



# SÄHKÖMOOTTORI JA PROPULSIOKÄYTTÖ

Sähkökonetyyppien soveltuvuus pienitehoiseen propulsioon



# Sisältö

- Sähkökoneen funktio
- Sähkökonetyyppejä
- Lataavan propulsioon vaatimuksia moottorille
- Johtopäätökset





## Sähkökoneen funktio

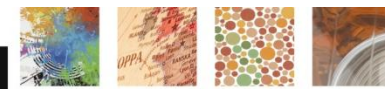
# Sähkökoneen funktio

- Sama kone voi toimia sekä moottorina että generaattorina
- Moottorina tuottaa momenttia magneettikentän (magnetointi) ja virrallisen johtimen (ankkuri) välisen voimavaikutuksen avulla
  - Paitsi reluktanssikone, joka perustuu magneettikentän ohjautumiseen pienimmän vastuksen reitille
  - $M \approx \Phi \times I$
  - Moottorin tilavuus on verrannollinen tuotettuun momenttiin
  - $P = M \times n \rightarrow$  saman tehoisista koneista hitaammin pyörivä tuottaa suuremman momentin ja on siksi suurempi, painavampi ja kalliimpi
- Generaattorina muuntaa mekaanisen momentin sähkötehoksi
  - Pyörivä magneettikenttä indusoi ankkurijohtimiin jännitteen
  - Vaatii magnetoinnin ja mekaanisen voimanlähteen



# Sähkömoottorin teho ja hyötysuhde

- Moottorin akselilta saadaan tehoa, joka otetaan pätötehona sähkölähteestä, lähde syöttää myös häviöt
- Jos sähkölähteestä lisäksi magnetointiin tarvittava loisteho
  - Ei tee mekaanista työtä, mutta on edellytys momentille
  - Loisvirta synnyttää sähkölämpöhäviöitä
  - Verrannollinen jännitteeseen ja taajuuteen, kuormituksen vaikutus vähäinen
- Hyötysuhde tuotetun mekaanisen tehon ja otetun pätötehon suhde  $\eta = (M \times n) / (U \times I \times \cos \varphi)$ 
  - Loisvirran häviöt korostuvat pienellä kuormituksella  
→ sähköisesti magnetoitavan koneen hyötysuhde laskee osakuormilla



# Generaattorin teho ja hyötysuhde

- Voimakone syöttää generaattorin akselille tehoa, joka syötetään sähköverkkoon pätötehona, voimakone syöttää myös häviöt
- Generaattori vaatii magnetoinnin, jolla jännite syntyy
  - Tarvittava magnetointi otetaan joko syötettävästä verkosta loistehona, erillisestä virtalähteestä tai kestromagneeteista
  - Magnetoititeho verrannollinen jännitteeseen ja taajuuteen, kuormituksen vaikutus vähäinen
- Hyötysuhde tuotetun sähkötehon ja otetun mekaanisen tehon suhde  $\eta = (U \times I \times \cos\varphi) / (M \times n)$ 
  - Sähköisen magnetoinnin häviöt korostuvat pienellä kuormituksella, hyötysuhde heikkenee

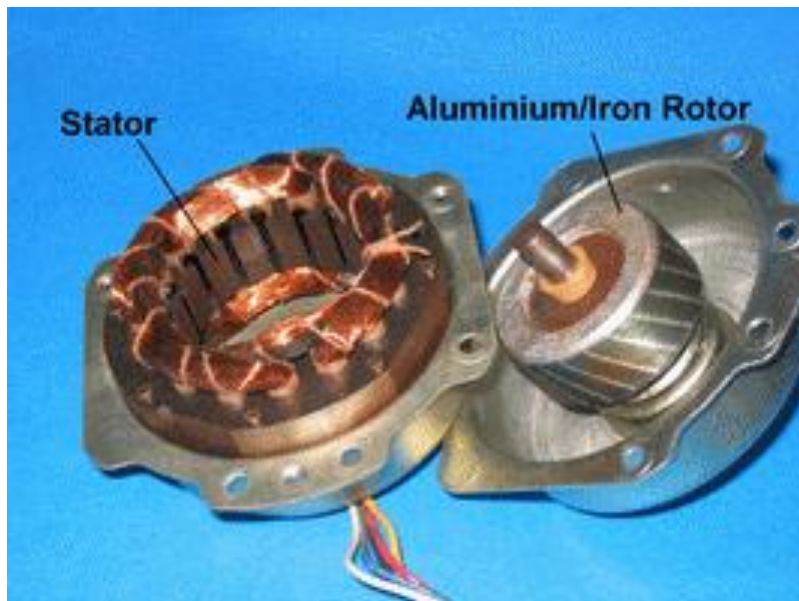




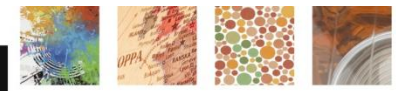
## Sähkömoottorityyppejä

---

# Oikosulkumoottori

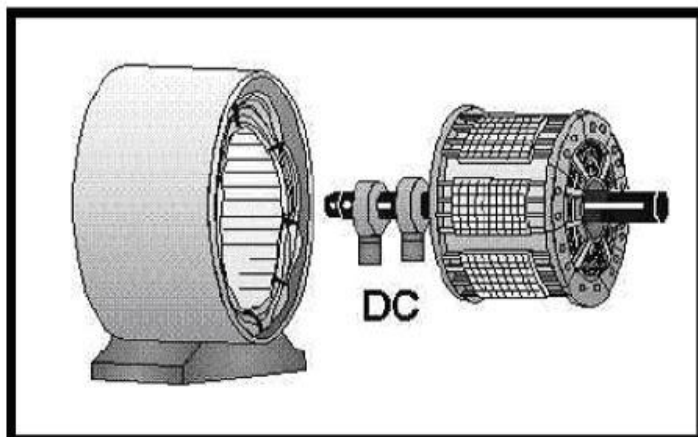


- Yleisin moottorityyppi
- Yksinkertainen, kestävä, lähes huoltovapaa
- Magnetointi staattorivirralla, lisähäviöt
- Magnetoinnin indusoima roottorivirta kehittää momentin
- Magnetointi jännitteen mukaan → osakuormilla hyötysuhde romahtaa
- Generaattori käyttöön ei vaadita lisälaitteita, jos syötetään invertterillä
- Vakiokäyttöjä "hyllystä"



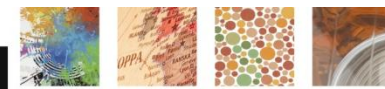


# Tahtimoottori



Gambar 7. Motor Sinkron

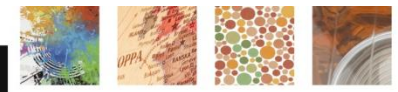
- Staattorirakenne kuten oikosulkumoottorissa
- Magnetointi
  - Harjoilla, huoltokohde
  - Apukoneella, kallis
  - Kestomagneeteilla (PMSM), kentänheikennys vaatii lisävirtaa
- Sopii generaattorikäyttöön
- (Lähes) samat käytöt kuin oikosulkukoneella
  - Erilainen laskentamalli ohjelmistossa
  - Magnetoinnin syöttö, ellei PMSM



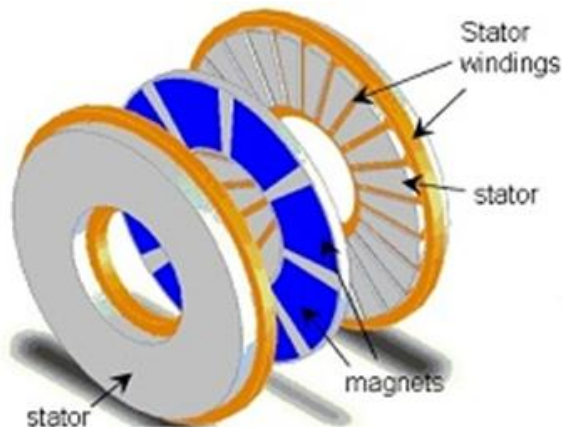
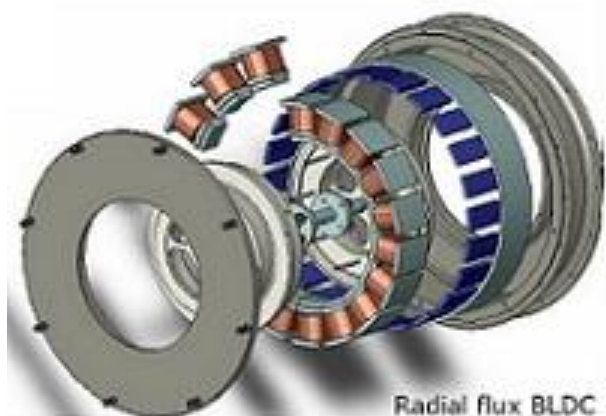
# Reluktanssimoottori



- Erittäin yksinkertainen ja kestävä rakenne
- Haasteellinen säätö, ei ongelma propulsiossa
- Sopii heikommin generaattorikäyttöön, magnetointi ongelma
- Liikennevälineissä eräänlaisia PM-hybridejä
  - PM magnetointi, jossa vuon ohjaus kuten reluktanssikoneissa
  - Luokitellaan PM-koneiksi



# Kestomagneettimoottori



- Perustyyppiltään tahtikone
- Kaksi versiota
  - Radiaalivuo (ylempi kuva)
  - Aksiaalivuo (alempi kuva)
- Ei tarvita erillistä magnetointia
  - Ei lämpenevää, häviöllistä magnetointikäymystä
  - Hyvä hyötysuhde myös osakuormilla
  - Sopii generaattoriksi
- Aksiaalivuokoneet pienikokoisia
  - Staattorikämmitykset kiinni rungossa, jäähdytys tehokasta
- Sopii säätökäyttöön
  - DC-käytöt (servokäyttö)
  - AC-käytöt (taajuusmuuttajat)
  - Invertterit
  - Kentänheikennys haastava



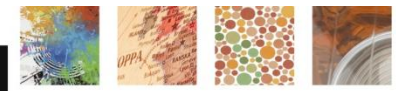


## Propulsiokäytön vaatimukset

---

# Propulsio sähkökäytön kannalta

- Kohderyhmälle yksinkertainen asennus ja käyttö tärkeitä ominaisuuksia → mahdollisimman automaattinen, väyläliitännät laitteiden välillä
- Vaativa ympäristö sähkölaitteille: kosteus, suola, värinä, lämpötila...
- Veneissä vähän tilaa laitteille
- Keveys on etu
- Jäähdytyksessä lämmön poisto myös laitetilasta varmistettava
- Akkukäytössä hyvä hyötysuhde kasvattaa toimintasädettä
- Potkurin kierroslukualue melko matala sähkömoottorien tyypillisiin nopeuksiin verrattuna, vaihteisto tarpeen
- Lataava propulsio on 4-kvadranttikäyttö, BMS ohjaa käyttöä
  - Myös generaattoritoiminta hyvällä hyötysuhteella

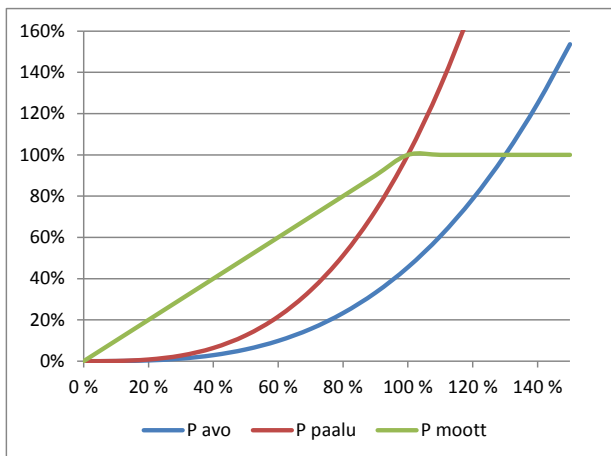
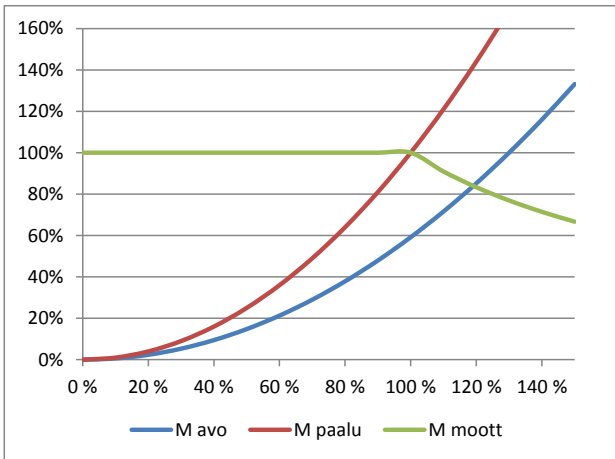


# Propulsio sähkökäytön kannalta

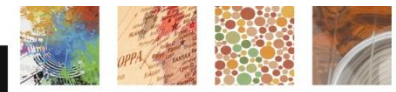
- Kierroslukuun nähden neliöllinen momentti ja kuutiollinen teho
  - Potkurikäyrät erilaiset avovedessä ja paaluvedossa (esim. vastatuuli)
  - Tehontarve kasvaa reippaasti veneen nopeuden noustessa
  - Mitoituspiste lähellä nimellinopeutta, lyhyt kentänheikennysalue
  - Lataustehon säädössä huomioitava potkurin ominaisuudet (vrt. ABS-jarrut)
- Moottorikäytössä nopeussäätö
  - Veneen nopeus verrannollinen potkurin pyörimisnopeuteen (ruuvi)
  - Veden joustavuuden takia dynamiikka helpohko
- Generaattorikäytössä periaatteeltaan momenttisäätö latausvirran mukaan
  - BMS ohjaa momentti- tai nopeusohjetta akuston tarpeiden mukaan



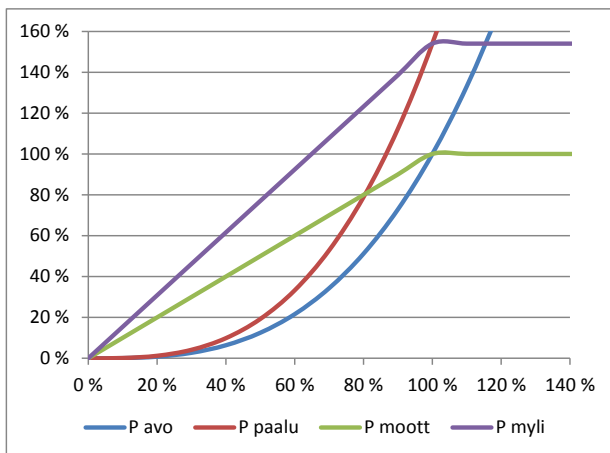
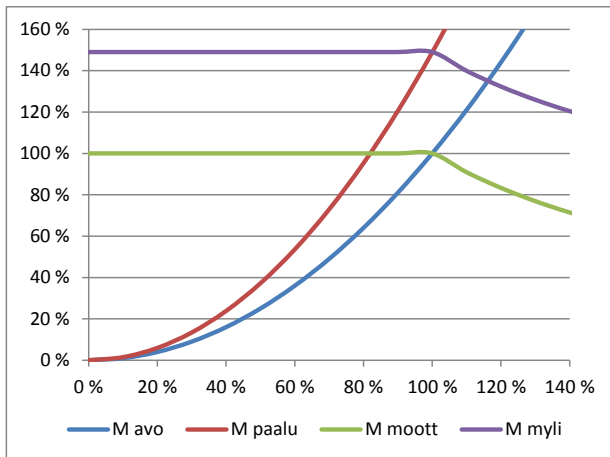
# Mitoitus paalukäyrällä



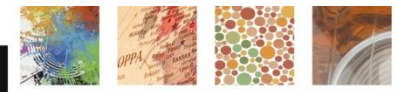
- Nimellismomentti ja nimellinopeus paalukäyrällä
- Ei tarvetta ylikuormitukseen normaalikäytössä
- Avovedessä täysi teho saavutetaan vasta kentänheikennysalueella
- PM koneen vuota rajoitettava vasta-magnetoinnilla, joka kasvattaa käytön ja moottorin häviöitä ja syö akkukapasiteettia
- Suurin osa käytöstä vajaalla kuormituksella



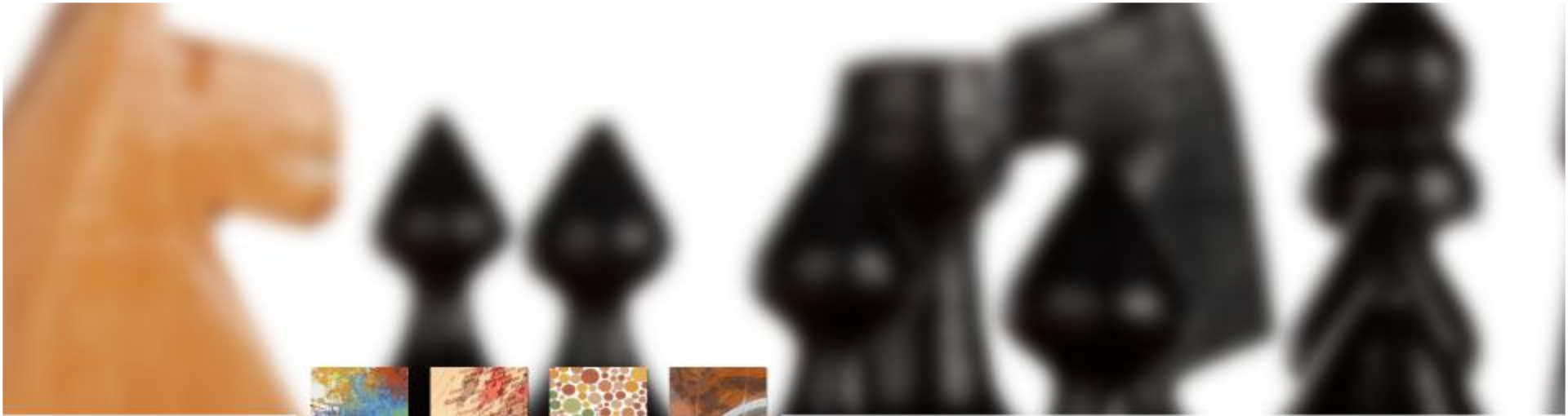
# Mitoitus avovesikäyrällä



- Nimellismomentti ja nimellinopeus avovesikäyrällä
- Ei tarvetta kentänheikennykseen
- Paalukäyrällä ei saavuteta nimellinopeutta ilman ylikuormitusta
- Nimellinopeus esim. vastatuulella vain rajoitetun ajan ilman yllämpöä
- Suurin osa käytöstä silti vajaalla kuormituksella







## Johtopäätökset



## Moottorin valinta ja mitoitus

- Yleisten ominaisuuksiensa ansiosta aksiaalinen kestromagneetikone invertterillä syötettynä on
  - Yksinkertainen, pieni ja kevyt
  - Toimii sekä moottorina että generaattorina hyvällä hyötysuhteella ilman lisälaitteita
  - Sopivin pieneen propulsiokäyttöön
  - Vaatii hyvän jäähdytyksen, kestromagneettien vuo heikkenee, jos pitkäaikaisia korkeita lämpötiloja
- Mitoitus sopivasti paalu- ja avovesikäyrien välimaastoon
  - Täysi nopeus raskaassa ajossa suhteellisen pienellä ylikuormalla lämpötilan mukaan rajoitettuna
  - Avovedessä ei tarvetta voimakkaaseen kentänheikennykseen tai nopeuden rajoittamiseen

