseessä on ns. kelluva järjestelmä /11/. Polttomoottori-generaattorijärjestelmässä käytettäisiin tasajännitetahtigeneraattoria ja kaksisuuntaista DC/DC-muuntajaa, joka nostaisi tasasähkögeneraattorin jännitteen välipiirin tasolle. Kaksisuuntainen tehonsyöttö on välttämätön, koska kyseistä generaattoria voitaisiin tällöin käyttää myös starttimoottorina polttomoottorin käynnistykseen yhteydessä. Liite 9 on järjestelmän sähkökuva.

18 KÄYTTÖTILAT

Perinteisesti purjekoneiden vintturin nostotyön lähde-energianmuotona toimii kevyt polttoöljy, mutta blug-in sarjahybridijärjestelmässä dieselin tuottama energia on vain yksi mahdollisuuksista. Kaksi muuta lähdettä ovat yleisen sähköverkon tuottama energia ja ei niin vakaa saarekkeellinen energiantuotto uusiutuvista energianmuodoista. Edellä olevista tehon virtauskuvista käy ilmi erot eri käyttötapojen välillä.

18.1 Akkukäyttö

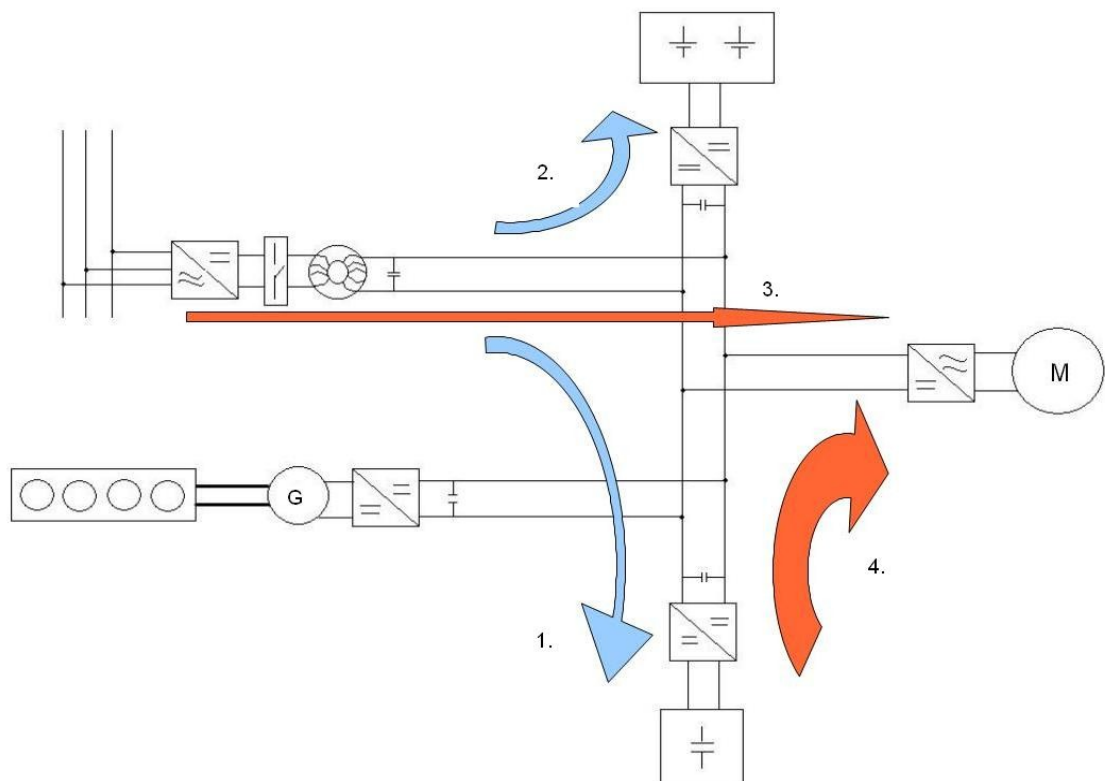
Akkukäytössä vintturin akusto ladataan yöllä ja sitä käytetään päivällä. Superkondensaattorimoduulia ladataan akustolta vintturin seisontatilassa (kuvio 22), nuoli 1. Nostoprosessin tehovaatimus, joka ylittää akuston antaman jatkuvan tehon (kuvio 22) nuoli 2, otetaan superkondensaattoreilta (kuvio 22) nuoli 3. Huomioitavaa myös on, että energia mikä siirtyy suoraan akustolta nostoprosessin aikana invertterin kautta moottorille tuottaa vähemmän häviöitä, kuin kondensaattorin kautta kulkeva energia. Tästä syystä kondensaattorin kautta kannattaa kuljettaa vain osa energiasta. Lisäksi, jos koko nostoenergia varastoitaisiin seisonta aikana superkondensaattoriin, josta se käytettäisiin nostotyöhön, vaatisi myös suuremman kondensaattorimoduulin ja näin nostaisi hintaa.



KUVIO 22. Akkukäyttö

18.2 Verkkokäyttö

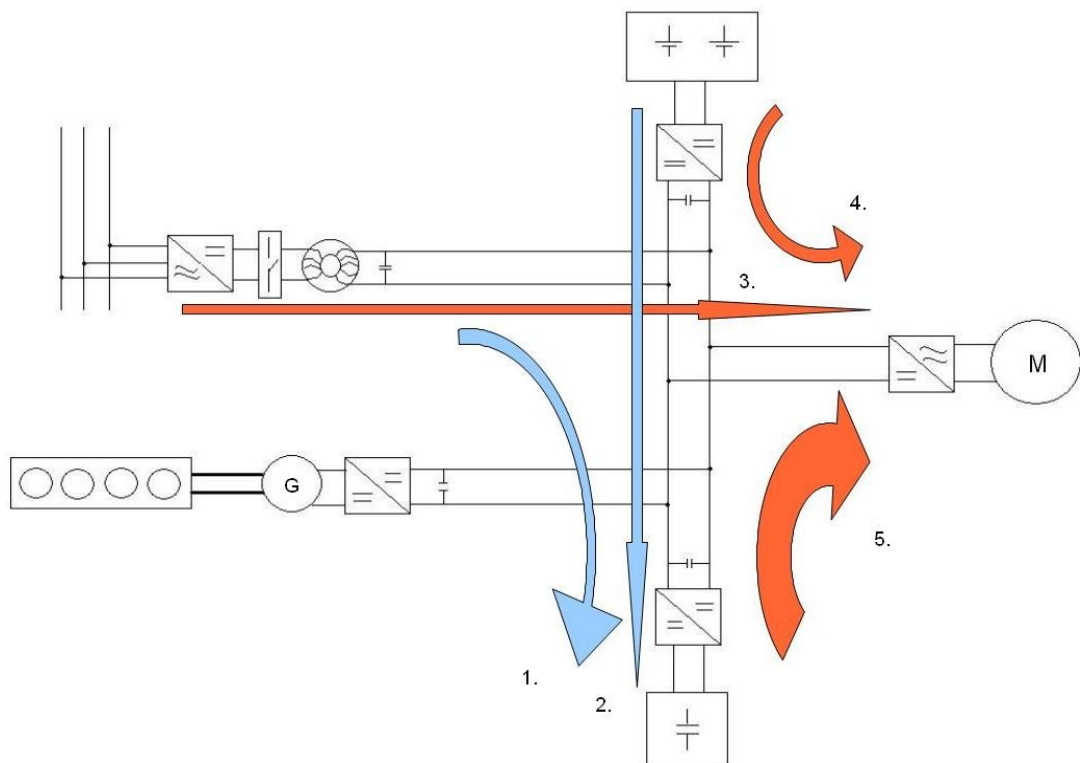
Verkkokäytössä vintturi on jatkuvasti kytkettynä valtakunnanverkkoon josta se saa jatkuvan tehon. Tällöin täytyy olla selvillä syöttösulakkeen koko, jotta tarpeeksi suuri teho saadaan syötettyä välipiiriin. Seisonta-aikana superkondensaattorit ladataan täyteen (kuvio 23) nuoli 1. Mikäli latausaika on lyhyempi kuin seisonta-aika ladataan myös akustoa (kuvio 23) nuoli 2, jos tarve näin vaatii. Nostoaikana nostotehontarpeen kasvaessa alkaa verkosta akustolle vievä teho (kuvio 23) nuoli 2 ohentua sitä mukaa kuin verkosta sähkömoottorille kulkeva teho, nuoli 3 levenee. Verrkotehon ylittävä osa otetaan kondensaattoreilta nuoli 4.



KUVIO 23. Verkkokäyttö

18.3 Ekokäyttö

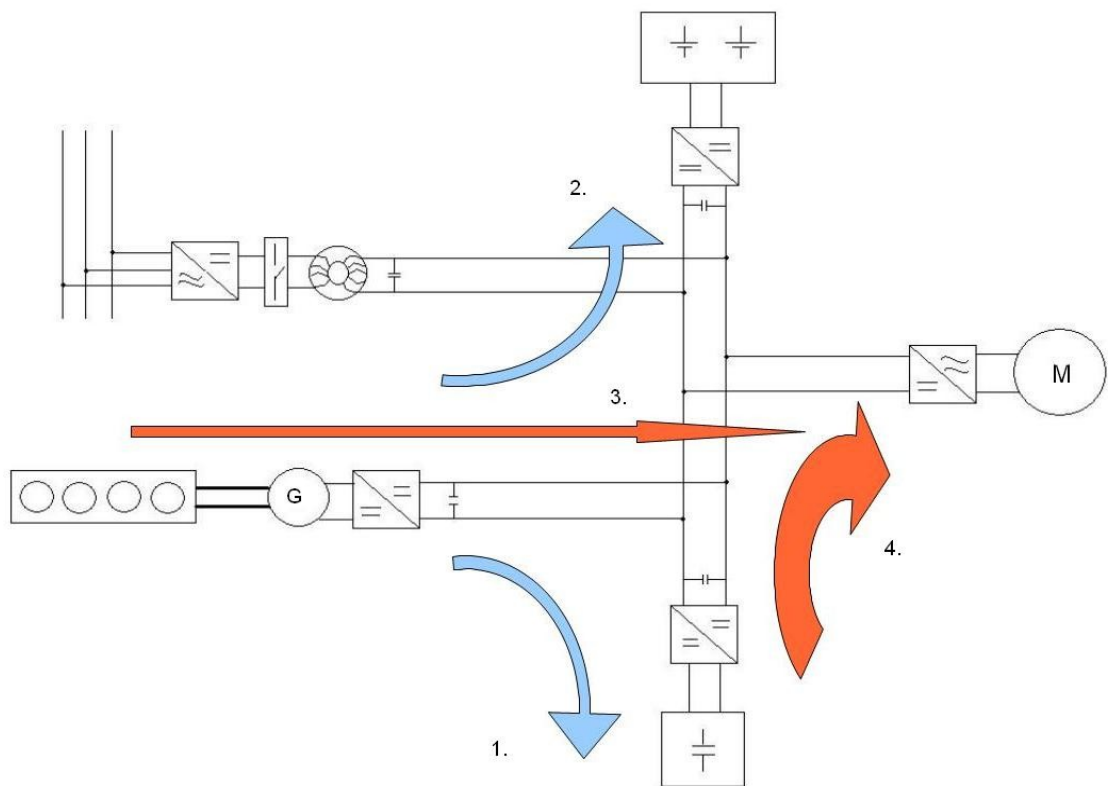
Ekokäytössä verkosta tuleva teho (kuvio 24) nuoli 1 ei ole vaaditun vakiotehon suuruista tai se on vaihtelevaa. Tämä voi olla tilanne, kun esimerkiksi tuulienergiajärjestelmän puskuroiva akusto on kulutettu loppuun ja verkosta vintturille tulee vain tuulennopeuden mukaan muuttuva raakateho. Tällöin seisonta-aikana asetetaan akustolta lähtevä teho (kuvio 24) nuoli 2 sopivaksi verkkotehon mukaan eli se on vakiotehon ja verkkotehon erotus. Nostoaikana verkkoteho nuoli 3 ja akustoteho nuoli 4 tuottavat vakiotehon ja tehohiiput katetaan kondensaattoreihin jo varatulla energialla nuoli 5.



KUVIO 24. Ekokäyttö

18.4 Hybridikäyttö

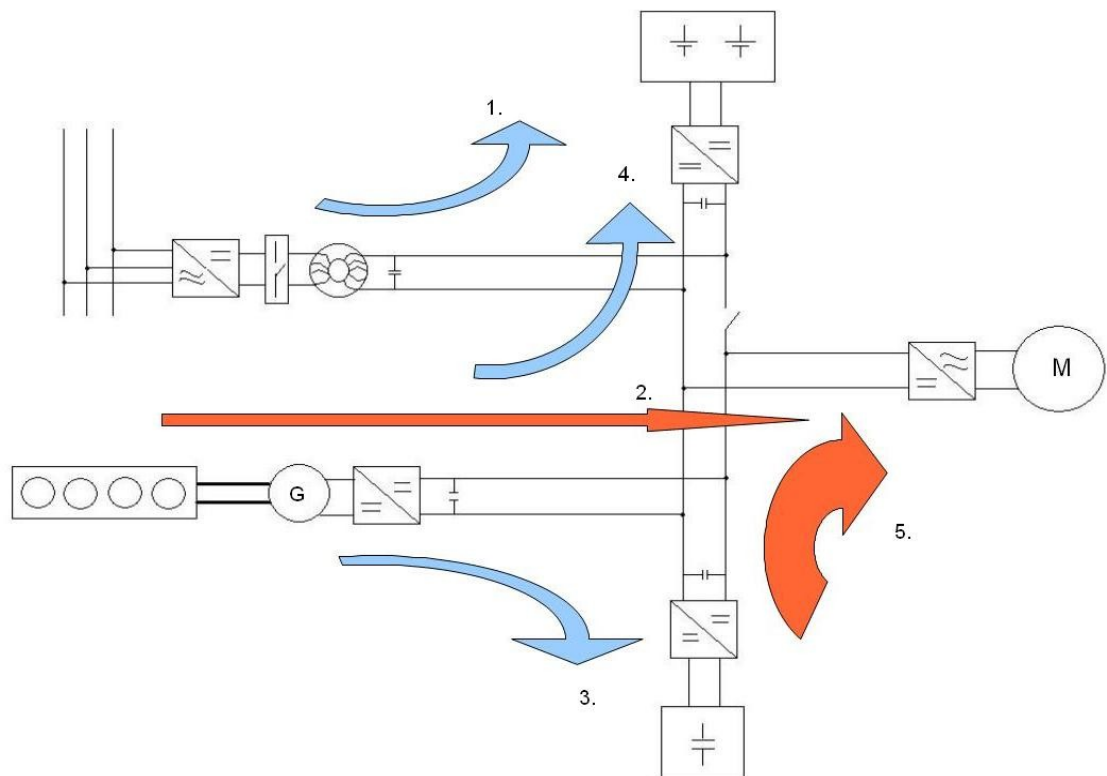
Hybridikäytössä vakioteho otetaan polttomoottori-generaattori yhdistelmästä, josta seisonta-aikana ensin ladataan kondensaattorit (kuvio 25) nuoli 1 ja tämän jälkeen akustoa nuoli 2. Nostoaikana M/G yhdistelmästä aksutolle kulkeva teho nuoli 2 alkaa laskemaan nostotehovaatimuksen noustessa ja häviää kokonaan, kun nostoteho vaatii kaiken vakiotehon nuoli 3. Vakiotehon ylittävä osuus otetaan kondensaattoreilta nuoli 4. Dieselmotor asetellaan optimaaliselle jatkuvan tehon syötölle, jolloin sen hyötysuhde on paras mahdollinen.



KUVIO 25. Hybridikäyttö

18.5 Diesel- ja verkkokäyttö

Mikäli akusto on tyhjä mutta on mahdollisuus saada verkkotehoa voi polttomoottoria käyttää myös rinnan verkkotehon kanssa. Verkkoteho käytettäisiin kokonaisuudessaan akun lataamiseen (kuvio 26) nuoli 1 kondensaattorien purkautumisaikoina. Tämän mahdollistaa tasajännitevälipiiriin sijoitettu kytkin. M/G yhdistelmän teho käytettäisiin nostoaikana nostotyöhön nuoli 2 ja seisonta-aikana kondensaattorien ja akuston lataamiseen nuoli 3 ja 4. Siten vältetään polttomoottorin useilta käynnistys ja sammutustöiltä, jotka laskisivat käytön hyötysuhdetta. Nostotyöaikana voimakoneen antaman tehon ylittävä tehovaatimus otettaisiin kondensaattoreilta nuoli 5.



KUVIO 26. Diesel-verkkokäyttö

19 VIKATILANTEET

Laitteiston vikatilanteet voivat olla sekä sähköisiä, että mekaanisia. Yksi selkeimmistä vikatilanteista on langan katkeaminen. Tästä selvittää vinssaaajan näkökulmasta tarkasteltuna jarruttamalla ja langan jatkamisella. Jarrutustyössä sallitaan tehon kulkeutuminen takaisin superkondensaattoreille, akutolle tai jarrukatkojalle. Järjestelmässä on myös mekaanien jarrulevy, mikäli sähköinen jarrutus pettää.

Invertteri suojaa moottoria ylikuormitukselta. Parhaiten se tapahtuu moottorin käämien sisälle sijoitetuilla termistoreilla, jotka kytketään instrumentointikaapelilla invertterin termistoriliitäntään. Termistorirele voi olla myös erillinen laite, joka sijoitetaan invertterin koteloon tai moottorikeskukseen. Invertterin syöttösulakkeen koko valitaan valmistajan antamien ohjeiden mukaan. /8/

Mikäli vintturin tasajännitevälipiirissä tapahtuu oikosulku, sähkömoottorista katoaa teho ja vaikutus vinssaukseen pilotin näkökulmasta on samankaltainen kuin langan katkeamisella. Sähkökäytössä akuston tasavirtamuuntajan puolijohdesulakkeet havahtuvat ja hybridikäytössä generaattorin. Hybridikäytössä pitää olla myös automaatio, joka sammuttaa polttomoottorin ja pysäyttää generaattorin mekaanisesti, jotta säästytään laitteiston suuremmilta vaurioilta. Mikäli oikosulku tapahtuu laitteiston ja verkkopistokkeen välisessä johtimessa tällöin oikosulkusuojana toimii kiinteistön sulake.

20 DC/DC ja DC/AC MUUNTIMET

Energian hallintaan akuston ja superkondensaattoripaketin välillä käytetään DC/DC-muuntajaa. Tähän soveltuisi Msc Electronics Oy:n valmistama kaksisuuntainen DC/DC-muuntaja (taulukko 3). Muuntajatyyppeä on käytetty muun muassa konttilukkien hybridiversiossa. /9/.

TAULUKKO 3. /9/ Kaksisuuntainen DC/DC-muuntaja.

Bidirectional DCDC Converters

MODEL	120DCDC750DE
Topology	
Operation mode	Bidirectional
Input	
DC Input Voltage range	35-750
Nom. Input Current	120
Max. Input Current	200A, 5s./10 min.
Output	
DC Output Voltage Range	100-750
Nom. Output Current	120
Max. Output Current	200A, 5s./10 min.
Efficiency	
Max. Efficiency	96
I/O Connections	
Input signals	Digital/Analogue
Output signals	Anal. and fault relay
General Data	
Dimensions (wxdxh) in mm	160 x 561 x 291
Weight	20
Cooling	air cooled
Operation temperature	-10C-+40C
Enclosure	IP 20

Vaihtosuuntaaja muuntaa tasajännitevälipiiriin virran oikosulkumoottorin vaatimaksi vaihtovirraksi (taulukko 4). Vaikka taulukossa on vain 6 kVA:n tehoinen vaihtosuuntaaja, kattaa Msc Electronics Oy:n tuotelaajuus 5 – 100 kVA:a /9/. Lisäksi vaihtosuuntaajan ulostulojännitte suunniteltaisiin 530 V:n tasolle, jossa moottori työskentelee.

TAULUKKO 4. /9/ Vaihtosuuntaaja.

DCAC Inverters

MODEL	10DCAC750MT
Topology	
Operation mode	Grid-Tie / Off-Grid
Input	
DC Input Voltage	750
Nom. Input Current	10
Output	
AC Output Voltage Range	380-480VAC, 50/60Hz
Nom. Output Current	10
Nom. Output Power	6kVA
Efficiency	
Max. Efficiency	96
I/O Connections	
Input signals	Digital/Analogue
Output signals	Anal. ad fault relay
General Data	
Dimensions (wxdxh) in mm	160 x 561 x 291
Weight (kg)	18
Cooling	air cooled
Operation temperature	-10C-+40C
Enclosure	IP 20

21 AKUSTON VALINTA

Hybridivintturi olisi todennäköisesti suurimmaksi osaksi ajastaan sille valitussa paikassa kentän laidalla, lataamassa akkujaan huoltorakennuksen seinästä tai varastohallissa odottamassa seuraavaa purjelentokautta. Paikallaan pysyvän luonteensa takia akuston paino ei toimi rajoittavana tekijänä akuston mitoituksessa. Sen sijaan merkittävimmät akkutyypin valintaan liittyvät seikat ovat kalenteri- ja syklinen ikä, itsepurkautuvuus, hyötysuhde ja hinta. Ikä on akustolle vintturikäytössä merkittävin seikka, koska puolet vuodesta akusto on työtä tekemättömänä. Lisäksi purjelentokaudellakin on päiviä, jolloin ei ole hyvä sää purjelentoa ajatellen.

Lyijyakut ovat halpoja, mutta niiden latauskertojen lukumäärä on pieni erityisesti tilanteissa joissa akku tyhjenee täysin ja ne ovat myös nopeita itsepurkautumaan ja lisäksi lyijy on ympäristömyrkky. /10/ Lyijyakkujen hyötysuhde on 70-80 %. /11/

Litium-ioni akkujen hyötysuhde on erinomainen, 98 % /11/ ja niiden syklinen ikä on myös todella hyvä /10/, mutta kalenteri-ikä ja hinta tuovat hankaluuksia. Hinta erityisesti, koska jotta haluttu syklimäärä saadaan aikaiseksi ei akustoa voida käyttää koko kapasiteetiltaan, vaan se täytyy ylimitoitaa, mikä osaltaan nostaa akkujärjestelmän hintaa. Li-ioniakut ovat myös itsepurkautuvia.

NiMH-akulla on voimakas itsepurkautuvuus. Käyttämättömänä metallilejeerinkiin imeytetty vety liukenee pikkuhiljaa elektrolyttiin /12/.

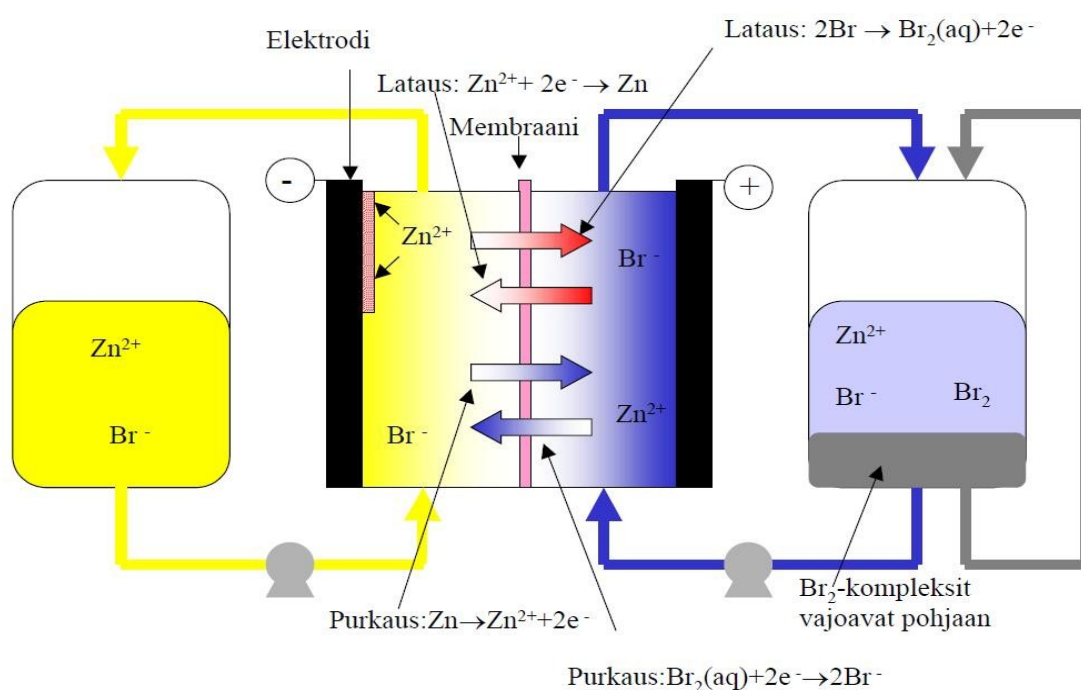
NiMH-akuston hyötysuhde on 75 %. /11/ NiCd-akun kadmium on voimakas ympäristömyrkky /10/. Hyötysuhde on 60-85 % /11/.

NiCd- ja NiMH-akkujen yhteinen ongelma on muisti-ilmiö, joka ilmenee, jos akku puretaan toistuvasti lähes samaan varaustilaan. Akun varauskyky laskee käytetyn purkausmäärän tasolle eikä suuremman varausmäärän purkaminen onnistu, vaikka akun koon pitäisi purkuun riittää. Muistiominaisuuden välttämiseksi akusuto pitäisi purkaa aika ajoin täysin tyhjäksi /12/. Tämä lisää huoltoa ja vaivannäköä. Akkukäytön rinnalla voi olla tuuli- tai aurinkoenergia, jolloin akun purku päivän aikana ei välttämättä ole täydellinen.

ZnBr₂-virtausakku on optimaalisin vintturikäyttöä ajatellen. Akkutyypillä ei ole itsepurkautuvuutta, eli varastointiaika on määräämätön ja akustoa voidaan käyttää koko kapasiteetillaan /10/. Tästä johtuen, jos halutaan kaksinkertainen teho yhden kennon antokykyyn nähden, mutta säilyttää akuston energiantokyky ja syklinen ikä samana, ei akuston kapasiteettia tarvitse kasvattaa rinnankytketyillä kennoilla, vaan riittää kahden kennon sarjaan kytkentä. Akkutyypillä ei esiinny muisti-ilmiötä. ZnBr₂-akuston hyötysuhde on 75 % /10/.

22 ZnBr₂ -AKUN TOIMINTAPERIAATE

Virtausakulla tarkoitetaan akkua, jossa reagoivat aineet kierrätetään kennoston läpi vasta tarvittaessa. Samalla se sallii akun aktiivisen materiaalin säilömistä akun ulkopuolelle. Akussa kaksi eri elektrolyyttiliuosta on erotettu toisistaan mikrohuokoisella polyolefiinikalvolla /10/. Purkautuessa Zn- ja Br-ionit reagoivat muodostaen sinkkibromidia, tämä synnyttää kennojännitteen 1,8 voltia. Purkautumisen aikana kasvaa molemmissa tankeissa Zn- ja Br-ioniheys. Elektrodit ovat hiilikomposiittimuovia jotka eivät osallistu reaktioihin, minkä johdosta akkujen latauskyky ei huonone. Latautumistilassa sinkki muodostaa ohuen kalvon toisen elektrodin pinnalle. Bromidi-ionit puolestaan reagoivat orgaanisten amiinien kanssa toisessa elektrolyyttitankissa muodostaen öljymäistä bromidiyhdistettä /10/.

KUVIO 27. ZnBr₂-akun toimintaperiaate. /10/

23 AKUSTO

Otin aksutomitoituksessa peruskomponentiksi Redflow:n R510-akun, joka on 5 kW:n ZnBr₂ virtausakkujärjestelmä ja on kapasiteetiltaan 10 kWh. R510:n alkuperäinen tarkoitus on toimia puskuriakustona aurinkosähköjärjestelmissä. Tarkemmat tiedot (taulukko 5).

TAULUKKO 5. /13/

Power	Maximum 5kW continuous
Energy	10 kWh
Weight	490kg
Dimensions (mm)	916 w x 511 d x 1675 h (mm)
AC Voltage	Nominal 240V
Capacity	Nominal 10 kWh
Shelf Life	Indefinite
Max Standby Temp	60°C
Max Operating Temp	50°C
Peak Efficiency Temp	37°C
Charge Efficiency	75% (Ah out / Ah in) @ 100% DOD
Inverter	SMA Sunny Backup

Taulukossa 3 esiintyvän invertterin toimittajan verkkosivuilta löytyi invertterin tarvitsema eli akuston antama DC-syöttöjännite $U_a=24$ V ja invertterin hyötysuhde /14/. Liittämällä kolme R510 akkua sarjaan saadaan akuston teho nostettua kolminkertaiseksi (47).

$$P_a = \frac{3 \cdot P_{akku}}{\eta_i} = \frac{3 \cdot 5000}{0,936} = 16025,6 = 16 \text{ kW} \quad (47)$$

η_i on invertterin hyötysuhde, [93,6 %].

Kertomalla tämä teho DC/DC-muuntajan hyötysuhteella saadaan vakioteho jonka akuston DC/DC-muuntaja syöttää tasajännitevälipiiriin maksimissaan sekä nostoprosessin aikana moottorin invertterille, että seisonta-aikana superkondensaattoreille, tasaamaan tehopiikkejä (48).

$$P_{ta} = P_a(t) \cdot \eta_{DC/DC} = P_a(t) \cdot 0,96 = 15384,614 \text{ W} \quad (48)$$

$\eta_{DC/DC}$ on DC/DC muuntajan hyötysuhde, 96%

Tehovaatimus ja energia invertterillä puolestaan selviää kun nostotyöhön vaadittu teho jaetaan sähkömoottorin ja invertterin hyötysuhteilla (49) ja (50).

$$P_i(t) = \frac{P_r(t)}{\eta_m \cdot \eta_i} = \frac{P_r(t)}{0.948 \cdot 0.96} \quad (49)$$

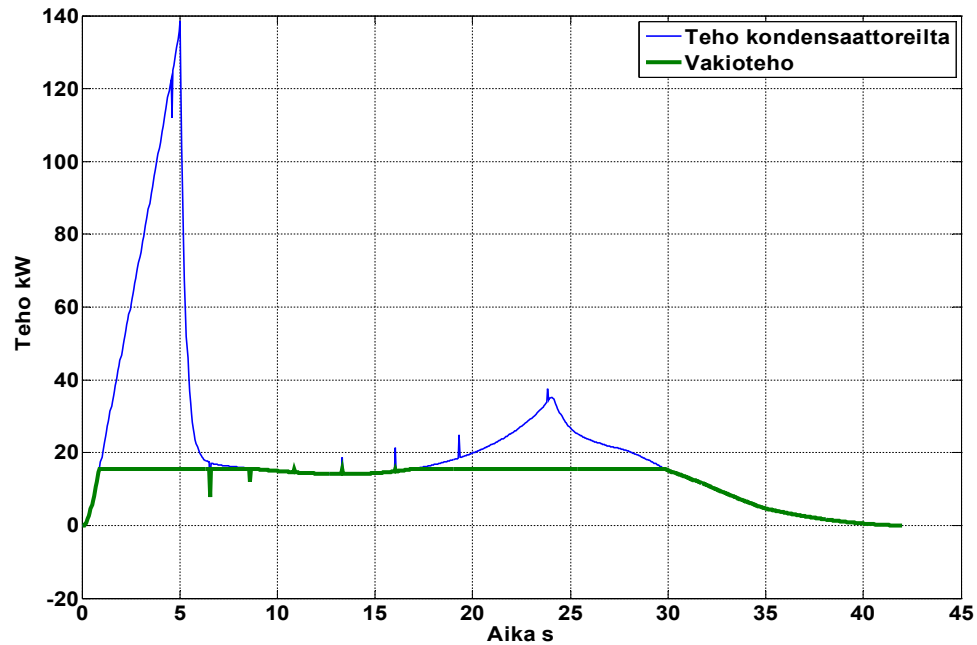
$P_i(t)$ on tehovaatimus invertterillä, [W].

$$E_i = \int P_i(t) dt = 8,88 \cdot 10^5 = 888 \text{ kJ}. \quad (50)$$

E_i on nostoon kulutettu energia invertterillä, [J].

Kondensaattoripaketin ja tasavirtamuuntajan kautta kulkeutuneen tehon $P_{cia_{out}}$ osuus invertterin sisäänmenolla on (51).

$$P_{cia_{out}} = P_i(t) - P_{ta}(t) \quad (51)$$



KUVIO 28. Akustolta ja superkondensaattoreilta otettujen tehojen jako kokonaistehon kuvaajassa moottorin invertterin sisäänmenolla.

Kondensaattoripaketilla ja DC/DC-muuntajalla on kuitenkin häviöitä, jotka täytyy ottaa huomioon, DC/DC-muuntajan häviöt huomioidaan kahdesti. Tällöin kondensaattoripaketille ja sen DC/DC-muuntajalle välipiiristä kulkeutunut teho (52).

$$P_{cia_{in}}(t) = \frac{P_{cia_{out}}(t)}{\eta_i^3} = \frac{P_{cia_{out}}(t)}{0,96^3} \quad (52)$$

Tämän tehon integraalista otetaan pois 4%:n häviöteho, joka kuluu DC/DC-muuntajan läpi kondensaattoreilta takaisin välipiiriin kulkemiseen, saadaan energia jonka kondensaattorimoduulin pitää kyetä antamaan takaisin tasavirtamuuntajan kautta välipiiriin, eli kondensaattorimoduulin koko akkukäytössä (53).

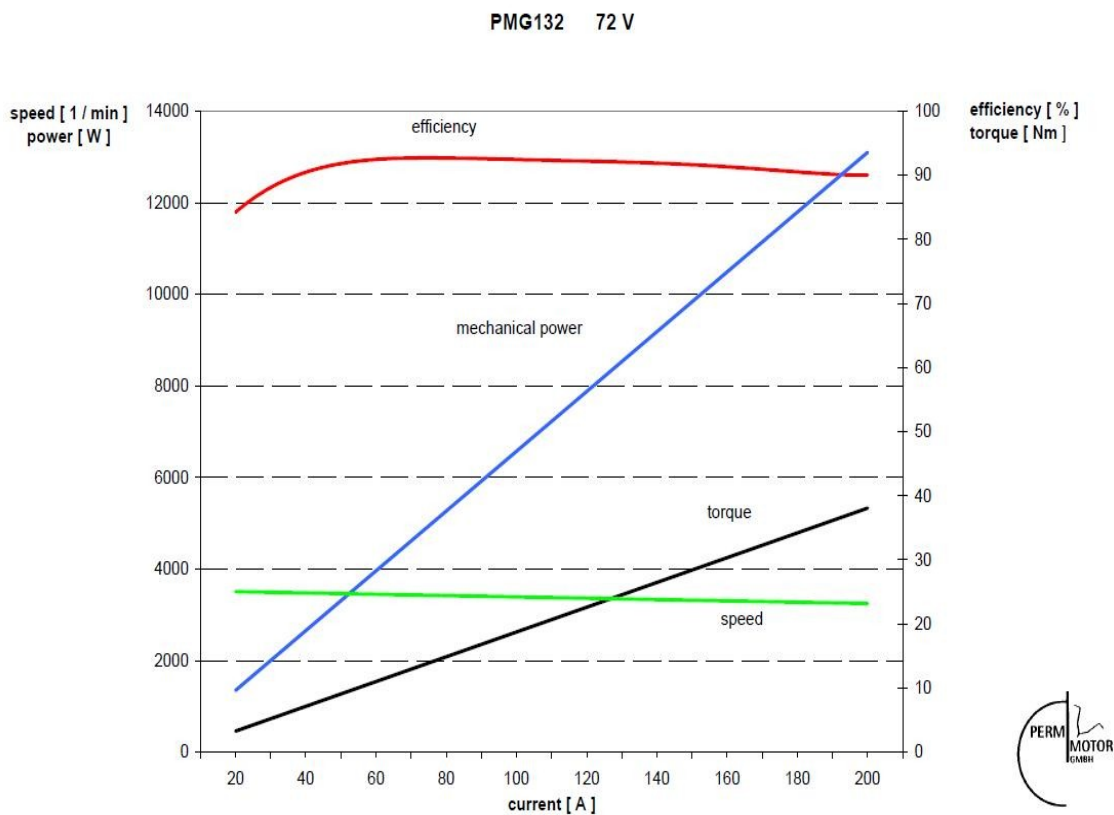
$$E_{ca} = \int P_{cia_{in}}(t) dt \cdot 0.96 = 4,2236 \cdot 10^5 = 422 \text{ kJ} \quad (53)$$

24 DC-GENERAATTORI

Hybridinkäytön generaattoriksi valitsin saksalaisen PERM MOTOR GMPH:n valmistaman PMG 132 merkkisen harjallisen kestopagneettimoottorin (liite 8). Kilpitiedot (taulukko 6) ja suoritekuvaajat kuvio 29 /15/.

TAULUKKO 6. Generaattorina käytetyn moottorin kilpiarvot

Teho	7,22kW	Käyttöluokka	S1
Momentti	20,5 Nm	Jännite	72 V
Pyörimisnopeus	3480 rpm	Virta	110 A
Inertia	0,025 kgm ²	Suojausluokka	IP 20
Paino	10 kg	Induktanssi	0,09 mH
		Vastus	16 mOhm
Ylikuormitettuna	Virta	Vääntö	
	200 A/10min	38 Nm	



KUVIO 29. Generaattorin suoritekuvaajat.

Hybridikäytössä käytettävän kiinteävälityksisen vaihteiston mitoittamisen kannalta on tärkeää tietää se pyörimisnopeus ja momentti, joilla saadaan moottorin napajännite ja akkurivirta pidettyä nimellisarvoissaan, kun moottoria käytetään generaattorina. Ensiksi otetaan selvää koneen ankkuripiirin sähkömagneettinen jännite moottorikäytössä (54) /27/.

$$E_m = U - 2 \cdot U_h - I_a \cdot R_a = 72 - 2 \cdot 1,5 - 110 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 67,24 \text{ V} \quad (54)$$

E_m on moottorin sauvojen sähkömagneettinen jännite, [V].

U_h on jännitehäviö hiiliharjoissa 1...2 V, [1,5 V] /27/.

I_a on nimellisvirta, [A].

U on nimellisjännite, [V].

R_a on äämvastus, [Ω].

Koneen smj-vakio löytyy kaavalla (55) /27/.

$$k_e = \frac{E_m}{\omega_m} = \frac{E_m}{2 \cdot \pi \cdot n_m} = \frac{67,24}{2 \cdot \pi \cdot 3480} = 0,1845 \quad (55)$$

k_e on koneen sähkömagneettinen jännitevakio

ω_m on kulmapyörimisnopeus moottorikäytössä, [rad/s].

n_m on pyörimisnopeus moottorikäytössä, [rpm].

Generaattorikäytössä ankkuripiirin sähkömagneettinen jännite (56) /27/.

$$E_g = \frac{U \cdot I_a + (I_a^2 \cdot R_a + 2 \cdot U_h \cdot I_a)}{I_a} \quad (56)$$

$$E_g = \frac{72 \cdot 110 + (110^2 \cdot 16 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1,5 \cdot 110)}{110} = 76,76 \text{ V}$$

E_g on generaattorin ankkuripiirin sähkömagneettinen jännite, [V].

Koneen smj-vakion ja generaattorin smj:n avulla saadan selville generaattorin tarvitsema kulmapyörimisnopeus (57) ja pyörimisnopeus (58).

$$\omega_g = \frac{E_g}{k_e} = \frac{67,67}{0,1845} = 416 \text{ rad/s} \quad (57)$$

$$n_g = \frac{\omega_g}{2 \cdot \pi} \cdot 60 = \frac{416}{2 \cdot \pi} \cdot 60 = 3972,9 \text{ rpm} \quad (58)$$

Pyörimisnopeuden pitää olla 14,13 % korkeampi kuin moottorikäytössä, jotta vintturille syötettäisiin sähköinen nimellisteho. Generaattoreita kytketään kaksi rinnan, jolloin teho generaattorikäytössä on (59).

$$P_g = 2 \cdot P_m(t) = 2 \cdot 72 \cdot 110 = 15,8 \text{ kW} \quad (59)$$

Vakiotehoa generaattoreilta $P_g(t)$ käsitellään kuten vakiotehoa akustolta P_a ennen DC/DC-muuntajaa. Tässä tilanteessa $P_a > P_g$ eli hybridikäyttö on superkondensaattorimoduulin mitoituksen perusta. Generaattorilta tasajännitevälipiiriin kulkeutuva vakioteho (60). Kondensaattoreilta tuleva teho hybridikäytössä (61).

$$P_{th}(t) = P_g(t) \cdot \eta_i = P_g(t) \cdot 0,96 = 15206,4 = 15,2 \text{ kW} \quad (60)$$

$$P_{cih_{out}} = P_i(t) - P_{th}(t) \quad (61)$$

Kondensaattoripaketilla ja DC/DC-muuntajalla on kuitenkin häviöitä, jotka täytyy ottaa huomioon. DC/DC-muuntajan häviöt huomioidaan kahdesti. Tällöin kondensaattoripaketille ja sen DC/DC-muuntajalle välipiiristä kulkeutunut teho on (62)

$$P_{cih_{in}}(t) = \frac{P_{cih_{out}}(t)}{\eta_i^3} = \frac{P_{cih_{out}}(t)}{0,96^3} \quad (62)$$

Tämän tehon integraalista otetaan pois 4%:n häviöteho, joka kuluu DC/DC-muuntajan läpi kondensaattoreilta takaisin välipiiriin kulkemiseen, saadaan energia jonka kondensaattorimoduulin pitää kyetä antamaan takaisin tasavirtamuuntajan kautta välipiiriin, eli kondensaattorimoduulin koko hybridikäytössä (63).

$$E_{ch} = \int P_{ch_n}(t) dt \cdot \eta_i = \int P_{ch_n}(t) dt \cdot 0.96 = 4,2616 \cdot 10^5 = 426 \text{ kJ} \quad (63)$$

25 SUPERKONDENSAATTORIMODUULI

On järkevää käyttää kondensaattoripakettia purettaessa siten, että sen jännitteen annetaan pudota puoleen nimellisestä. Purkutilanteen virtavaatimus kasvaisi muuten liian suureksi. Lisäksi jännitteen ollessa neliössä kondensaattorin energian laskentakaavassa on energiaa otettu tällöin jo 75% /11/ koko kapasiteetista. Kondensaattoripaketin vaadittu kapasitanssiarvo saadaan selville kaavalla (64)

$$C = \frac{2 \cdot Ec}{U_{max}^2 - \frac{U_{max}^2}{2}} = \frac{2 \cdot 4.2616 \cdot 10^5}{750^2 - \frac{750^2}{2}} = 3,03047 \quad F \quad (64)$$

U_{max} = Tasajännitevälipiirin jännite, V

Riittävä jännitetaso saavutetaan, kun kondensaattoreita kytketään N kappaletta sarjaan (65).

$$N = \frac{U_n}{U_{kenno}} = \frac{750}{2,5} = 300 \quad \text{kpl} \quad (65)$$

U_{kenno} = Kondensaattorin maksimijännite, 2,5 V

Kennon kapasitanssi (66).

$$C_{kenno} = N \cdot C = 300 \cdot 3 = 900 \quad F \quad (66)$$

Kapasitanssi ja jännitevaatimukset saavutetaan kytkemällä sarjaan 300 ja rinnan 3 kpl 300 F:n superkondensaattoreita. Akkukäytössä superkondensaattorimoduulin latautumisaika (67). Hybridikäytössä superkondensaattorimoduulin latautumisaika (68).

$$t_{ca} = \frac{Ec_a}{Pa(t) \cdot \eta_i^2} = \frac{4,2236 \cdot 10^5}{16025,6 \cdot 0,96 \cdot 0,96} = 28,59 \text{ s} \quad (67)$$

$$t_{ch} = \frac{E_{ch}}{P_g(t) \cdot \eta_i^2} = \frac{4,2616 \cdot 10^5}{15840 \cdot 0,96 \cdot 0,96} = 29,19 \text{ s} \quad (68)$$

26 JOHTIMET

26.1 Invertteri-moottori johtimet

Ekvivalenttinen kuormitusvirta on 24 A (46). PEX -eristeiset johtimet ovat pinnalle asennetussa putkessa. Tällöin on kyseessä asennustapa (B/B1 /16/). Ympäristön lämpötila voi nousta kesällä 30 asteen suuruiseksi, joka vaatii korjauskertoimen 0,69 (taulukko A.52-14 /16/) ja putkessa on kolme johdinta, mikä vaatii myös ryhmästä johtuvan korjauskertoimen 0,7 (taulukko A52-17 /16/). Referenssikuormitusvirta on (69).

$$I_k = \frac{I_e}{0,96 \cdot 0,7} = \frac{24}{0,96 \cdot 0,7} = 35,7 \text{ A} \quad (69)$$

Invertteri-moottori johtimet ovat 3 x 4 mm² Cu, (taulukko A52-3 /16/).

26.2 Tasajännitevälipiirin johtimet

Mitoittamisessa täytyy ottaa huomioon invertterin hyötysuhde ja laskea ekvivalenttivirus tasajännitepuolelle, kondensaattoreita ladataan noin 30 s heti vinssauksen jälkeen. (70).

$$I_{et} = \sqrt{\frac{\left[\frac{P_{ta}}{U_{max}} \right]^2 \cdot 30 + \int \left[\frac{P_i(t)}{U_{max}} \right]^2}{50 + 42}} = 31,89 \text{ A} \quad (70)$$

PEX -eristeiset johtimet ovat pinnalle asennetussa putkessa. Tällöin on kyseessä asennustapa (B/B1 /16/). Ympäristön lämpötila voi nousta kesällä 30 asteen suuruiseksi, joka vaatii korjauskertoimen 0,96 (taulukko A.52-14 /16/) ja putkessa on kaksi johdinta, mikä vaatii myös ryhmästä johtuvan korjauskertoimen 0,8 (taulukko A52-17 /16/). Referenssikuormitusvirta on (71). Ekvivalenttinen tasavirta kerrotaan $\sqrt{2}$:lla, jotta saadaan ekvivalentti vaihtovirta.

$$I_{kt} = \frac{I_{et} \cdot \sqrt{2}}{0,96 \cdot 0,8} = \frac{31,89 \cdot \sqrt{2}}{0,96 \cdot 0,8} = 58,72 \text{ A} \quad (71)$$

Tasajännitevälipiirin johtimet ovat $2 \times 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$, (taulukko A52-3 /16/).

26.3 Latausjohdin, tasasuuntaussilta ja verkkovaikutukset

3-vaiheisten vaihtovirtakäyttöjen yleisin tasasuuntauspiiri on 6-pulssinen diodisilta. Se koostuu kuudesta säätämättömästä tasasuuntaajasta tai diodeista ja induktoreista, joka yhdessä tasavirtakondensaattorin kanssa muodostaa alipäästösuotimen tasavirran tasoittamiseksi. Induktori voi olla tasavirta- tai vaihtovirtapuolella tai se voidaan jättää kokonaan pois. 6-pulssinen tasasuuntaaja on yksinkertainen ja edullinen, mutta se generoi suuren määrän pieniä yliaaltoja. /17/ Syy, miksi en käytä 12- tai 24-pulssista tasasuuntaussiltaa, on suurempi komponenttien määrä, ja se että kyseiset sillat vaativat lisämuuntajan tulopuolelle, jolla saadaan aikaan 30 asteen vaihe ero, jolloin osa syntyvistä yliaalloista saadaan kumottua. /17/

Latausjohdin kulkee huoltorakennuksen kolmivaihepistorasiasta tai tuuli/aurinkovoimalan puskuriakustolta vintturille. Akusto kykenee ottamaan vastaan $P_a(t)$:n suuruista tehoa, tällöin johtimen pitää kyetä siirretään tehoa seuraavalla suuruudella (72).

$$P_v(t) = \frac{P_a(t)}{\eta_i \cdot \eta_{lu} \cdot \eta_H \cdot \eta_S} = \frac{16025,6}{0,96 \cdot 0,95^3} = 19470,28 \text{ W} \quad (72)$$

η_{lu} on suojaeroitusmuuntajan hyötysuhde, [95 %].

η_H on hakkurin hyötysuhde, [95 %].

η_S on tasasuuntaussillan hyötysuhde, [95 %].

Tasasuuntaajan ja suojaeristysmuuntajan välissä kulkeva latausvirta on (73).

$$I_d = \frac{P_v}{U_n \cdot 1,35} = \frac{19470,28}{400 \cdot 1,35} = 36 \text{ A} \quad (73)$$

I_d = Tasasuuntaajan lähtövirta
(Ideaali suodatettu tasavirta)

PEX -eristeiset johtimet ovat pinnalle asennetussa putkessa. Tällöin on kyseessä asennustapa (B/B1 /16/). Ympäristön lämpötila voi nousta kesällä 30 asteen suuruiseksi, joka vaatii korjauskertoimen 0,96 (taulukko A.52-14 /16/) ja putkessa on kaksi johdinta, mikä vaatii myös ryhmästä johtuvan korjauskertoimen 0,8 (taulukko A52-17 /16/) (74)

$$I_{kt} = \frac{I_d \cdot \sqrt{2}}{0,96 \cdot 0,8} = \frac{36 \cdot \sqrt{2}}{0,96 \cdot 0,8} = 66,29 \text{ A} \quad (74)$$

Tasajännitevälipiirin johtimet ennen erotusmuuntajaa ovat 2 X 16 mm² Cu , (taulukko A52-3 /16/).

6-pulssisen tasasuuntaajan verkkovirta voidaan laskea suorasta lähtövirrasta seuraavalla kaavalla (75) /17/.

$$I'_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 36 = 29,39 \text{ A} \quad (75)$$

I'_1 = RMS kokonaisvirta, [A].

Perustaajuuden virta (76) /17/.

$$I_1 = \frac{3}{\pi} \cdot I'_1 = \frac{3}{\pi} \cdot 29,36 = 28 \text{ A} \quad (76)$$

Teoreettisessa tapauksessa, jossa lähtövirta voidaan arvioida puhtaaksi tasavirraksi, 6-pulssisen kolmivaiheisen tasasuuntaajanyliaaltovirran taajuudet ovat n kertaa perustaajuus (50 tai 60 Hz). Alla annetut tiedot ovat voimassa siinä tapauksessa, että verkon induktanssi on vähäinen verrattuna tasavirtakuristimen induktanssiin. Verkkovirta on siten symmetrinen 120° vaihekulmin /17/. Järjestysnumerot n lasketaan alla olevan kaavan (77) mukaan /17/:

$$n = 6 \cdot k \pm 1, \text{ jossa } k = 1, 2, 3, \dots \quad (77)$$

Yliaaltokomponenttien RMS -arvot syntyvät kaavalla (78) /17/ :

$$I_{ni} = \frac{I_1}{n} \quad (78)$$

I_{ni} = Yliaaltokomponentin RMS -arvo, [A].

TAULUKKO 7. Virran yliaaltokomponentit ja niiden taajuudet.

Taajuus/ Hz	RMS / A
50	28
250	5,6
350	4
550	2,55
650	2,15
850	1,65
950	1,47
1150	1,22
1250	1,12

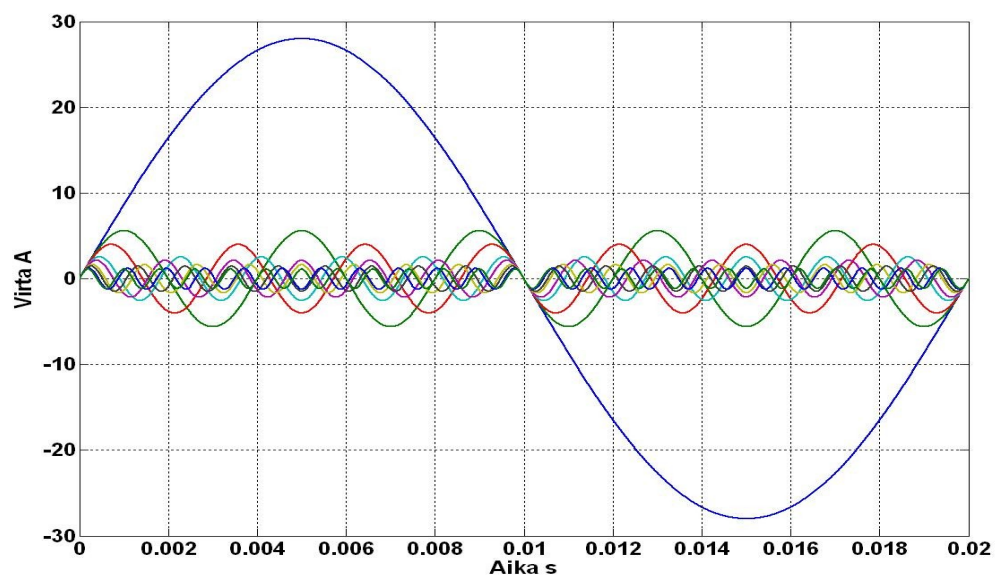


KUVIO 30. Teoreettinen yliaaltosisältö 6-pulssisen tasasuuntaajaan symmetrisessä virrassa.

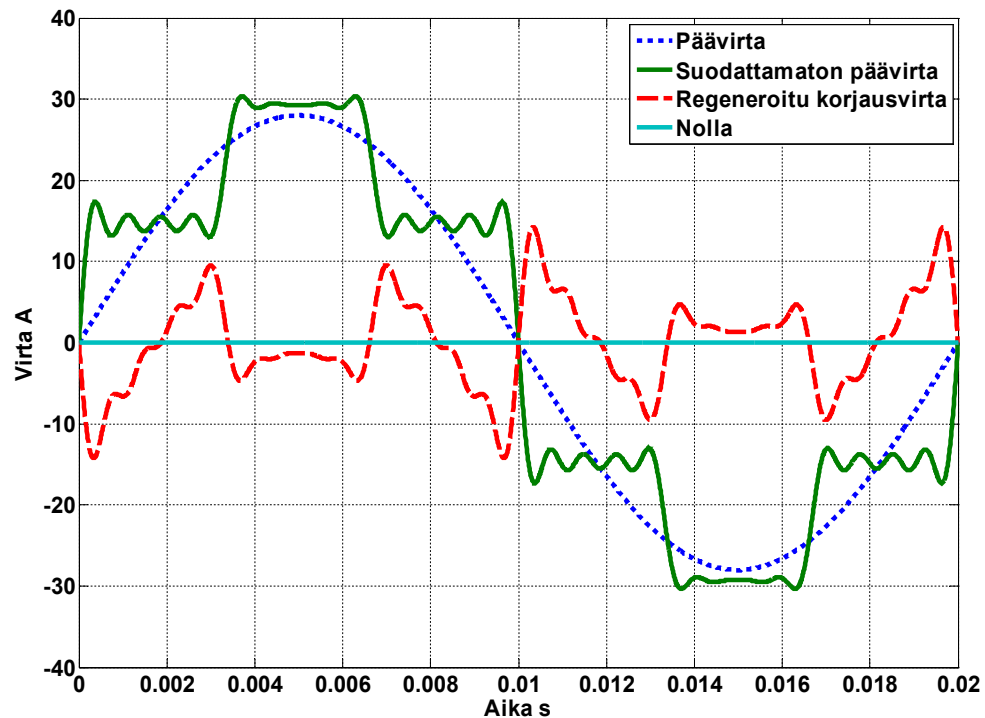
Harmoninen särö voidaan laskea kaavalla (79) taulukon 7 arvoista /17/

$$THD = \frac{\sqrt{I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2 + I_{17}^2 + I_{19}^2 + I_{23}^2 + I_{25}^2}}{I_1} \cdot 100 \quad (79)$$

$$THD = \frac{\sqrt{5,6^2 + 4^2 + 2,55^2 + 2,15^2 + 1,65^2 + 1,47^2 + 1,22^2 + 1,12^2}}{28} \cdot 100 = 29 \%$$



KUVIO 31. Yhden jaskon mittainen perusaalto ja tämän yliaaltokomponentit. Yhden vaiheen osalta.



KUVIO 32. Aktiivisuodin kompensoi epälineaaristen kuormien synnyttämät yliaallot generoimalla samat yliaaltokomponentit vastakkaisessa vaiheessa.

Laitekohtainen yliaaltosuodatus on tehokas tapa poistaa yliaaltoja ja loistehoa kyseisiä saastemuotoja tuottavasta lähteestä. Tällöin ei johtimia tarvitse ylimerkitä ja muuntaja kuormittuu vähemmän. Ei voida myöskään olettaa, että kiinteistön ja verkkomuuntajan välinen kaapeli olisi sopivasti ylimerkitetty tai että kiinteistössä olisi erillinen yliaaltosuodatin.

Kuormitusvirta on 28 A (72). PEX -eristeinen monijohdinkaapeli on maan pinnalla. Tällöin sovelletaan asennustapaa (C /16/). Ympäristön lämpötila voi nousta kesällä 30 asteen suuruiseksi, joka vaatii korjauskertoimen 0,69 (taulukko A.52-14 /16/) kaapelissa on kolme johdinta, mikä vaatii myös ryhmästä johtuvan korjauskertoimen 0,7 (taulukko A52-17 /16/). Referenssikuormitusvirta on (80).

$$I_{kv} = \frac{I_v(t)}{0,96 \cdot 0,7} = \frac{28}{0,96 \cdot 0,7} 41,6 \text{ A} \quad (80)$$

Latauskaapelin johtimet ovat 3 x 4 mm² Cu, (taulukko A52-3 /16/).

26.4 DC-generaattorin johtimet

Generaattoreita on kaksi rinnan ja molempien nimellisvirta I_a on 110 A. PEX-eristeiset johtimet ovat pinnalle asennetussa putkessa. Tällöin on kyseessä asennustapa (B/B1 /16/). Ympäristön lämpötila voi nousta kesällä 30 asteen suuruiseksi, joka vaatii korjauskertoimen 0,96 (taulukko A.52-14 /16/) ja putkessa on kaksi johdinta, mikä vaatii myös ryhmästä johtuvan korjauskertoimen 0,8 (taulukko A52-17 /16/). Referenssikuormitusvirta on (81).

$$I_{kg} = \frac{I_a \cdot \sqrt{2}}{0,96 \cdot 0,8} = \frac{110 \cdot \sqrt{2}}{0,96 \cdot 0,8} = 202 \text{ A} \quad (81)$$

Generaattorin johtimet ovat 2 X 70 mm² Cu , (taulukko A52-3 /16/).

27 NOSTOJEN HYÖTYSUHTEET

Hyötysuhde ja taloudellisuusvertailun suoritan bensakäytön, akkukäytön ja hybrididieselikäytön kesken. Vintturinostosimulaatiossa ei käytetä regeneroituvaa sähköistä jarrutusta. Kelaan varastoitunut liike-energia vapautuu käytettäväksi, kun kuorman tehovaatimus putoaa irroitushetkellä nolnaan. Tämä vapautunut energia käytetään hyväksi koukun alaskiskontatyöhön, koska energian muodonmuutoksia eli häviöitä on silloin vähemmän.

27.1 Sähkökäytön hyötysuhde

P_a :n integraali E_a (84) on energia, joka kuluu sekä nostotyöhön E_{an} (83) (kuvio 30), että superkondensaattorien lataamiseen E_{ac} (82). Tämä energia jaetaan akuston hyötysuhteella saadaan energia E_{al} , joka akustoihin pitää ladata, jotta nosto olisi mahdollinen (85). Hyötysuhde akustolta nostotyöksi (86).

$$E_{ac} = P_a(t) \cdot t_{ac} = 16025,6 \cdot 28,59 = 4,58171 \cdot 10^5 = 458 \text{ kJ} \quad (82)$$

$$E_{an} = \int P_a(t) = 4,9876 \cdot 10^5 = 499 \text{ kJ} \quad (83)$$

$$E_a = E_{an} + E_{ac} = 4,9876 \cdot 10^5 + 4,58171 \cdot 10^5 = 956931 = 957 \text{ kJ} \quad (84)$$

$$E_{al} = \frac{E_a}{0,75} = 1275908 = 1276 \text{ kJ} \quad (85)$$

$$\eta_{AKKU} = \frac{E_r}{E_{al}} \cdot 100 = \frac{8,0816 \cdot 10^5}{1275908} \cdot 100 = 63,33 \% \quad (86)$$

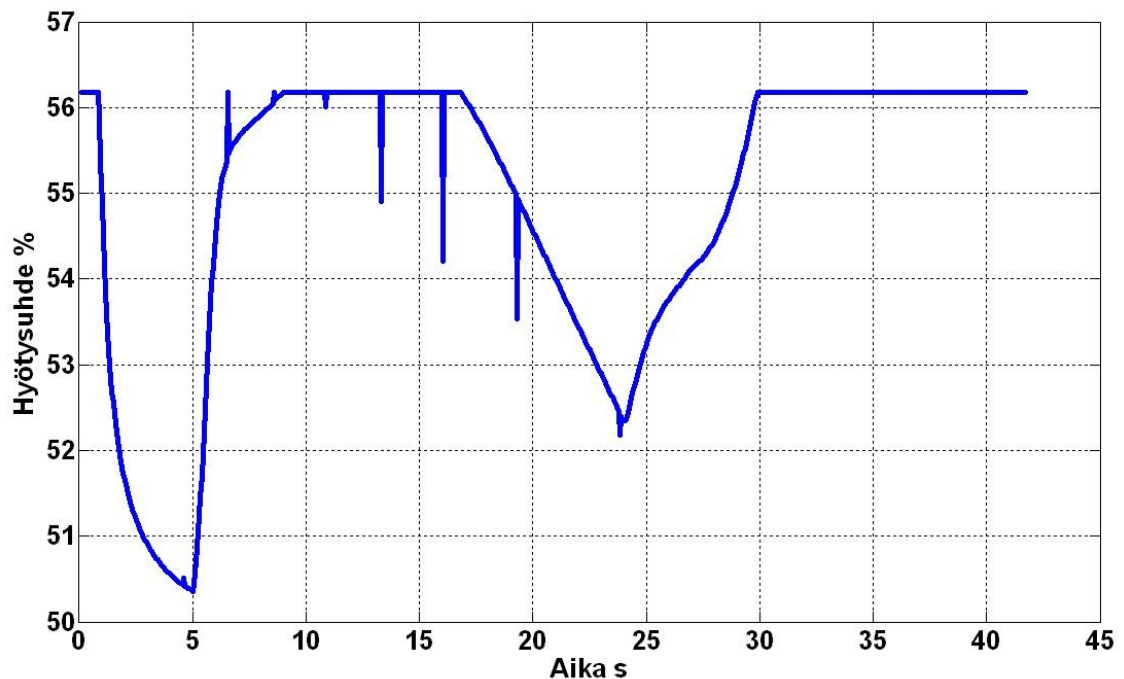
Jotta selviäisi energia, joka otetaan verkosta, täytyy E_{al} jakaa vielä DC/DC- ja erotusmuuntajan ja tasasuuntaajan hyötysuhteilla. Muuntaja voidaan optimoida käyttöön sopivaksi, kun sitä ei pidetä lainkaan tyhjäkäynnillä ja step-down hakkuriteholähteellä voidaan hallita verkosta otetun tehon määrä lataustilanteessa sopivaksi.

$$E_{in} = \frac{E_{al}}{\eta_{DC/DC} \cdot \eta_{ik} \cdot \eta_H \cdot \eta_S} = \frac{1275908}{0.96 \cdot 0.95^3} = 1550162,8 = 1550 \text{ kJ} \quad (87)$$

Työn hyötysuhde on nostoon käytetyn tehon $P_r(t)$ integraalin ja verkosta otetun energian E_{in} osamäärä (88).

$$\eta_s = \frac{E_r}{E_{in}} = \frac{8,0816 \cdot 10^5}{1550162,8} \cdot 100 = 52,13 \% \quad (88)$$

E_r on nostoon käytetyn tehon integraali, [0,80816 MJ]



KUVIO 33. Vintturin hyötysuhdekuvaaja sähkökäyttöisenä ajan suhteen, kun on huomioitu tehon kulku verkosta nostotyöhön. Kuviosta käy ilmi kondensaattorimoduulin vaikutus hyötysuhteeseen.

27.2 Hybridikäytön hyötysuhde

Sarjahybridikäyttö on muuten sama kuin akkukäyttö, mutta tässä käytössä energia tulee generaattorilta akuston sijaan. Generaattorin perässä on kiinteävälityksinen vaihde, joka pitää dieselmoottorin optimitilassa 42 % /6/. Vaihteiston hyötysuhde on 90 % /11/.

DC/DC-muuntajan hyötysuhde on yhtäläinen akuston DC/DC-muuntajan kanssa. Muutoksia arvoihin tuo generaattorin, vaihteiston ja polttomoottorin hyötysuhteet sekä energian määrä, joka vaaditaan kondensaattorien kautta kuljetetuksi.

$P_g(t)$:n integraali E_g (91) on energia, joka kuluu sekä nostotyöhön (90) E_{gn} , että superkondensaattorien lataamiseen E_{gc} (89). Tämä energia jaetaan generaattorin, kiinteävälityksisen vaihteiston ja dieselmoottorin hyötysuhteilla saadaan kulutettu energia, jotta nosto olisi mahdollinen (92). Työn hyötysuhde on nostoon käytetyn tehon $P_r(t)$ integraalin ja generaattorista otetun E_{gl} energianosamäärä (93).

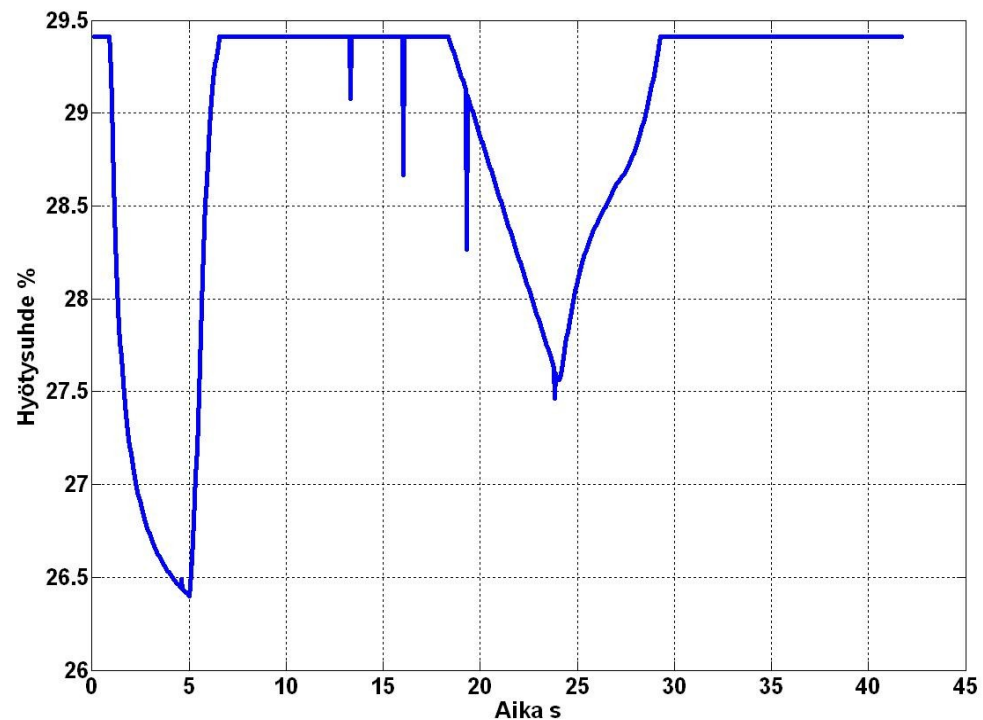
$$E_{gc} = P_g(t) \cdot t_{ch} = 15840 \cdot 29,19 = 4,62369 \cdot 10^5 = 4624 \text{ kJ} \quad (89)$$

$$E_{gn} = \int P_g(t) = 5,159 \cdot 10^5 = 5159 \text{ kJ} \quad (90)$$

$$E_g = E_{gn} + E_{gc} = 5,159 \cdot 10^5 + 4,62369 \cdot 10^5 = 978269 = 978 \text{ kJ} \quad (91)$$

$$E_{gl} = \frac{E_g}{0,91 \cdot 0,9 \cdot 0,42} = 2843970,58 = 2843 \text{ kJ} \quad (92)$$

$$\eta_{HYBRIDI} = \frac{E_r}{E_{gl}} = \frac{8,0816 \cdot 10^5}{2843970,58} \cdot 100 = 28,41 \% \quad (93)$$



KUVIO 34. Vintturin hyötysuhdekuvaaja hybridikäyttönä ajan suhteen. Kuvioista käy ilmi kondensaattorimoduulin vaikutus hyötysuhteeseen.

27.3 Bensiinikäytön hyötysuhde

Hyvinkään ilmailukerhon käytössä on bensiinikäyttöinen 315kW GM 454HO 7,4 l V8 moottorilla varustettu vintturi, jossa kelan ja moottorin välillä on kolmivaihteinen Hughes TH400 automaattivaihteisto. /5/

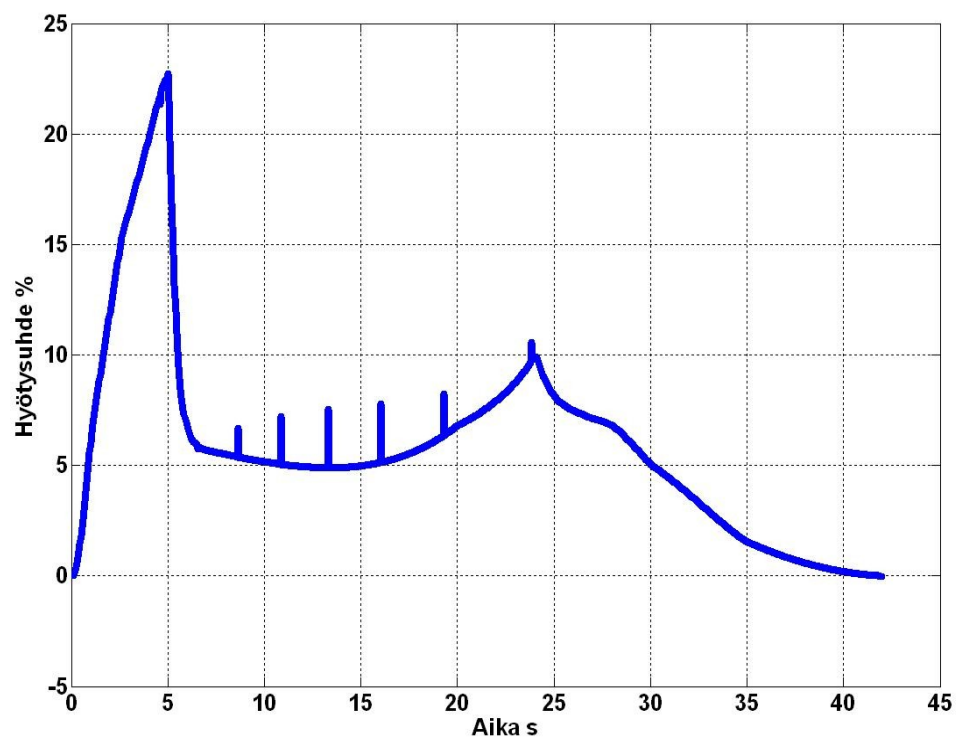
Bensiinimootori on hyötysuhteeltaan parhaimmillaan 75%:n tehokuormituksella /6/. Kuormituskuvaajasta (kuvio 36) käy ilmi, että maksimikuormitustilanteessakin kyseinen bensiinimootori työskentelee vain osakuormalla. Tämän lisäksi hyötysuhdetta laskee myös automaattivaihteiston tehohäviö 15% /11/. Kokonaishyötysuhteen määrittämiseksi laskennassa mukailtiin liitteen 4. bensiinimootorin hyötysuhdekuvaajaa kuormitussuhteen funktiona.

Kulutettu energia E_B on kulutetun tehon integraali (94).

$$E_B = \int \frac{P_r(t)}{\eta(t)_{BENSIINI} \cdot \eta_{VAIHDE}} dt = \int \frac{P_r(t)}{\eta(t)_{BENSIINI} \cdot 0,85} dt = 12443 \text{ kJ} \quad (94)$$

Hyötysuhde energioiden suhteen tarkasteltuna (95).

$$\eta_{BENSA} = \frac{E_r}{E_B} \cdot 100 = \frac{8,0816 \cdot 10^5}{1,2443 \cdot 10^7} \cdot 100 = 6,49 \% \quad (95)$$



KUVIO 35. Bensiinimoottorin ja automaattivaihteiston tuottama kokonaishyötysuhdekuvaaja ajan funktiona, mukailen laskennassa liitteen 4. kuvaajaa.

28 TALOUDELLISET NÄKÖKOHDAT

Hyvinkään ilmailukerhosta vastattiin kyselyyni purjelentokautena päivittäiseksi nostomääräksi noin 20 nostoa ja viimevuotiseksi kauden kokonaisnostomääräksi 1000 nostoa (liite 5). Taloudellisuusvertailussa käytän näitä tietoja lähtöarvoina.

28.1 Sähkökäyttö

Jotta saataisiin selville kuinka monta 10 kWh:n akustoa pitää kytkeä rinnan, jotta päivittäinen nostovaatimus saadaan otettua kokonaisuudessaan akustolta, voidaan käyttää seuraavia laskukaavoja: energia jouleina (96) ja sama energia kilovattitunteina (97).

$$E_{20} = \frac{E_r \cdot 20}{\eta_{AKKU}} = \frac{8,0816 \cdot 10^5 \cdot 20}{0,6333} = 25522185,38 = 25522 \text{ kJ} \quad (99)$$

$$E_{20} = \frac{\frac{E_a}{1 \cdot 10^6}}{3,6} = \frac{\frac{25518155,38}{1 \cdot 10^6}}{3,6} = 7,089 \text{ kwh} \quad (97)$$

Nostojen vaatima energian määrä on pienempi kuin akuista saatava energia eli akustoksi riittää kolme sarjaan kytkettyä R510 akkupakettia. Verkosta otettu energia E_v on jouleina (98) ja kilovattitunteina (99).

$$E_v = \frac{E_r}{\eta_{SÄHKÖ}} = \frac{8,0816 \cdot 10^5 \cdot 20}{0,5213} = 31005563 \text{ J} \quad (98)$$

$$E_v = \frac{\frac{E_v}{1 \cdot 10^6}}{3,6} = \frac{\frac{30416258,9}{1 \cdot 10^6}}{3,6} = 8,61 \text{ kwh} \quad (99)$$

Sähkön keskihinnan ollessa 20,67 snt/kWh (liite 7) on kateenkymmeneen nostoon kuluva energiakustannus (100).

$$K_A = 8,61 \cdot 20,67 = 17796 \text{ snt} = 1,77 \text{ €} \quad (100)$$

28.2 Hybridikäyttö

Dieselin keskihinta on 1,345 €/l (liite 6). Nostoihin kulutettu energia kilojouleina (101), megajouleina (102). Kulutetun dieselin massa (103) ja tilavuus (104).

$$E_{20} = \frac{E_r}{\eta_{HYBRIDI}} = \frac{8,0816 \cdot 10^5 \cdot 20}{0,2841} = 56892643,44 = 56892 \text{ kJ} \quad (101)$$

$$E_{d_{MJ}} = \frac{E_{20}}{1 \cdot 10^6} = \frac{56892643,44}{1 \cdot 10^6} = 56,89 \text{ MJ} \quad (102)$$

$$m_D = \frac{E_{d_{MJ}}}{T_D} = \frac{56,89}{43} = 1,32 \text{ kg} \quad (103)$$

T_D = Dieselin lämpöarvo, [43 MJ/kg] /2/.

$$I_D = \frac{m_D}{\rho_{diesel}} = \frac{1,32}{0,84} = 1,575 \text{ l} \quad (104)$$

ρ_{diesel} = Dieselin tiheys, [0,84 kg/l] /25/.

Kahdenkymmenen noston polttoaineeseen kuluva kustannus (105).

$$K_H = 1,345 \cdot 1,575 = 2,11 \text{ €} \quad (105)$$

28.3 Bensiinikäyttö

Bensiinin keskihinta on 1,599 €/l (liite 6). Yhteen nostoon kulutettu energia jouleina on $E_{BJ}=1,2443 \cdot 10^7 J$, megajouleina (106). Kulutetun bensiinin massa (107) ja tilavuus (108).

$$E_{BMJ} = \frac{E_{BJ}}{1 \cdot 10^6} = \frac{1,2443 \cdot 10^7}{1 \cdot 10^6} 12,443 \text{ MJ} \quad (106)$$

$$m_B = \frac{E_{BMJ}}{T_B} = \frac{12,443}{43,5} = 0,2860 \text{ kg} \quad (107)$$

T_B = Bensiinin lämpöarvo, 43,5 MJ/kg /2/.

$$V_B = \frac{m_B}{\rho_B} = \frac{0,2860}{0,75} = 0,38139 \text{ l} \quad (108)$$

ρ_{bensa} = Bensiinin tiheys, [0,75 kg/l] /26/.

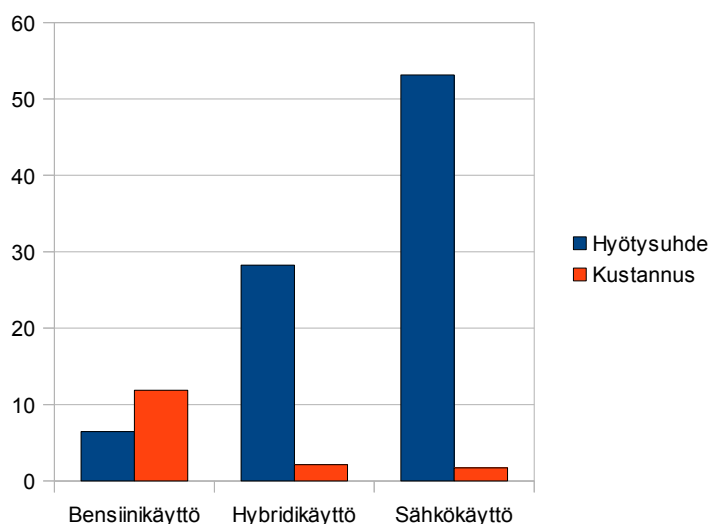
Kahdenkymmenen noston polttoaineeseen kuluva kustannus (109).

$$K_B = 0,38139 \cdot 1,599 \cdot 20 = 11,89 \text{ €} \quad (109)$$

28.4 Taloudellisten näkökohtien yhteenveto

Pelkällä sähkökäytöllä voidaan tehdä 136 vinssausta, ennen kuin polttoainekustannukset ovat yhtäläiset bensiinikäytöllä suoritetun 20:n vinssauksen kanssa. Vastaava määrä vinssauksia hybridikäytöllä on 111.

Tilanteessa jossa akustoon varattu energia on käytetty loppuun, voidaan hybridikäytöllä tehdä vielä 95 vinssaustyötä, ennen kuin polttoainekustannukset bensikäytön kanssa kohtaavat. Vuodessa tehdyn 1000:n vinssauksen polttoainekustannus bensiinikäytöllä olisi 594 euroa, mutta hybridikäyttöisenä 106,5 euroa. Sähkökäyttöisenä saman työn kustannukset on 88,5 euroa. Polttoainekustannuksen säästö sähkökäyttöisenä on 85 % ja hybridikäyttöisenä 82 %.



KUVIO 36. Eri käyttöjen hyötysuhteet ja 20:n vinssauksen vaatima kustannus.

Virtausakkuja voidaan varastoida määräämättömiä aikoja, ja niiden sykliseksi käyttöäksi on luvattu enemmän kuin 2000 sykliä (taulukko 3) Tämä tarkoittaa 1000:n vinssauksen vuositahdilla, että akustoja ladataan 20 kertaa vuodessa, jolloin niiden teoreettinen käyttöikä on 100 vuotta. Superkondensaattoreiden käyttöäksi luvataan 10 vuotta.

29 POHDINTA

Työ antaa vastaukset vinttureiden hyötysuhde ja polttoainetalous vertailuun, joka sille asetettiin alussa sekä selvittää johdannossa lueteltujen komponenttien koot. Laskentatulokset voivat kuitenkin vaihdella mikäli konetyyppi muutetaan toiseksi, laskenta suoritetaan erilaisessa tuuliolosuhteessa tai polttoaineiden tai sähkön hinta muuttuu. Työ oli kokonaisuudessaan varsin mielenkiintoinen ja opettavainen asiasta, joka itseäni kiinnostaa. Oli hauskaa luoda laite, jollaista ei vielä ole olemassa. Aiheen jatkojalostuminen vaatisi tutustumista muihinkin purjekone tyyppeihin kuin vain Sisu 1A:han, tarkempaa simuaaltiolaskentaa, jossa olisi yksityiskohtaisemmin fysiikka otettu huomioon. Asioita jäi myös laitteessa suunnittelematta, kuten esimerkiksi logiikkajärjestelmä.

LÄHTEET

- /1/ Laine S, Hoffren J, Renko K. 2006. Lentokoneen aerodynamiikka ja lentomekaniikka. Helsinki: WSOY.
- /2/ Haavisto A, Karkeala L, Kervinen M, Seppänen, R Tiihonen S, Wuolijoki H, Solander J, Varho K A. MAOL-taulukot. Helsinki:Otava
- /3/ The history of Sisu 1A, s/n 101, N6390X. Verkkosivu. Luettu 22.08.2010
<http://www.eaglebrandproducts.com/N6390X/>
- /4/ 2006. Sailplanedirectory.com. Active Media. Verkkosivu. Luettu 22.08.2011
<http://www.sailplanedirectory.com/PlaneDetails.cfm?PlaneID=324>
- /5/ Hyvinkään ilmailukerho/Kalusto/v-2008. Verkkosivu.Luettu 27:08.2011
<http://www.hyik.fi/ilmailukerho/kalusto/v-2008>
- /6/ Sammes N. 2006. Fuel Cell Technology. London:Springer
- /7/ Abbott I.H ja Von Doenhoff A. E 1949 Theory Of Wing Sections. New York: Dover Publications, INC
- /8/ Kallio. R ja Mäkinen M.J.J. 2004. Teollisuuden sähköasennukset Helsinki: Otava
- /9/ MSc Electronics Oy. Verkkosivu. Luettu 08.09.2011
http://www.msc.eu/msc_electronics/main.php
- /10/ Alanen, R., Koljonen, T., Hukari, S. & Saari, P. 2003. Energian varastoinnin nykytila. VTT Tiedotteita 2199.
- /11/ Hietalahti L. Sähkökäyttö- ja hybriditekniikka ajoneuvo ja työkonetekniikka. Tampere. Tammertekniikka.

/12/ Seppälä S. 2011. Sähköautojen akkujen kemia. Metropolia ammattikorkeakoulu. Auto- ja kuljetustekniikka. Insinöörityö.

/13/ 2011. Redflow advanced energy storage. Luettu 08.09.2011

<http://www.redflow.com/>

/14/ 2011. SMA Solar Technology AG. Luettu 08.09.2011

<http://www.sma.de/en/>

/15/ Thundersruck motors. Luettu 08.09.2011

<http://www.thunderstruck-ev.com/>

/16/ 2007. SFS-Käsikirja 6000. Pienjännite sähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus. 1. Painos. Helsinki: Suomen standardisoimis liitto SFS ry.

/17/ 2001. Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas. Tekninen opas nro 6.

Helsinki: ABB Oy.

/18/ 2010 Skylaunch / Skyrope. Verkkosivu. Luettu 08.09.2011

<http://www.skylaunchuk.com>

/19/ The Engineerig toolbox / Drag coeficcient. Verkkosivu. Luettu 08.09.2011

<http://www.engineeringtoolbox.com>

/20/ 2011. Jn-Solar. Verkkosivu. Luettu 08.09.2011

<http://www.jn-solar.fi>

/21/ 2011. SES Stirling energy systems. Verkkosivu. Luettu 08.09.2011

<http://www.stirlingenergy.com>

/22/ 2007. IEC-Pienjännitemoottorit 400V 50Hz. Esite. Helsinki: ABB Oy.

/23/ 2003. Silvonen K. 2003 Sähkötötekniikka ja elektroniikka. Helsinki: Otatieto

/24/ 2011 Polttoaine.net. Verkkosivu. Luettu 23.08.2011

<http://polttoaine.net>

/25/ 2011. Wikipedia / Polttoöljy. Luettu 23.08.2011

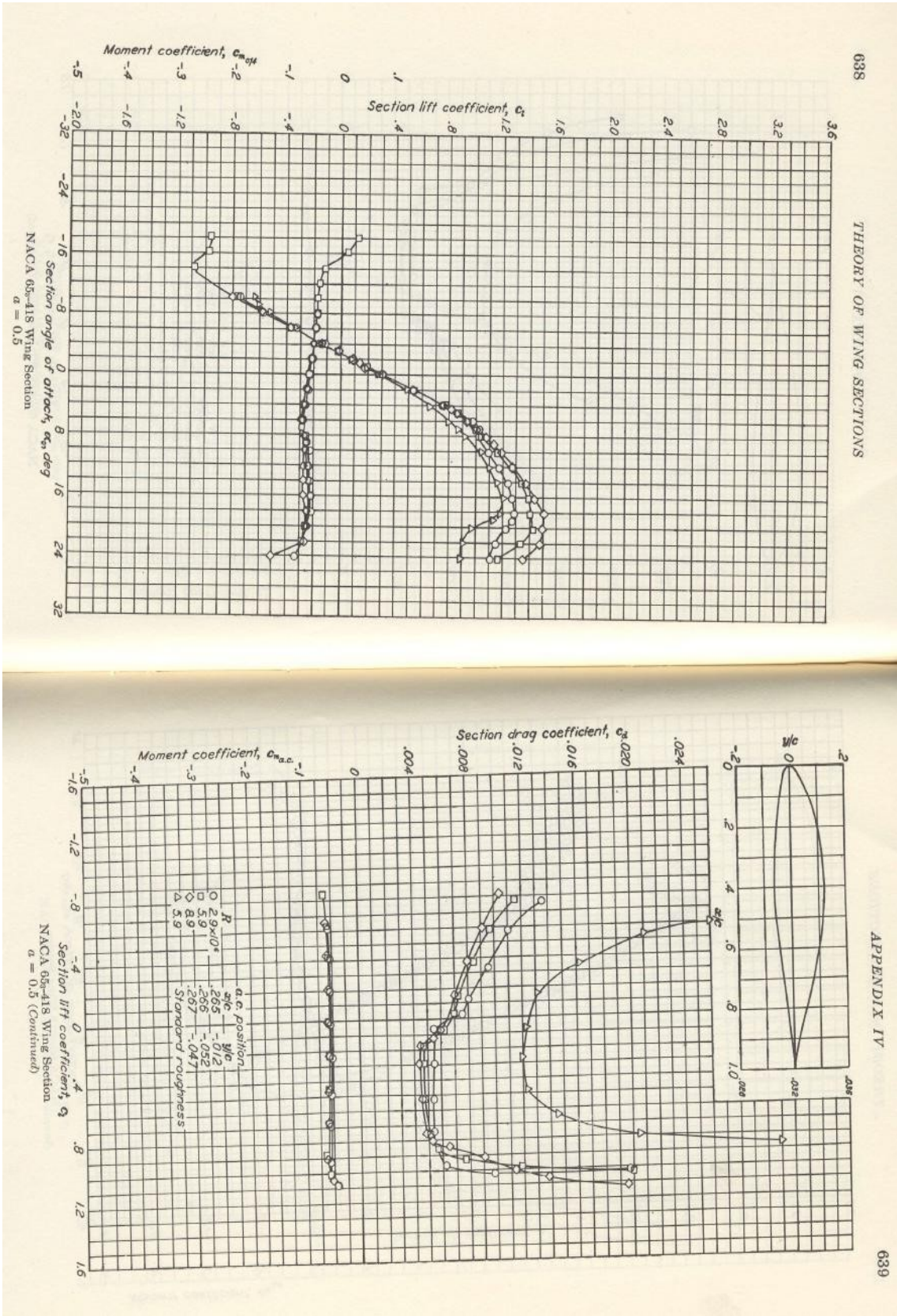
<http://fi.wikipedia.org>

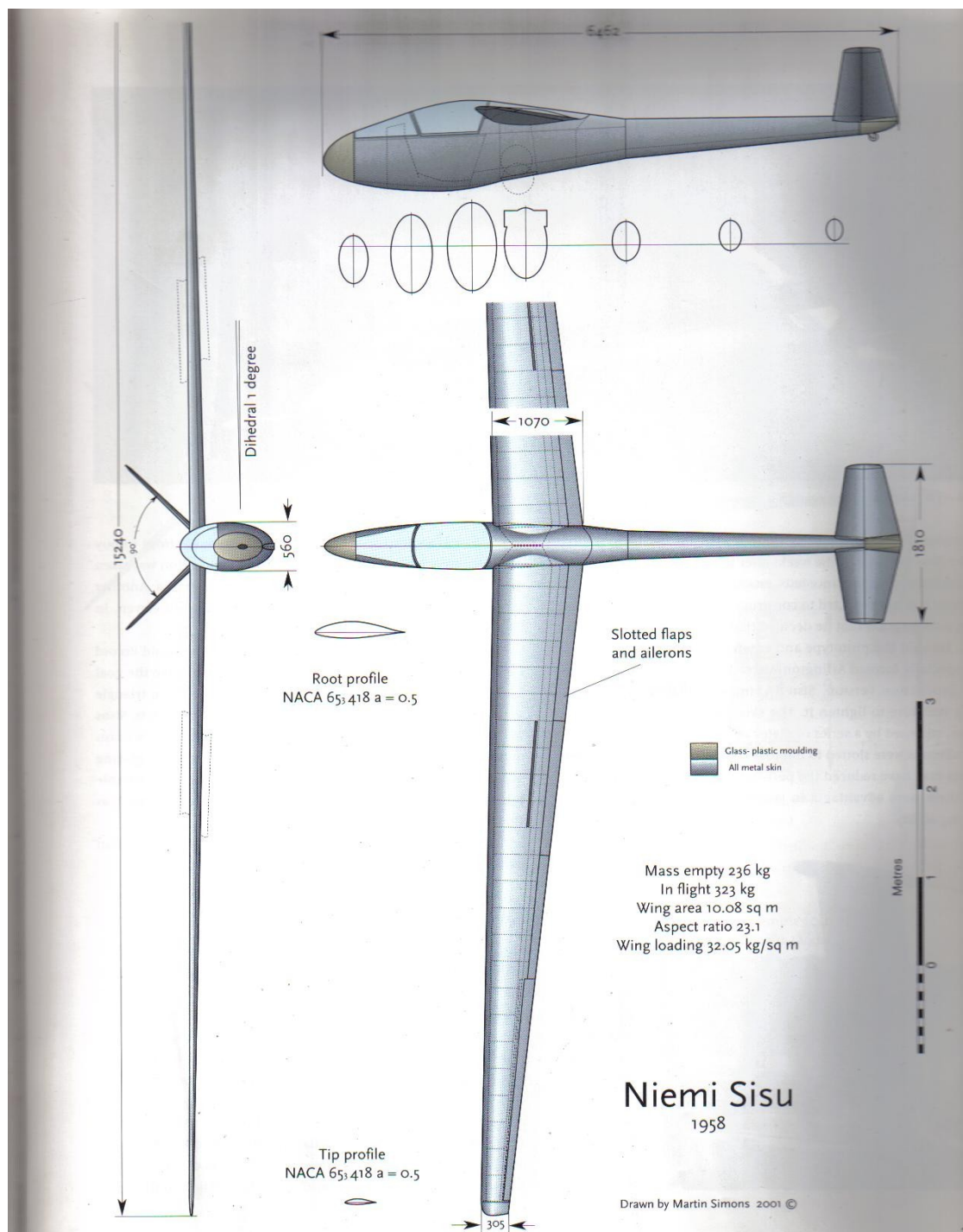
/26/ 2011. Wikipedia / Bensiini. Luettu 23.08.2011

<http://fi.wikipedia.org>

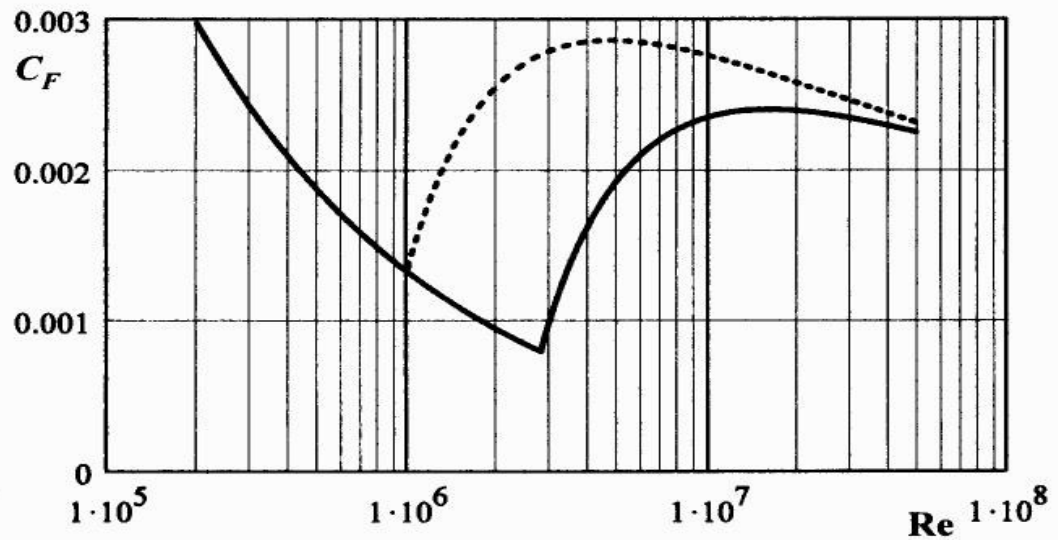
/27/ Aura L., Tonteri A. 1996 Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet
Porvoo: WSOY

LIITTEET





Liite 2. /3/



Kuva 9.11 Tasolevyn yhden puolen kitkavastuskerroin Reynoldsin luvun funktiona. Ehyt viiva: transitio kohdassa $Re = 2,8 \cdot 10^6$, pistekatkoviiva: transitio kohdassa $Re = 1 \cdot 10^6$. $C_D = 2 \cdot C_F$.

Liite3. /1/

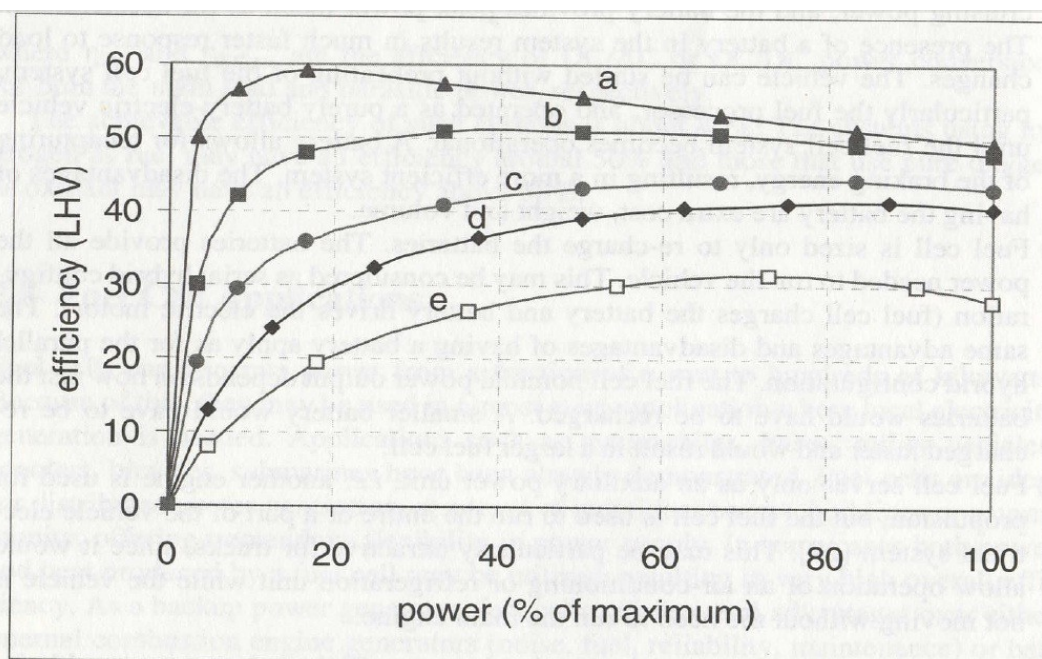


Figure 2.7. Comparison of the efficiency of fuel cells and internal combustion engines [2]
a) fuel cell system operating at low pressure and low temperature
b) fuel cell system operating at high pressure and high temperature
c) fuel cell system with an on-board fuel processor
d) compression ignition internal combustion engine (diesel)
e) spark ignition internal combustion engine (gasoline) (compiled from [21] and [22])

Liite 4. /6/

Otsikko: VS: Kysymyksiä vintturihinauksesta Vastottaja: 'Antti Lehtonen'	Päiväys: 22.08.11 13:26 Lähettäjä: Jukka Helminen
--	--

1. Normaalisti pääkiitoradalta toimittaessa lankaa on käytössä 1400 m
2. Kaksipaikkainen kone n. 500 m
3. Riippu päivästä mutta 10-20 ja viimevuonna oli n. 1000 vintturihinausta
4. Hinauksessa menee keskimäärin 1,2 litraa / veto. Tnkki on n. 80 litraa
5. 12,-
6. Hinaus kestää n. 1- 1,5 min.

Jukka Helminen

-----Alkuperäinen viesti-----

Lähettäjä: Antti Lehtonen [<mailto:antti.lehtonen@ee.tamk.fi>]
 Lähetetty: 22. elokuuta 2011 12:01
 Vastaanottaja: jukka.helminen@konekorhonen.com
 Aihe: Kysymyksiä vintturihinauksesta

Kirjoitan opinnäytetyötä Tampereen ammattikorkeakoululle purjekoneiden vintturinostoihin liittyen ja haluaisin saada hieman tietoa kyseisestä prosessista.

1. Kuinka pitkä on purjekoneen ja vintturin välinen etäisyys lähdössä?
2. Kuinka korkealle purjekone saadan nostettua tyymellä säällä kyseiseltä etäisyydeltä?
3. Kuinka monta nostoa päivässä yleensä tehdään ja kuinka monta nostoa viime vuonna oli?
4. Kuinka paljon kuluu polttoainetta nostossa tai kuinka monta nostoa saadaan yhdellä tankillisella ja tankin koko?
5. Kuinka paljon veloitatte asiakkaalta yhdestä nostosta?
6. Missä ajassa kone nousee?

Kiitos vastauksista.
 Antti Lehtonen

Liite 5.

Tampereen seutu

95E sarakkeen tausta on **tumma**, 95E10 sarakkeet ovat ilman tummaa taustaa.

Jakeluasema	PVM	95E/ 95E10	98E	Di	
Keskihinnat:		1.546	1.599	1.345	
Kangasala					
Shell, Ruutana Ruutanantie 1049, 9-tie (*E99+)	 Kartta	21.08.	1.549	*1.649	1.349
ABC, Prisma Lentola Mäkirinteentie 10, 12-tie	 Kartta	21.08.	-	-	1.349
Teboil Express, Lentola Kangasalanatie 700	 Kartta	19.08.	1.534	1.584	-
Lempäälä					
Neste, Marjamäki Helsingintie 256, 130-tie	 Kartta	22.08.	-	-	1.319
St1, Kuljunktano Tampereentie 272, 130-tie	 Kartta	22.08.	1.554	-	1.344
Futura, Sääksjärvi Tampereentie 477, 130-tie	 Kartta	22.08.	1.599	1.649	1.399
Nokia					
ABC, Kolmenkulma Rounionkatu 140	 Kartta	22.08.	1.539	1.619	1.349
Pirkkala					
St1, S-Market Partola Kenkätie 2	 Kartta	22.08.	-	-	1.299
Neste Oil, Partola CM Palmrothintie 2	 Kartta	20.08.	1.499	1.549	-



ARVIOERITTELY

22.06.2011

Laskun numero:
Asiakasnumero:
Käyttöpaikka:
Mittalaite:

Lehtonen Antti Sakari

VUOSIARVIO

Energia

ARVIOLASKU 01.04.2011 - 30.06.2011

SÄHKÖENERGIA / Taloussähkö, yksiaikainen / Tampereen Sähkönmyynti Oy

Energia 01.04.2011 - 31.05.2011

Energia 01.06.2011 - 30.06.2011

Perusmaksu 01.04.2011 - 31.05.2011

Perusmaksu 01.06.2011 - 30.06.2011

Sähköenergia yhteensä

SÄHKÖN SIIRTO / Yleissiirto 25 A - 63 A / Tampereen Sähköverkko Oy

Energiamaksu 01.04.2011 - 30.06.2011

Perusmaksu 25 A - 63 A 01.04.2011 - 30.06.2011

Sähkövero, veroluokka I / Arvio 01.04.2011 - 30.06.2011

Sähkön siirto yhteensä

ARVIOLASKU YHTEENSÄ

ARVIOLASKUN KESKIHINNAT

Energian myynti

Energian siirto

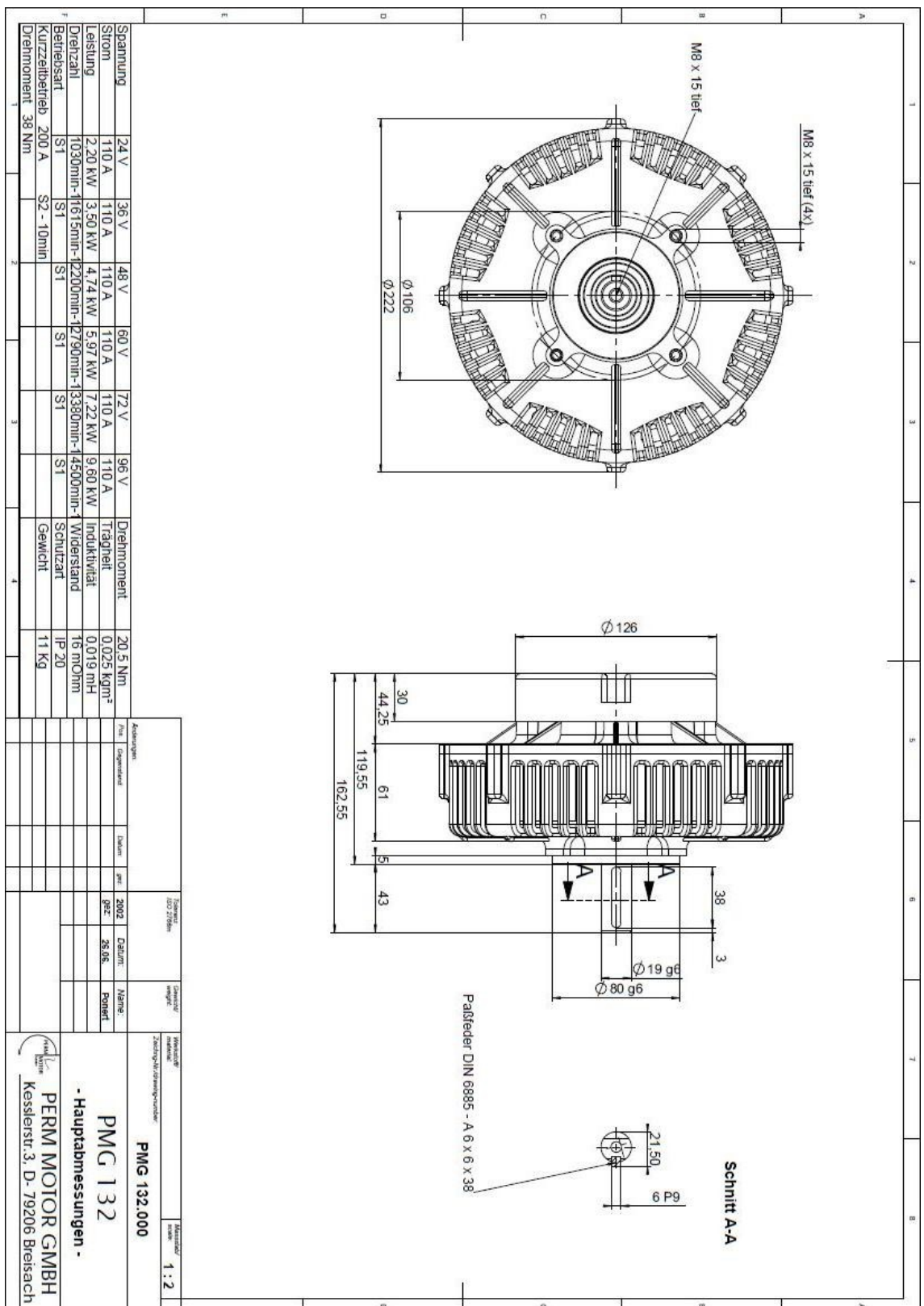
YHTEENSÄ

10,74 snt/kWh

9,92 snt/kWh

20,67 snt/kWh

Liite 7.



Liite 9.