



OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Anssi Lammassaari

## TUULIVOIMALATESTIPENKKI

## **TUULIVOIMALATESTIPENKKI**

Anssi Lammassaari  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, auto- ja työkonetekniikan suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Anssi Lammassaari  
Opinnäytetyön nimi: Tuulivoimalatestipenkki  
Työn ohjaaja: Timo Väyrynen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2024

Sivumäärä: 29 + 6 liitettä

---

Työn toimeksiantajana oli Oulun ammattikorkeakoulu. Työn tavoitteena oli suunnitella testipenkki, jota voitaisiin käyttää opetuskäytössä. Testipenkki koostuu kahdesta sähkömoottorista, joista toinen toimii generaattorina. Opinnäytetyöhön sisältyi testipenkin suunnittelu alusta loppuun.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin sähkömoottorityyppeihin ja niiden toimintaperiaatteisiin. Myös erilaisia voima-antureita ja akselikytkimiä ja niiden toimintoja käsiteltiin. Lopuksi tarkasteltiin anturin ja kytkimien valintaperusteita läpi.

Käytännön osuudessa aluksi käytiin testipenkille asetettuja vaatimuksia läpi, joita olivat sen koko ja sijoituspaikan olosuhteiden tuomat vaikutukset. Vaatimuksena oli myös toisen moottorin liikutettavuus ja helppo vaihtaminen. Työssä käytiin läpi testipenkkiin tulevat sähkömoottorit, minkä jälkeen tutkittiin anturi- ja kytkinvaihtoehtoja, joiden pohjalta valittiin anturi- ja kytkinyhdistelmä testipenkkiin. Sen jälkeen valittiin testipenkkiin sopivat materiaalit, kuten alumiiniprofiilit ja muut tarvikkeet. Lopuksi mallinnettiin testipenkin tarvittavat osat kuten moottoripedit, lukituksen osat ja anturin sensorin teline SolidWorks-ohjelmalla. Lopuksi kaikista osista mallinnettiin kokonaisuus ja samalla valmistettavista osista tehtiin mittakuvat.

Työn lopputuloksena saatiin suunniteltua ja mallinnettua vaatimusten mukainen testipenkki, joka voidaan toteuttaa. Suunniteltua testipenkkiä on myös helppo kehittää tulevaisuudessa.

---

Asiasanat: SolidWorks, mekaniikkasuunnittelu, akselikytkin, anturi

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	SÄHKÖMOOTTORIT .....	6
2.1	Oikosulkumoottori .....	6
2.2	Häkkikäänmitty oikosulkumoottori .....	7
3	VOIMA-ANTURIT .....	8
3.1	Voima-anturien toimintaperiaate .....	8
3.2	Momenttianturi .....	8
3.3	Anturin valintaperusteita .....	9
4	AKSELILIITOKSET .....	11
4.1	Jäykät akselikytkimet .....	11
4.1.1	Hammaskytkin .....	12
4.1.2	Kuorikytkin .....	11
4.1.3	Laippakytkin .....	11
4.2	Joustavat akselikytkimet .....	12
4.2.1	Sakarakytkin .....	12
4.2.2	Rengaskytkin .....	13
4.2.3	Oldham-akselikytkin .....	14
4.3	Akseliliitosten valintaperusteita .....	14
5	MEKAANINEN SUUNNITTELU .....	16
5.1	Testipenkin sähkömoottorit .....	16
5.2	Anturin valinta .....	17
5.3	Akseliliitoksen valinta .....	18
5.4	Testipenkin materiaalin ja tarvikkeiden valinta .....	19
6	TESTIPENKIN MALLINNUS .....	20
7	YHTEENVETO .....	27
	LÄHTEET .....	28
	LIITTEET .....	31

# 1 JOHDANTO

Sähkömoottorit, momenttianturit ja akselikytkimet ovat keskeisiä osa-alueita monissa teknologisissa sovelluksissa, siksi testipenkki on oiva tapa tutustua sähkömoottoreiden, antureiden ja akselikytkimien toimintaan. Oulun ammattikorkeakoululla oli tarve tuulivoimalatestipenkille, joka sijoitettaisiin hybridilaboratorioon.

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella testipenkki, jota voitaisiin käyttää opetuskäytössä ja jota pystyisi hyödyntämään mahdollisen monipuolisesti esimerkiksi moottoreita vaihtamalla.

Tavoitteena olisi valita testipenkkiin anturi, akselikytkimet ja suunnitella koko testipenkki kokonaisuus. Testipenkki koostuu kahdesta sähkömoottorista, joista toinen on tehoiltaan 7,5 kW ja toinen 5,5 kW. Sähkömoottorit löytyivät valmiiksi Oulun ammattikorkeakoululta. Sähkömoottoreista toisen on tarkoitus toimia generaattorina ja toisen ajavana moottorina. Testipenkin vaatimuksina oli, että moottorit ja akselikytkentä piti olla helposti irrotettavissa. Aihe rajautuu testipenkin suunnitteluun, joka sisältää anturin, akselikytkimien, tarvikkeiden ja materiaalin valintaan. Lopuksi osista mallinnetaan SolidWorksilla kokoonpano ja mittakuvat.

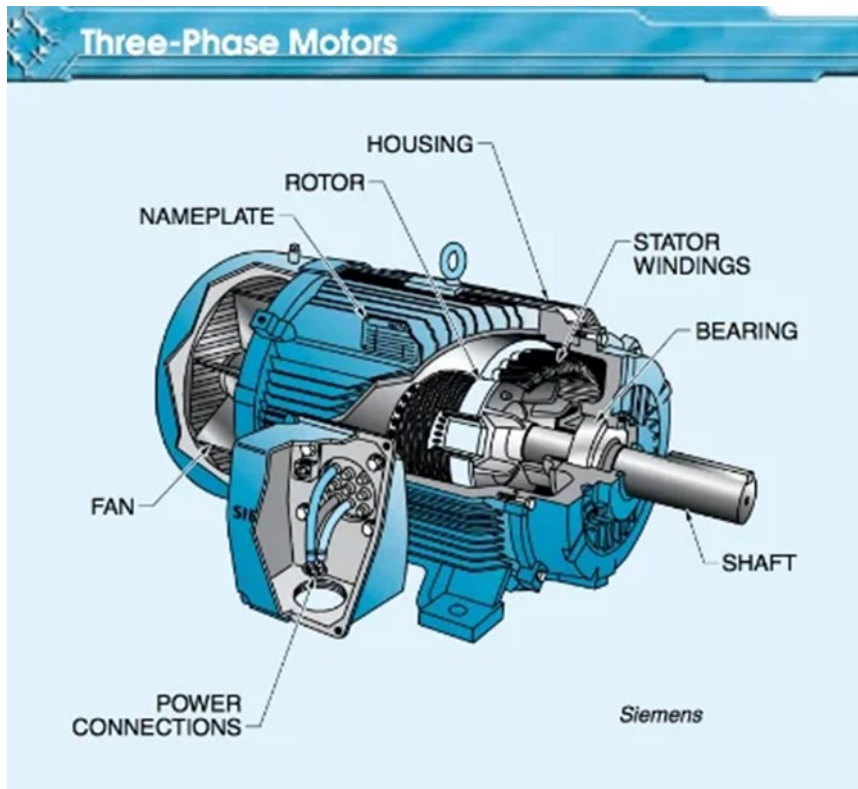
## 2 SÄHKÖMOOTTORIT

Sähkömoottorit ovat laitteita, jotka muuntavat sähköenergian mekaaniseksi energiaksi, joka saa aikaan liikettä. Moottorin perustoiminta perustuu sähkömagneettisiin voimiin. Sähkömoottori koostuu kahdesta keskeisestä osasta, staattorista ja roottorista. Staattori sisältää käämejä, jotka on kierretty eristetyistä langoista ja kytketty sähkövirtalähteeseen. Kun virta kulkee käämien läpi, syntyy magneettikenttä staattorin ympärille. Roottori, puolestaan, on sähkömoottorin pyörivä osa. Se sisältää johtavia osia, kuten käämejä tai levyjä, jotka ovat vuorovaikutuksessa staattorin magneettikentän kanssa. Tämä vuorovaikutus aiheuttaa voimien ja momenttien välittymisen, mikä saa roottorin pyörimään. Kun roottori pyörii, se luo mekaanista liikettä. Tämä vääntömomentti voidaan hyödyntää erilaisissa sovelluksissa, kuten ajoneuvoissa tai koneissa. Sähkömoottoreita on monenlaisia, kuten oikosulkumoottoreita tai harjattomia moottoreita, joilla on erilaisia rakenteita ja toimintaperiaatteita, mutta moottoreiden perusperiaate säilyy kuitenkin samana. (1.)

Yksinkertaisesti selitettynä siis sähkömoottorit ovat laitteita, jotka muuntavat sähköenergian mekaaniseksi energiaksi. Ne toimivat sähkövirran ja magneettikentän vuorovaikutuksella ja tuottavat liikettä tai vääntömomenttia tarpeen mukaan. (1.)

### 2.1 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori on yleinen sähkömoottorityyppi, jota käytetään laajalti mm. teollisuudessa, sen tehokkuuden, luotettavuuden takia. Oikosulkumoottoreilla on kahta päätyyppiä, yksi tai kolmivaiheisia (kuva 1). Näillä tyypeillä on sitten vielä omia variaatioita. Oikosulkumoottorin luotettavuus perustuu sen yksinkertaiseen rakenteeseen ja siinä onkin vain vähän liikkuvia osia muihin sähkömoottorityyppeihin verrattuna. Oikosulkumoottorin huonoina puolina voidaan pitää muun muassa sen alhaista käynnistysvääntömomenttia. Oikosulkumoottori koostuu yleensä kolmesta pääosasta: staattorisista, käämeistä ja roottorista. Staattorikäämit on kiinnitetty moottorin runkoon ja ne luovat magneettikentän, kun sähkövirta kulkee niiden läpi. Roottori pyörii siis staattorin luoman magneettikentän vaikutuksesta. Oikosulkumoottorin nimitys perustuu siihen, että roottorissa on oikosulkujohtoja, jotka luovat vastavuoroisen magneettikentän staattorin magneettikentän kanssa. (2.)



KUVA 1. Kolmivaiheisen sähkömoottorin rakenne (4.)

## 2.2 Häkkikämmetty oikosulkumoottori

Häkkikämmetty oikosulkumoottori on yleisin kolmivaiheinen oikosulkumoottorityyppi. Häkki-nimitys tulee käännyksen muodostamasta häkistä, joka muistuttaa oravanpyörän häkkiä, tästä johtuu myös englanninkielinen nimitys "Squirrel cage". Häkkikämmetyn oikosulkumoottorin rakenne koostuu roottorista, jossa on kerroksittain kasattuja uritettuja rautalevyjä. Rautalevyjen urissa kulkee alumiini- tai kuparijohteet. Johteet on liitetty päistään yhteen metallirenkailla, jotka aiheuttavat oikosulun. Johteita on hieman käännetty suorasta linjasta melun ja vääntömomentin vaihteluiden vähentämiseksi. Häkkikämmetystä hyödynnetään myös tahtimoottoreissa. (3.)

### 3 VOIMA-ANTURIT

Voima-anturit ovat laitteita, jotka on suunniteltu mittaamaan voimia tai vääntömomenteja. Käytännössä ne muuntavat voiman, kuten kuormituksen, painon, jännityksen, puristuksen tai paineen sähköiseksi signaaliksi, joka voidaan mitata ja analysoida. Antureita hyödynnetään monissa sovelluksissa kuten teollisuudessa, robotiikassa, liikenteessä ja biomekaniikassa. Voima-anturit mahdollistavat voimien tarkan mittauksen ja analysoinnin erilaisissa järjestelmissä. (5.)

#### 3.1 Voima-anturien toimintaperiaate

Voima-antureiden toimintaperiaate voi vaihdella sen mukaan, minkä tyyppistä voimaa tai momenttia ne mittaavat. Yleisimmät toimintaperiaatteet ovat jännitemuutos, resistiivisyysmuutos, kapasitanssimuutos ja piezoelektrinen vaikutus. Esimerkiksi jännitemuutosperusteisissa antureissa voima aiheuttaa jännitemuutoksen, jota voidaan mitata ja tulkita voiman suuruudeksi. On olemassa erilaisia voima-anturityyppejä, jotka on suunniteltu mittaamaan erilaisia voimia ja momentteja. Esimerkkejä voima-anturityypeistä ovat jännite-, paine-, kuorma-, momentti- ja puristusanturit. (5.)

#### 3.2 Momenttianturi

Momenttianturit on suunniteltu mittaamaan mekaanista vääntömomenttia tai voimaa. Momenttianturit mahdollistavat vääntömomentin tarkan seurannan ja analysoinnin, mikä on olennaista moottoreiden, koneiden ja järjestelmien suorituskyvyn arvioinnissa. (5.)

Momenttianturit toimivat periaatteessa muuntamalla mekaanisen vääntömomentin tai voiman sähköiseksi signaaliksi. Tämä tapahtuu yleensä hyödyntämällä pyöreän akselin momenttiantureita. (5.)

Pyöreän akselin momenttianturit (kuva 2) käyttävät yleensä joko venymäliuskoja tai hall-antureita vääntömomentin mittaukseen. Venymäliuska-antureissa ohut joustava kalvo kiinnitetään momentin vaikuttamalle akselille, ja kun akseli vääntyy, kalvoon tulee jännitystä, joka muuttaa sen sähköistä resistanssia. Tämä resistanssin muutos voidaan mitata ja tulkita vääntömomentin suuruudeksi. (5.)





KUVA 2. Erilaisilla kiinnityksellä olevia momenttiantureita (9.)

Hall-anturit taas perustuvat hall-ilmioon. Hall ilmiö perustuu magneettikenttään ja sen suunnan tai voiman muutoksiin. Hall-anturi muuttaa magneettisen tiedon sähköiseksi signaaliksi, jota voidaan tulkita. Hall-antureita käytetään yleisesti muun muassa ajoneuvojen kampiakselin asentotunnistimissa ja ABS-järjestelmissä. (6.)

### 3.3 Anturin valintaperusteita

Momenttianturin valintaan vaikuttaa useita tekijöitä, jotka on otettava huomioon riippuen sovelluksesta ja käyttötarkoituksesta. Ohessa on listattuna yleisiä valintaperusteita, joita pitää ottaa huomioon sopivaa anturia valittaessa: (7.)

- Momentin suuruus: Ensinnäkin on selvítettävä, kuinka suuri momentti mitattavaan järjestelmään kohdistuu. Momenttianturin tulee pystyä mittaamaan tätä momenttia ilman ylikuormittumista. (7.)
- Anturin tarkkuus: Tarkkuus on tärkeä tekijä, etenkin tarkkuusvaatimuksia vaativissa sovelluksissa, kuten teollisuudessa tai tieteellisissä mittauksissa. Momenttianturin tulee olla riittävän tarkka mittaamaan momentin muutoksia. (7.)

- Taajuusvaste: Momenttianturin taajuusvaste kuvaa, kuinka hyvin se pystyy mittaamaan momentin muutoksia eri taajuuksilla. Tämä on tärkeää erityisesti dynaamisissa sovelluksissa, kuten moottoreiden testauksessa. (7.)
- Ympäristöolosuhteet: Käyttöympäristö vaikuttaa anturin valintaan. Jos anturia käytetään esimerkiksi äärimmäisissä lämpötiloissa, kosteissa olosuhteissa tai räjähdysvaarallisessa ympäristössä, on varmistettava, että anturi on tarkoitukseen sopiva ja sertifioitu tällaisiin olosuhteisiin. (7.)
- Koko ja muoto: Anturin koko ja muoto vaikuttavat sen asentamiseen ja integrointiin järjestelmiin. Eli toisin sanoen pitää selvittää kuinka suuren anturin kyseiseen kohteeseen voi asentaa. (7.)
- Signaali- ja liitäntävaatimukset: Momenttianturin antama signaali voi vaihdella riippuen anturityypistä (esim. venymäliuska, piezoelektrinen). On tärkeää varmistaa, että anturin tuottama signaali voidaan helposti liittää ja se on sopiva kyseiseen mittauslaitteeseen tai ohjausjärjestelmään. (7.)
- Kustannukset: Budjetti on aina merkittävä tekijä valinnassa. Momenttianturit voivat vaihdella merkittävästi hinnaltaan riippuen niiden ominaisuuksista ja tarkkuudesta. (7.)

## **4 AKSELILIITOKSET**

Akseliliitos eli akselikytkin on mekaaninen liitos, joka mahdollistaa kahden akselin tai akselimaisen komponentin liittämisen yhteen. Akselikytkimet ovat tärkeitä monissa sovelluksissa, erityisesti ajoneuvojen, koneiden ja laitteiden suunnittelussa. Akselikytkimiä on kahta eri päätyyppiä, jäykkiä tai joustavia. Molemmilla kytkintyypeillä on vielä omat variaationsa. (8.)

Akseliliitoksen tärkein tehtävä on voimansiirto kahden akselin välillä. Akseliliitoksen hyötynä on, että ei tarvita yhtä yhtenäistä akselia. Akseliliitos on halvempi ja helpommin huollettava ratkaisu kuin kokonainen akseli ja liitos voidaan tarvittaessa katkaista helposti. Akselikytkimillä voidaan myös yhdistää kaksi erikokoista akselia toisiinsa. (8.)

### **4.1 Jäykät akselikytkimet**

Jäykät akselikytkimet ovat liitoksia, jotka on suunniteltu sovelluksiin, joissa on vähän tai ei lainkaan kulmavirheitä. Niitä käytetään sovelluksissa, joissa vaaditaan tarkkuutta, eikä akseliliitos saa joustaa. Jäykkiä akselikytkimiä voidaan käyttää kohteissa, joissa ei ole laakerointia. Jäykillä akseliliitoksilla on huono iskunvaimennus ja värinäesto. (8.)

#### **4.1.1 Kuorikytkin**

Kuorikytkin koostuu yleensä kahdesta puolikkaasta sylinteristä, jotka kiinnitetään toisiinsa pulteilla ja muttereilla. Akselit asennetaan kiilauriin, jotka ovat sylinterien sisäpinnalla. Kuorikytkimet ovat helppoja asentaa ja ylläpitää. Ne ovat yksinkertaisia purkaa, sillä akselit voivat olla missä tahansa asennossa niitä purettaessa. Kuorikytkimiä käytetään yleensä raskailla kuormilla ja ne kestävät kohtalaisia pyörimisnopeuksia. (8.)

#### **4.1.2 Laippakytkin**

Laippakytkin on akseliliitos, joka koostuu kahdesta erillisestä laipasta, jotka kiinnitetään yhteen pulteilla ja muttereilla. Kumpikin akseli kiinnitetään omaan laippaansa ja molemmat akselit tuodaan

samaan keskiliinjaan ja niiden kohdistus säilytetään siten, että toisessa laipassa on ulkoneva osa, kun taas toisessa laipassa on vastaava upotettu osa. Laippaliitoksia käytetään esimerkiksi paineis-  
tetuissa putkistoissa ja suurten halkaisijoiden akseliliitoksissa. (8.)

#### **4.1.3 Hammaskytkin**

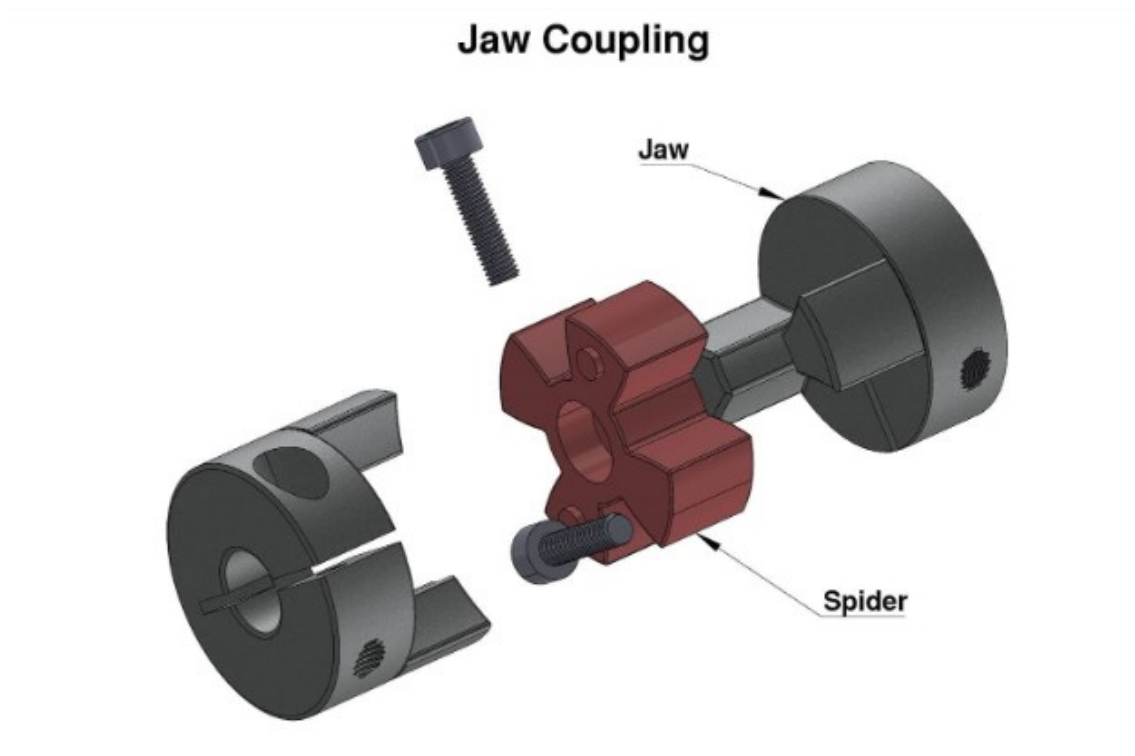
Hammaskytkimen rakenne koostuu yleensä navoista ja holkeista. Navassa on ulkokehän hammas-  
tus ja holkissa taas vastaavasti sisäkehän hammastus. Navat asennetaan tyypillisesti akseleissa  
oleviin kiilauriin ja laippa asennetaan niiden väliin. Hammaskytkin pystyy välittämään suuria vään-  
tömomentteja ja se kestää pieniä kulmavirheitä, johtuen sen kuperasta hammastuksesta. Ham-  
maskytkimet vaativat yleensä myös voitelua. Ominaisuuksiensa puolesta hammaskytkimet sopisi-  
vat myös joustaviin kytkimiin, mutta niitä kuitenkin tyypillisesti pidetään jäykkinä kytkiminä. (8.)

### **4.2 Joustavat akselikytkimet**

Joustavat kytkimet ovat mekaanisia liitososia, jotka mahdollistavat akselien yhdistämisen ja mo-  
mentin siirtämisen moottoreista tai laitteista. Ne koostuvat yleensä elastisesta materiaalista, kuten  
kumista, ja voivat taipua ja venyä, mikä auttaa kompensoimaan pientä epäkeskisyyttä ja vähentä-  
mään vääntömomenttien vaikutusta. Joustavia kytkimiä käytetään laajasti teollisuuden koneissa ja  
voimansiirrossa ajoneuvoissa. (8.)

#### **4.2.1 Sakarakytkin**

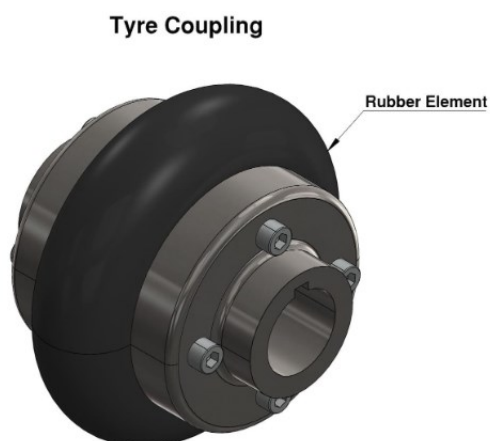
Sakarakytkin (kuva 3) on mekaaninen kytkin, joka mahdollistaa akselien yhdistämisen tai erottami-  
sen toisistaan. Se koostuu kahdesta vastakkaisesta haarasta tai sakarasta. Sakaroiden välissä on  
muovinen joustoelementti, jota kutsutaan nimellä ”spider”. Tätä kytkintä käytetään monissa sovel-  
luksissa, kuten koneiden kytkemisessä, turvallisuuden varmistamisessa ja teollisuuden proses-  
seissa. Sakarakytkimet ovat luotettavia ja kestäviä, ja ne toimivat ilman monimutkaisia sähköisiä  
komponentteja tai voitelua. (8.)



KUVA 3. Sakarakytkin (engl. Jaw coupling) (8.)

#### 4.2.2 Rengaskytkin

Rengaskytkin (kuva 4) on yksi joustavista akselikytkimistä. Se koostuu paksusta kumisesta, polyuretaanisesta tai polyeteerisestä elementistä, joka yhdistää kaksi napaa. Rengaskytkimet sopeutuvat suurille aksiaalipoikkeamille. Rengaskytkimet myös vähentävät iskujen ja värähtelyjen siirtymistä. Rengaskytintä voidaan käyttää laajalla vääntömomentti alueella ja se kestää suuriakin kierrosnopeuksia. Rengaskytkin ei myöskään vaadi voitelua ja se on täten huoltovapaa. (8.)



KUVA 4. Rengaskytkin (engl. Tyre coupling) (8.)

#### 4.2.3 Oldham-akselikytkin

Oldham kytkin koostuu kolmesta osasta, päätyosista ja niiden väliin asennettavasta muovisesta kappaleesta. Muovisessa osassa on urat päätykappaleiden asennusta varten. Kytkimen muoviosa liikkuu vapaasti päätykappaleiden urissa. Oldham-kytkimiä käytetään yleensä sovelluksissa, joissa on paljon radiaalista eli pystysuuntaista heittoa ja joissa ei sallita takaiskua lainkaan. (8.)

#### 4.3 Akseliliitosten valintaperusteita

Akseliliitoksen valintaan vaikuttavat monet tekijät, ja se riippuu suurelta osin sovelluksesta, jossa liitosta käytetään. Yleisiä akseliliitoksen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat: (7.)

- Kuormitus: On tärkeää tietää, millaisia voimia ja momentteja akseliliitos joutuu kestämään, koska niillä on merkittävä vaikutus kytkinten valintaan. (7.)
- Akselien koko ja halkaisija: Akselien mitat vaikuttavat siihen, millaista liitosta voidaan käyttää. (7.)
- Pyörimisnopeus: Akselien pyörimisnopeus voi vaikuttaa voitelun ja liitoksen suunnitteluun. Korkeissa pyörimisnopeuksissa tarvitaan usein tarkempia liitoksia ja tehokasta voitelua. (7.)
- Ympäristöolosuhteet: Työskentely ympäristön lämpötila, kosteus, pöly, kemikaalialtistus ja muut olosuhteet vaikuttavat kytkimen valintaan. (7.)
- Tarvittava liikelaajuus: Eli onko kokoonpanossa tiedossa olevia kulmavirheitä, joita kytkimen pitäisi kompensoida. (7.)
- Kestävyys ja huolto: Eli Kuinka pitkäikäinen liitos tarvitaan, ja kuinka helppo huoltoinen kytkimen halutaan olevan. (7.)

- Kustannukset: Kustannusarviot vaikuttavat myös liitoksen valintaan. Joissakin tapauksissa yksinkertaiset liitokset voivat olla taloudellisesti kannattavampia kuin monimutkaiset liitokset. (7.)

## 5 MEKAANINEN SUUNNITTELU

Tässä osiossa käsitellään testipenkin mekaanista suunnittelua, johon kuuluvat moottoripetien suunnittelu, anturin, akselikytkimien, materiaalien ja tarvikkeiden valinta. Testipenkin edellytyksinä olivat moottoripetien helposti liikutettavuus, jotta toisen moottorin pystyisi vaihtamaan helposti. Tämän myötä akseliliitos pitää olla helposti irrotettavissa. Testipenkin sijoituskohde on varastohyllyn alaosa, joka aiheuttaa myös omat vaatimuksen testipenkin koon suhteen (kuva 5). Kuvasta 5 poiketen hyllyssä on kaksi hyllyä peräkkäin ja niillä on yhteinen keskiorsi. Hyllyn syvyys on 365 mm ja orsien pituudet vasemmalla 1 815 mm ja oikealla 2 015 mm. Turvallisuus pitää myös ottaa huomioon, esim. sähköturvallisuus ja mekaaniset suojat, ettei liikkuvat osat ole esillä. Tässä työssä ei kuitenkaan keskitytä testipenkin sähkötöihin vaan mekaaniseen suunnitteluun.

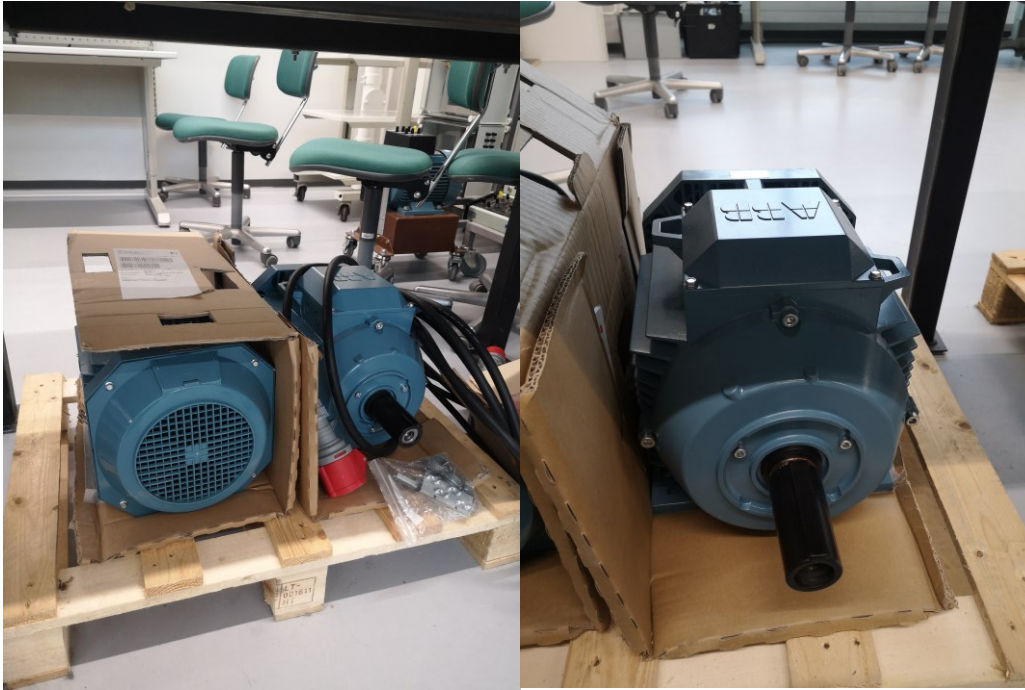


KUVA 5. Hylly, jonka alle testipenkki sijoitetaan

### 5.1 Testipenkin sähkömoottorit

Testipenkkiin tulevat sähkömoottorit löytyivät valmiiksi koululta (kuva 6). Moottorit ovat mallimerkinnältään ABB:n M2AA 132M 4 ja M2AA 132S 4. Moottorit ovat kolmivaiheisia oikosulkumoottoreita. Toinen moottori on tehoiltaan 7,5 kW ja toinen 5,5 kW. M2AA 132M 4 pyörimisnopeus on 1450–1760 r/min ja vääntömomentti 40,6–49,3 Nm, riippuen käyttöjännitteestä ja M2AA 132S 4 1450–1765 r/min ja 29,70–36,20 Nm. Tehokkaampi moottori toimii ajavana koneena ja pienempi generaattorina.





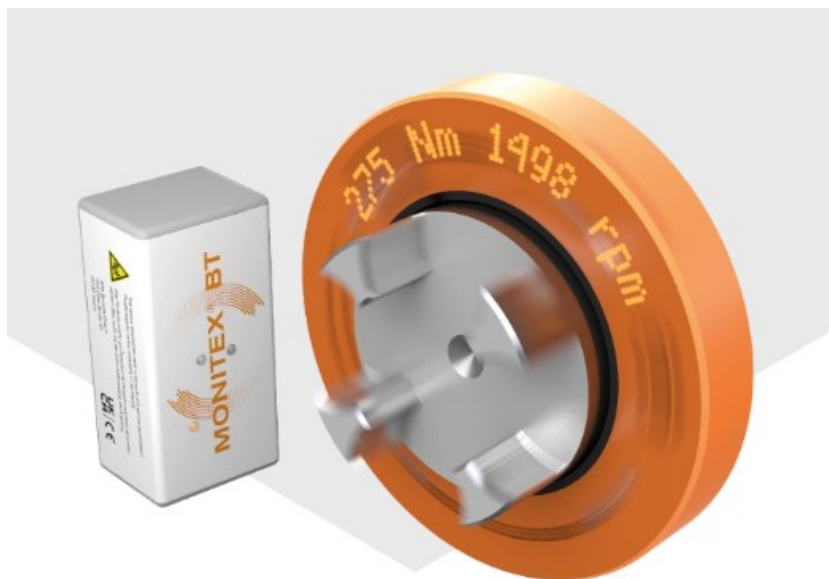
KUVA 6. Opinnäytetyössä käytettävät moottorit

## 5.2 Anturin valinta

Testipenkin voima-anturiksi oli muutamia vaihtoehtoja, jotka olivat kontaktiton pyörivä anturi, pyörivä anturi tai laippamallinen momenttianturi. Anturivaihtoehtoja kyseltiin KTR Finland Oy:ltä, jolla näytti olevan laaja anturi ja kytkin valikoima. Kyseiseltä yritykseltä saatiinkin tarjous kahdesta erilaisesta anturi- ja kytkinyhdistelmästä (taulukko 1). Testipenkkiin sopivimmaksi anturiksi valikoitui kyseisistä vaihtoehdoista Monitex BT 42/800Nm -momenttianturi (kuva 7). Kyseinen anturi valikoitui sen edullisemman hinnan ja uudemman teknologian vuoksi. Monitex BT:n tärkeimpinä ominaisuuksina oli sen helppo kytkettävyys, sillä se on integroituna saman toimittajan Rotex GS kytkin-napaan, eli sakarakyttimeen. Anturin tiedonsiirto ja virransaanti toteutetaan induktiivisesti senso-rilla, joka asetetaan anturin viereen. Monitex BT:n ominaisuuksiin kuuluu myös helppo liitettävyys, sillä datan saa ulos joko Bluetooth-yhteydellä tai langallisesti. Anturista löytyy myös pieni näyttö kyljestä, josta näkee vääntömomentin ja pyörimisnopeuden kyseisellä hetkellä. Monitex BT:n tek-niset tiedot ovat liitteessä 1.

KTR Finland Oy	Anturi ja kytkimet	Hinta (alv.0)
Vaihtoehto 1	Monitex BT 42/800Nm + Rotex GS	1 800 €
Vaihtoehto 2	Dataflex 32/100 + Radex NC	3 500 €

TAULUKKO 1. Anturi ja kytkin tarjoukset



KUVA 7. Monitex BT momenttianturi ja sensori (10.)

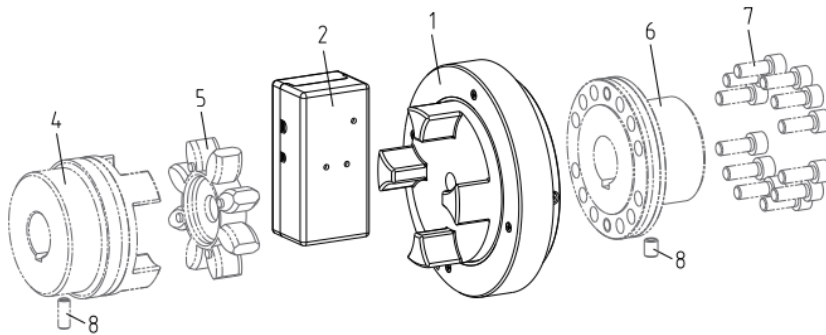
### 5.3 Akseliliitoksen valinta

Testipenkin akseliliitos vaihtoehtoja oli muutamia, sakarakytkin tai joustava kytkin, sillä pienet kulmavirheet ovat todennäköisiä kyseisessä kompleksissa. Joustavan akselikytkimen ominaisuudet sopivat kyseiseen käyttötarkoitukseen paremmin kuin jäykän akseliliitoksen. Joustavien akselikytkimien ominaisuus on kyky kompensoida akselien välisiä epäkohtaisuuksia, kuten kulma- tai akselin siirtymävirheitä. Akselin väliset epäkohtaisuuden vaikuttavat anturin toimintaan ja tuloksiin negatiivisesti. Sakarakytkin oli yksi varteenotettavimmista vaihtoehdoista, sillä sen ominaisuudet kuten kulmavirheiden sallittavuus ja yksinkertainen rakenne ja irrottaminen puolsivat sen valintaa.

Testipenkin sijoituspaikan ja käyttötarkoituksen huomioon ottaen testipenkkiin sopivimmaksi kytkimeksi osoittautui Rotex GS -sakarakytkin (kuva 8). Rotex GS -kytkimen valintaan vaikutti hinta ja se että testipenkissä käytettävän anturin sai siihen integroitua suoraan. Kyseinen akselikytkin tekee moottorin vaihdosta tai liikuttamisesta helpomman, sillä se on yksinkertainen irrotettava, kun se on integroituna anturiin (kuva 9).



KUVA 8. Rotex GS sakarakytkin (10.)



KUVA 9. Havainnollistava kuva Rotex GS -kytkimen asennuksesta Monitex BT anturiin (10.)

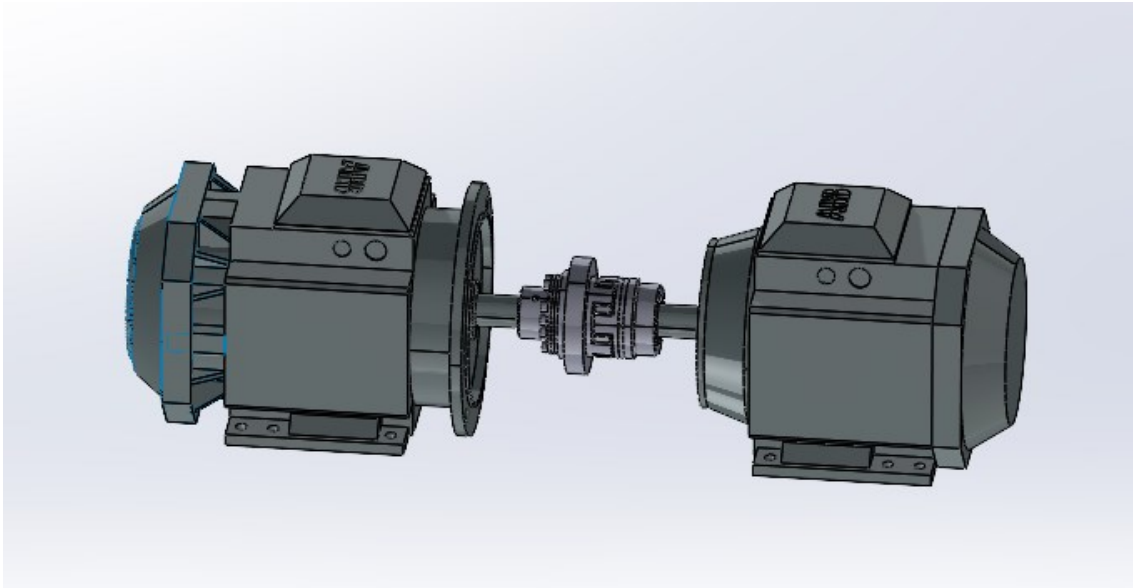
#### 5.4 Testipenkin materiaalin ja tarvikkeiden valinta

Testipenkille piti valita sopiva materiaali. Tähän käyttötarkoitukseen sopivimmaksi materiaaliksi valikoitui alumiini, sen sopivien ominaisuuksien vuoksi. Alumiini on kevyt, hopeanvärinen metalli, joka on yksi yleisimmin käytetyistä metallimateriaaleista maailmassa. Se on kolmanneksi yleisin alkuaine Maan kuorella, ja se tunnetaan monista hyödyllisistä ominaisuuksistaan, minkä vuoksi sitä käytetään laajasti monilla teollisuudenaloilla ja sovelluksissa. Alumiinin hyviin puoliin kuuluvat pieni ominaispaino, hyvä muokattavuus, korkea lujuus-painosuhte, hyvä johtavuus ja hyvä korroosionkestävyys. Huonoja puolia ovat korkeahko valmistuskustannus, heikko kulumiskestävyys ja lämpötilankesto moniin muihin metalleihin verrattuna. (11.)

Testipenkin runko kokoonpannaan työssä valmiita alumiiniprofiileja käyttäen. Alumiiniprofilit toimitavat Profican Oy, sillä heillä oli valikoimaan sopivimmat valmiit profiilit ja heillä oli saatavilla 3D mallit profiileista. Proficanilta valikoitui myös työhön muita tarvikkeita ja osia, joita käydään läpi työn mallinnus osiossa. Proficanilta hankittavista tuotteista saatiin tarjous, joka löytyy liitteestä 2.

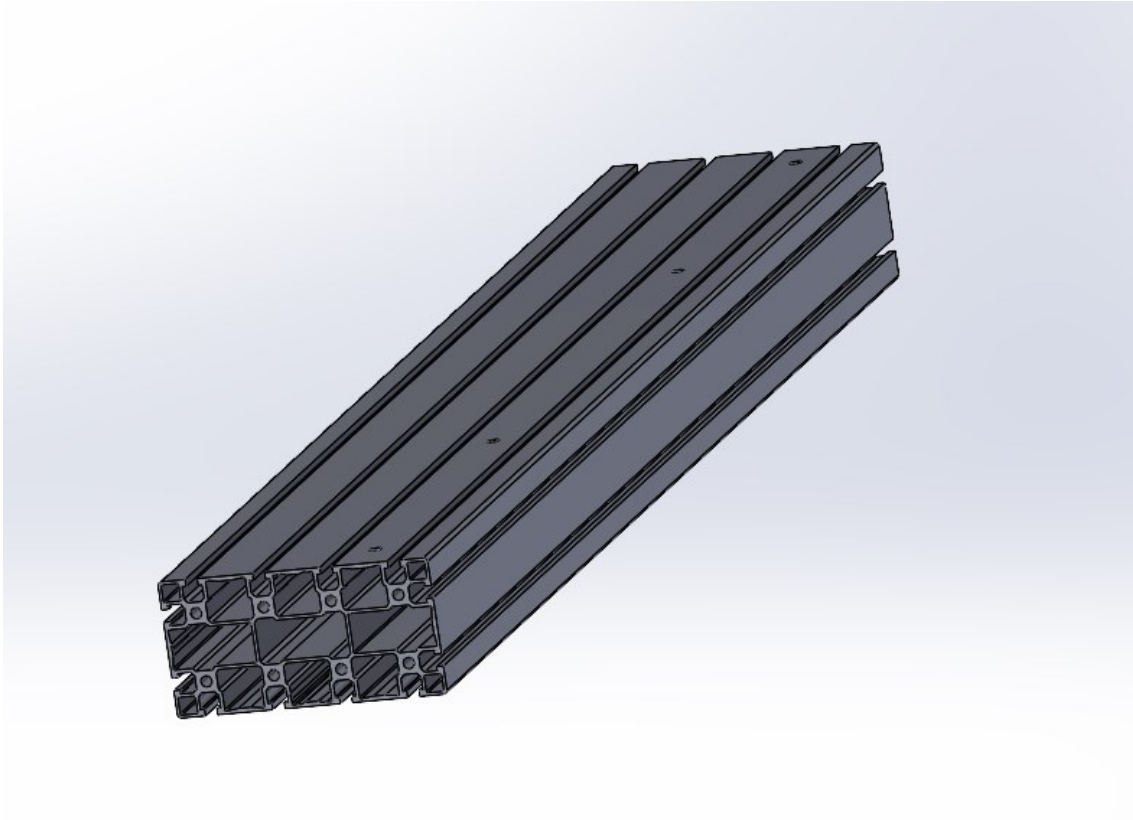
## 6 TESTIPENKIN MALLINNUS

Testipenkin suunnittelu ja mallinnus aloitettiin ensin hakemalla moottoreiden, anturin ja akseliliitoksen 3D kuvat. Kuvat löytyivät kyseisten valmistajien nettisivuilta. 3D kuvien löytämisen jälkeen osista luotiin kokoonpano SolidWorksilla (kuva 10).



KUVA 10. Testipenkki ilman moottoripetejä

Moottoripedin suunnittelussa piti ottaa huomioon testipenkin kokoon asetetut vaatimukset ja siltä pohjalta valittiin sopivat alumiiniprofiilit kyseiseen kokoonpanoon. Testipenkin pohjaksi valikoitui kaksi vierekkäin asennettavaa 180x90 mm alumiiniprofiilia (kuva 11) eli testipenkin leveydeksi saatiin näin ollen 360 mm. Alumiiniprofiilien pituudessa piti ottaa huomioon moottorin liikutettavuus, jotta toinen moottoreista saadaan irti kytkimistä. Tekijät huomioon ottaen sopivaksi pituudeksi osoitautui 1 150 mm. Halutessaan pituutta voisi lyhentää tai jatkaa tarpeen mukaan. Profiilien päihin asennetaan Proficanin muoviset 90x90 päätysuojat estämään terävien reunojen esille jäämisen.

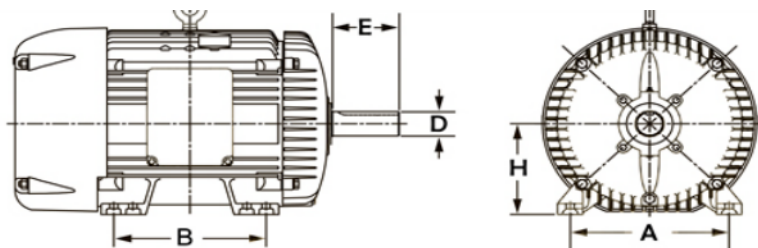


*KUVA 11. 180x90 Alumiiniprofiili, jossa reiät jalaksien kiinnitystä varten*

Alumiiniprofiilien valinnan jälkeen piti moottoreille suunnitella ja mallintaa pedit. Vaatimuksena oli, että moottoripedeissä piti olla maadoituksille sekä muutamalle eri runkokoolle reiät valmiina. Erikoisten runkokokojen paikat helpottavat moottorien vaihtamista tarvittaessa. Moottoripetien materiaaliksi oli jo aiemmin valittu alumiini.

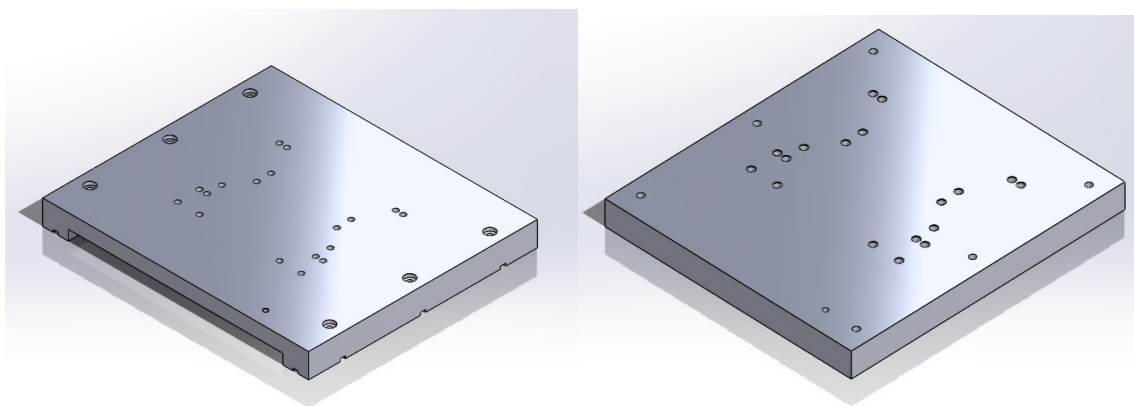
Oulun ammattikorkeakoululta löytyvien työhön käytettävien moottoreiden runkokoot olivat 132M. Moottoripeteihin mallinnettiin myös 112M ja 100S runkokoon moottoreille paikat. 100S ja 112M runkokoolle olevat moottorit ovat pienempiä kuin 132M, joten ne voitiin kyseiseen kokoonpanoon hyväksyä. Isommalla runkokoolle olevien moottoreiden kanssa olisi voinut tulla ongelmia testipenkin kestävyysajan kanssa. Runkokokojen mitat löytyvät taulukosta 2.

Myös kiinteälle moottorille tulevaan petiin piti mallintaa kiinnityspaikat alumiiniprofiileihin. Moottoreiden kiinnityskohtien reiät ovat suunniteltu 10 mm kierteelle. Kiinnitykseen voidaan käyttää joko M10 pultteja tai vastaavasti niihin voidaan integroida 10 mm kierretangot halutessa. Maadoitukselle mallinnettiin 8 mm kierteellä olevat reiät molempiin runkoihin.



Frame Size	A	B	H	D	E
63	100 mm	80 mm	63 mm	11 mm	23 mm
71	112 mm	90 mm	71 mm	14 mm	30 mm
80	125 mm	100 mm	80 mm	19 mm	40 mm
90S	140 mm	100 mm	90 mm	24 mm	50 mm
90L	140 mm	125 mm	90 mm	24 mm	50 mm
100S	160 mm	112 mm	100 mm	28 mm	60 mm
100L	160 mm	140 mm	100 mm	28 mm	60 mm
112S	190 mm	114 mm	112 mm	28 mm	60 mm
112M	190 mm	140 mm	112 mm	28 mm	60 mm
132S	216 mm	140 mm	132 mm	38 mm	80 mm
132M	216 mm	178 mm	132 mm	38 mm	80 mm
160M	254 mm	210 mm	160 mm	42 mm	110 mm
160L	254 mm	254 mm	160 mm	42 mm	110 mm
180M	279 mm	241 mm	180 mm	48 mm	110 mm
180L	279 mm	279 mm	180 mm	48 mm	110 mm
200L	318 mm	267 mm	200 mm	55 mm	110 mm
200M	318 mm	305 mm	200 mm	55 mm	110 mm
225S	356 mm	286 mm	225 mm	60 mm	140 mm
225M	356 mm	311 mm	225 mm	60 mm	140 mm
250S	406 mm	311 mm	250 mm	70 mm	140 mm
250M	406 mm	349 mm	250 mm	70 mm	140 mm
280S	457 mm	368 mm	280 mm	80 mm	170 mm
280M	457 mm	419 mm	280 mm	80 mm	170 mm
315S	508 mm	406 mm	315 mm	85 mm	170 mm
315M	508 mm	457 mm	315 mm	85 mm	170 mm
355S	610 mm	500 mm	355 mm	85 mm	170 mm
355L	610 mm	630 mm	355 mm	85 mm	170 mm

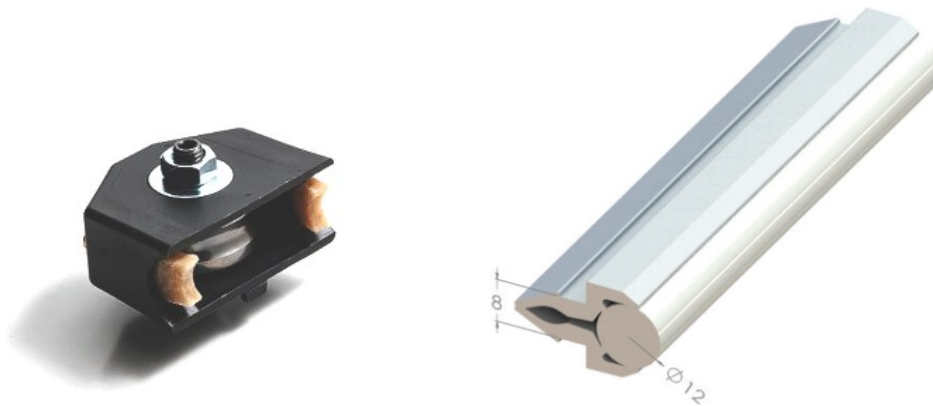
TAULUKKO 2. Sähkömoottoreiden runkokokojen mitat (12.)



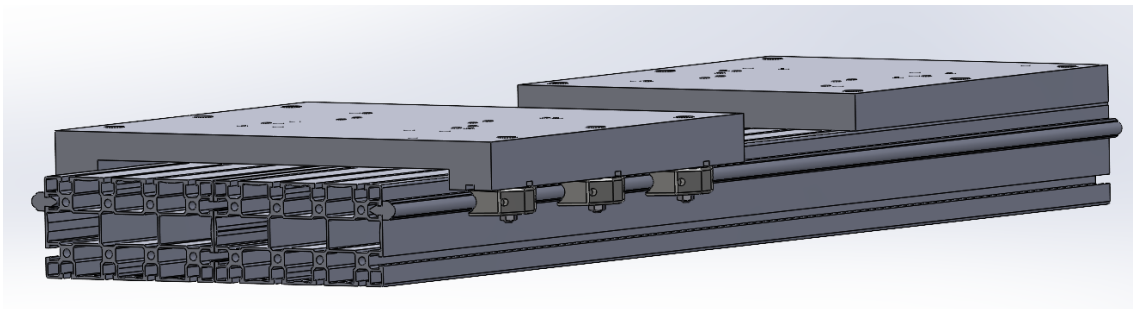
KUVA 13. Liikutettavan moottorin runko (vas.) ja kiinteän moottorin runko mallinnettuna (oik.)



Pienemmälle moottorille oli tavoitteena keksiä ratkaisu, että se olisi tarvittaessa helposti liikutettavissa. Moottorin helppo liikutettavuus suunniteltiin Proficanin pyöräkasettejen avulla (kuva 14), jotka todettiin sopiviksi kyseiseen tarkoitukseen. Pyöräkasetti siis asennetaan johdeprofiiliin (kuva 15), joka kiinnittyy liu'uttamalla se alumiiniprofiilin kyljessä olevaan uraan. Pyöräkasetit kiinnittyvät lopulta pulteilla moottoripetiin. Moottoripedin suunnittelussa piti ottaa huomioon kuinka paljon moottoripedistä on jätävä väliä alumiiniprofiiliin, jotta se mahtuu liikkumaan. Kokoonpano suunniteltiin siten että rakoa jää 8 mm.

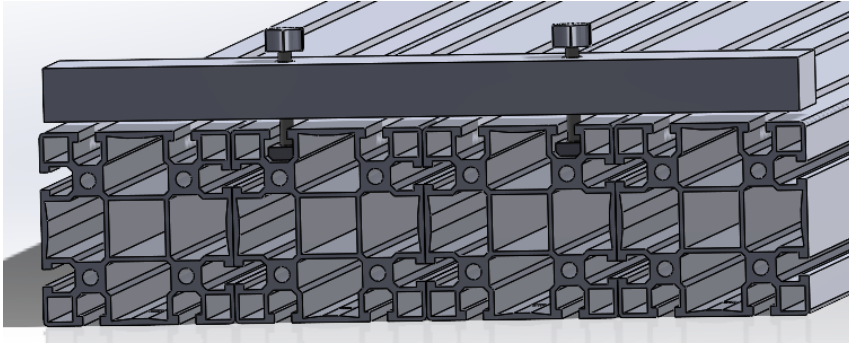


KUVA 14. Pyöräkasetti (vas.) ja Johdeprofiili (oik.) (12.)

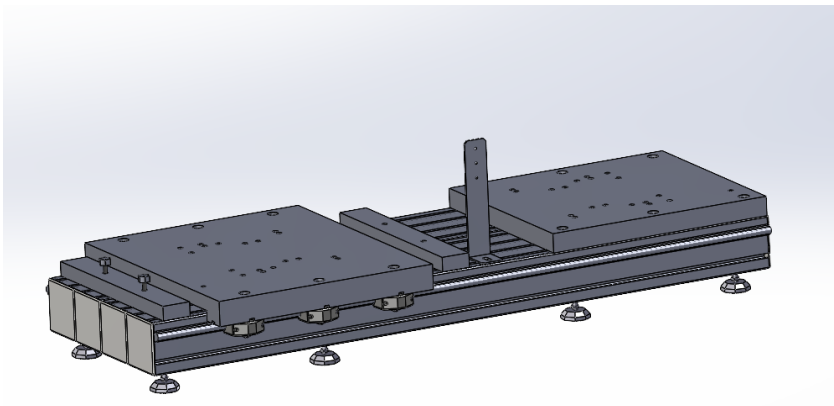


KUVA 15. Moottoripeti, jossa pyöräkasetit asennettuna johdeprofiileihin

Liikkuvalle moottorille piti keksiä myös lukitus. Lukitus piti toteuttaa helposti ja nopeasti käytettäväksi. Ratkaisuksi keksittiin yksinkertainen mekanismi (kuva 16). Lukitus siis koostu alumiini kappaleesta, käsiruuvista ja Proficanin 8 mm pitkämutterista, joka asennetaan alumiiniprofiilin uraan. Eli lukitus siis toimii käsin kiristämällä käsiruuveista, joka aiheuttaa sen, että alumiini kappale kiristyy profiilia vasten ja pysyy näin paikallaan. Moottorin etupuolelle tulee myös samalainen kappale, mutta siinä ei kiinteän asennuksen vuoksi tarvita käsiruuveja, vaan se asennetaan tavallisilla 8 mm pulteilla.



KUVA 16. Liikutettavan moottorin lukitus



KUVA 17. Testipenkki ilman moottoreita, kytkimiä ja anturia

Testipenkkiin haluttiin myös jalakset, joten niille suunniteltiin profiileihin myös asennuspaikat. Testipenkin jalaksiksi valikoitui Proficanin M8 Säätojalat (kuva 18). Säätojalkojen maksimikuormitus on 3000N, joten ne riittävät hyvin kyseiseen kokoonpanoon. Jalkoja tulee molemmille laidoille 4 kappaletta, jotta testipenkki pysyisi tarpeeksi vakaana ja paino saataisiin jaettua tasaisesti. Jalkojen korkeutta pystyy säätämään tarpeen mukaan.



KUVA 18. M8 Säätojalka (12.)

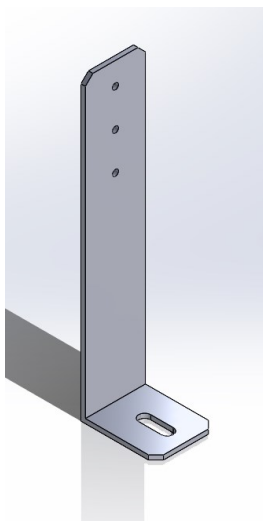


Anturin sensorille (kuva 19) piti myös saada kiinnitys suunniteltua. Anturin sensorin kiinnikkeestä piti suunnitella helposti liikutettava, jotta se saadaan oikealle kohtaa. Anturin virransaanti toimii induktiivisesti, joten sensorin paikka pitää olla täsmälleen vaadittujen etäisyyksien päässä, muuten anturi ei saa virtaa. Suurin sallittu etäisyys anturista on 10 mm ja aksiaalinen heitto keskikohdasta 2,5 mm. Sensori asennetaan pystyasentoon ja sen takapuolella on kiinnitys kohdat M4 kierteellä oleville ruuveille valmiina.



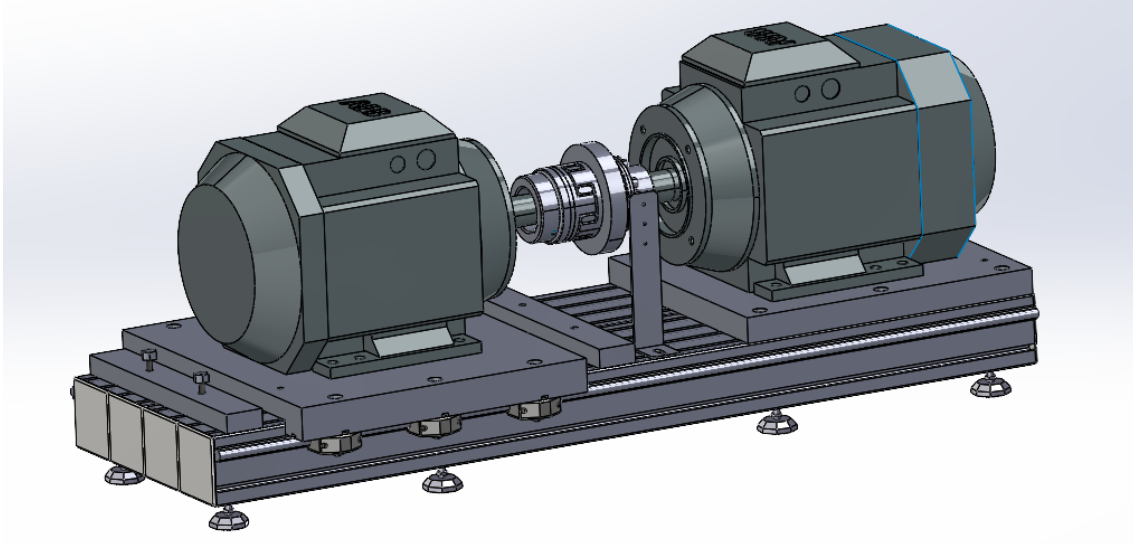
KUVA 19. Monitex BT sensori (10.)

Kuvassa 20 on teline mallinnettuna SolidWorksilla. Teline koostuu kahdesta hitsaamalla liitettävästä 3 mm vahvuisesti raudasta. Yläosassa on kiinnityspisteet sensorille ja alaosassa 8 mm ura testipenkkiin kiinnitystä varten. Teline voidaan valmistaa myös särmäämällä se yhtenäisestä kapaleesta.



KUVA 20. Anturin sensorin teline

Sensorin telineen mallinnuksen jälkeen oli kaikki tarvittavat osat saatu mallinnettua. Tämän jälkeen kaikista osista luotiin SolidWorksilla kokoonpano. (kuva 21). Mallinnusten jälkeen valmistettavista kappaleista piti vielä tehdä mittakuvat. Mittakuvat löytyvät liitteistä.



KUVA 21. Testipenkin kokoonpano

## 7 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin tuulivoimalatestipenkki opetuskäyttöön Oulun ammattikorkeakoulun tiloihin. Työ aloitettiin perehtymällä sähkömoottoreihin, antureihin ja akselikytkimiin. Lopputuloksena työhön saatiin valittua sopiva anturi, akselikytkimet ja koko testipenkki saatiin suunniteltua ja 3D mallinnettua.

Projektissa haasteita ovat tuottaneet testipenkin moottoripetien mallinnus ja sen vaatimusten aiheuttamat haasteet. Yhtenä haasteena oli aluksi SolidWorksin uudelleen opettelu. Onneksi opetusvideoita oli helposti saatavilla. Suurimpana haasteena kuitenkin on ollut moottoripetien suunnittelu helposti liikutettaviksi ja irrotettaviksi. Haasteet johtuivat siitä, että testipenkkiä piti lähteä mallintamaan tyhjästä.

Testipenkkiä voidaan myös jatkokehittää tarpeen vaatiessa. Yhtenä vaihtoehtona olisi toteuttaa toisen moottorin liikutettavuus ja lukitus trapetsikierretangolla. Hyötynä olisi, että moottorin lukitus ja liikuttaminen voitaisiin toteuttaa yhdellä mekanismilla. Tällä tavalla moottorin liikutettavuus ja lukitus olisi vielä nopeampaa ja helpompaa. Yhtenä kehityksen kohteena olisi myös jonkinlainen suoja. Suojan suunnittelu on kuitenkin helpompi toteuttaa, kun testipenkki on kokoonpantuna. Tällä estettäisiin mahdollisia henkilövahinkoja pyörivien osien kuten akselien kanssa.

## LÄHTEET

1. Wikipedia 2023. Electric motor. Hakupäivä 5.10 2023.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_motor](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_motor)
2. saVRee 3D Interactive Media 2023. Induction Electric Motor (Squirrel Cage).  
Hakupäivä 8.10 2023. <https://savree.com/en/encyclopedia/induction-electric-motor-squirrel-cage>.
3. Wikipedia 2023. Squirrel-cage rotor. Hakupäivä 15.12 2023.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Squirrel-cage\\_rotor](https://en.wikipedia.org/wiki/Squirrel-cage_rotor)
4. Electricala2z 2023. Types of Electric Motors and their Applications. Hakupäivä 8.10 2023  
<https://electricala2z.com/motors-control/types-electric-motors-applications/>
5. FUTEK Advanced Sensor Technology 2023. What is a force transducer? Hakupäivä 5.10 2023.  
<https://www.futek.com/what-is-a-force-transducer>
6. Electronics Tutorials 2023. Hall Effect Sensor. Hakupäivä 16.12 2023  
<https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>
7. Minda, M 2023. How to Select a Rotating Torque Sensor. Hottinger Brüel & Kjær.  
Hakupäivä 15.10 2023. <https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/selecting-a-rotating-torque-sensor>
8. IQS Directory 2023. Shaft Couplings. Hakupäivä 5.10 2023.  
<https://www.iqsdirectory.com/articles/shaft-couplings.html>.
9. Hottinger Brüel & Kjær 2023. Choosing the Right Torque Transducer: Shaft or Flange?  
Hakupäivä 5.10 2023. <https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/choosing-the-right-torque-transducer-shaft-or-flange>.
10. KTR Finland Oy. Hakupäivä 5.10 2023 <https://www.ktr.com/fi/>

11. Gaikwad, S 2023. 5 Advantages and Disadvantages of Aluminum. The Piping Mart.  
Hakupäivä 20.10 2023 <https://blog.thepipingmart.com/metals/advantages-and-disadvantages-of-aluminum/>
12. Profican Oy. Hakupäivä 18.10 2023. <https://profican.fi/fi/>
13. James Electric Motor Services Ltd 2023. IEC Quick Reference Chart. Hakupäivä 14.12 2023  
<https://jameselectric.ca/help/iec-quick-reference-chart/>

## LIITTEET

## LIITE 1

Liitteet on toimitettu toimeksiantajalle.