

Ville Kurkela

MOOTTORIKELKAN KYTKIMEN MODERNISOINTI

MOOTTORIKELKAN KYTKIMEN MODERNISOINTI

Ville Kurkela
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, auto- ja kuljetustekniikka

Tekijä: Ville Kurkela
Opinnäytetyön nimi: Moottorikelkan kytkimen modernisointi
Työn ohjaaja: Mauri Haataja
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016 Sivumäärä: 47 + 3 liitettä

Työn lähtökohtana oli muokata moottorikelkan variaattorijärjestelmän mekaanisesta säätöjärjestelmästä sähköisesti ohjattava. Aktiivisesti säädettävällä variaattorijärjestelmällä haluttiin parantaa moottorikelkan ajo-ominaisuuksia ja pienentää moottorikelkan synnyttämiä päästöjä.

Tavoitteena oli kehittää valmiit 3D-mallit prototyypin valmistukseen ja lisäksi varmentaa järjestelmän toiminta laskennallisesti ja simuloimalla. Mekaanisen suunnittelun lisäksi haluttiin suunnitella sähköisen ohjauksen logiikka ja valita tarvittava anturointi. Valmista prototyyppiä varten suunniteltiin lisäksi prototyypin testaussuunnitelma.

Työn tuloksena syntyi valmis mekaniikkasuunnitelma hyödyntäen Solidworks-ohjelmistoa. Lisäksi ohjauksen looginen toiminta suunniteltiin kaasun asennon ja moottorinpyörintänopeuden funktiona. Järjestelmässä hyödynnettiin moottorikelkan omaa kaasunasentoanturia ja ketjukoteloon lisättiin hall-anturi mittamaan telan pyörintänopeutta. Työn aikana kehitettiin lisäksi useita lisäoptioita, jotka sähköinen voimansiirto mahdollistaa, esimerkiksi taajama-asetus, jolla moottorikelkasta syntyvät meluhaitat voidaan minimoida.

Asiasanat: lineaarimoottori, variaattori, suunnittelu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 MOOTTORIKELKAN VOIMANSIIRTO JA KOMPONENTIT	7
2.1 Variaattorijärjestelmä	7
2.2 Ketjukotelo	10
2.3 Vetopyörästä ja telamatto	11
3 VARIAATTORIN TOIMINTA	13
3.1 Ensiovariaattorin säädöt ja niiden vaikutukset	14
3.2 Toisiovariaattorin säädöt ja niiden vaikutukset	14
4 MODERNISOIDUN VARIAATTORIN TOIMINTA	16
4.1 Ensiovariaattorin muutokset	16
4.2 Toisiovariaattori	16
4.3 Kytkennopeuden säätö	17
4.4 Ensiovariaattorin säädöt	17
4.5 Työkäyttö	18
4.6 Taajama käyttö	18
4.7 Älykäs rajoitin	18
4.8 Järjestelmän mekaaniset edut	18
5 JÄRJESTELMÄN TOIMINTORAKENTEEN MÄÄRITYS	19
5.1 Järjestelmältä halutut toiminnot	19
5.2 Tarvittava voima ensiovariaattorinlautasen liikuttamiseen	19
5.3 Tarvittava vaihtonopeus	21
6 LINEAARILIIKKEESSÄ KÄYTETYN LAITTEISTON VALINTA	23
7 OHJAUSJÄRJESTELMÄ	26
7.1 Potentiometri	26
7.2 Hall-pyörimisnopeustunnistin	27
8 VARIAATTORIN UUSKONSTRUKTION SUUNNITELU	28
8.1 Komponentit	28
8.2 Runko	29

8.3 Lineaarimoottori	30
8.4 Kytkinlautanen	31
8.5 Laakeripesä	33
8.6 Toisiovaraattori	34
8.7 Laakeri	35
9 PROTOTYYPIN TESTAUSSUUNNITELMA	37
9.1 Lineaarimoottori	38
9.2 Vetohihnan ja variaattorin toiminta	38
9.3 Ajokokeet	39
9.3.1 Lautasten liikenopeus	39
9.3.2 Lineaarimoottorin työntövoima	39
9.3.3 Toisiovaraattorin jousen jännitys	40
9.3.4 Laakerin keston testaus	40
10 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42
LIITTEET	
Liite 1 560 Thrust Linear Actuator	
Liite 2 Työpiirustus 1	
Liite 3 Työpiirustus 2	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunnitellaan moottorikelkan variaattorijärjestelmä, joka on sähköisesti ohjattava. Työhön sisältyy järjestelmän mekaniikkasuunnittelu, ja lisäksi perehdytään myös ohjauksen logiikkaan ja anturointiin.

Nykyaikaisessa moottorikelkan voimansiirrossa käytetään kiilahihnavariaattoria, jonka säätöihin voidaan vaikuttaa ainoastaan vaihtamalla mekaanisia osia.

Tämä rajoittaa moottorikelkkojen voimansiirtojärjestelmän suunnittelussa vaihteiden optimointia, jolloin usein päädytään variaattorin esisäädöissä kompromissiin kevyen ajon ja raskaissa olosuhteissa tapahtuvan ajon välillä, esimerkiksi poljetulla kelkkareitillä ja umpilumiajon olosuhteiden välillä. Variaattorin ohjauksen muuttaminen sähköiseksi mahdollistaisi voimansiirron toiminnan ihanteellisesti erilaisissa kuormitustilanteissa, mikä vaikuttaisi kelkan käyttömukavuuteen. Optimoimalla moottorin käyttö kierrokset saataisiin lisäksi parannettua moottorikelkan hyötysuhdetta.

Sähköinen ohjaus toteutetaan muuttamalla kytkimen keskipakotoiminen ulkolautanen hydraulisesti tai sähköisesti toimivaksi. Haasteita tuovat järjestelmän paino, joka vaikuttaa paljon kelkan ajomukavuuteen, ja käytössä olevan tilan rajallisuus.

2 MOOTTORIKELKAN VOIMANSIIRTO JA KOMPONENTIT

Moottorikelkan voimansiirtoon kuuluu useita komponentteja. Moottorikelkan keskipakokytkin eli ensiovariaattori on kytketty moottorin kampiakseliin, josta vääntömomentti siirtyy vetohihnaa pitkin toisiovariaattorille. Koko voimansiirron välityssuhdetta muutetaan portaattomasti ensio- ja toisiovariaattorin välityssuhdetta muuttamalla. Toisiovariaattorilta vääntömomentti siirtyy ylempää vetoakselia pitkin moottorikelkan toiselle puolelle ylempään hammaspyörään. Hammaspyörää pitkin vääntömomentti välittyy hammasketjulta alempaan hammaspyörään. Ketjukotelon alempihammaspyörä on kytketty alempaan vetoakseliin. Vetoakselin kanssa samaan akseliin on kytketty myös vetopyörästä. Vääntömomentti välittyy vetopyörästä pitkin telamatolle. (1, s. 62.)

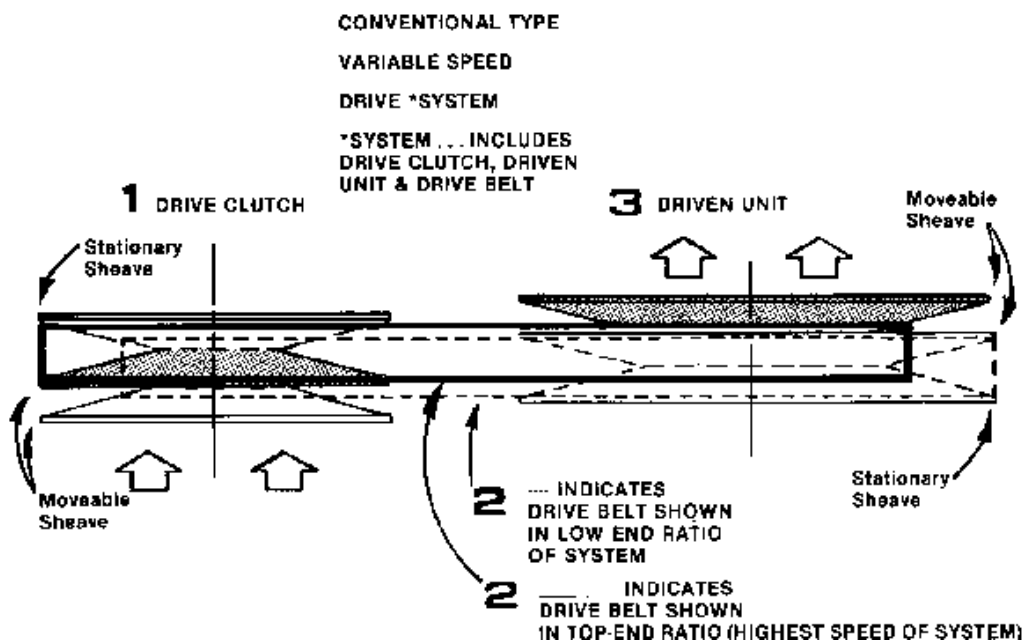
2.1 Variaattorijärjestelmä

Variaattori (kuva 1) toimii moottorikelkan vaihteistona ja muuttaa voimansiirron välityssuhdetta portaattomasti moottorin kierrosnopeuden ja ajoalustan tuottaman ajovastuksen mukaan. Variaattorijärjestelmä koostuu kytkimestä eli ensiovariaattorista ja toisiovariaattorista. (1, s. 62.)



KUVA 1. Vasemmalla ensiovaraattori eli kytkin ja oikealla toisiovariaattori (2)

Ensiovariaattori on toiminnaltaan keskipakoiskytkin. Kytkimen pääkomponentteja ovat kytkinlautaset, kytkinjousi ja kytkinpainot. Moottorikelkan käydessä tyhjäkäyntinopeudella kytkinlautaset ovat erillään toisistaan ja kytkinjousi painaa kytkinlautasia erilleen. Moottorinkierrosten noustessa kytkinpainojen synnyttämä keskipakoisvoima kasvaa kytkinjousen jousivoimaa suuremmaksi. Moottorista kauempana oleva kytkinlautanen liikkuu lähemmäs kiinteästi paikallaan olevaa kytkinlautasta (kuva 2). (2, linkki What is a CVT?)



KUVA 2. Nuolet kuvaava liikkuvien lautasten liikesuuntaa ylösvaihdon aikana (2, linkki How does it work?)

Moottorinkierrosten noustessa tarpeeksi korkeiksi on kytkinlautasten väli kaventunut niin paljon että vetohihna kiristyy. Vetohihnan kiristyttyä tarpeeksi hihna alkaa pyöriä ja siirtämään vääntövoimaa toisiovariaattorille. Tätä pistettä kutsutaan kytkimen kytkeytymisnopeudeksi. Kytöntänopeus on esisäädetty kytkimen asetus jota voidaan muuttaa vaihtamalla kytkinjousen jousivakiota tai kytkimenpainojen massaa. (2, How does it work?)

Toisiovariaattorin rakenne on samankaltainen kuin itse ensiovariaattorin. Toisiovariaattorin komponentteja ovat jousi, helix ja variaattorinlautaset. Variaattorinlautasista ulompi kytkinlautanen on kiinteä ja moottoria lähempänä oleva

lautanen liikkuva. Toisiovariaattorin tärkein tehtävä on mukailla ensiovariaattorin liikkeitä. Moottorikelkan käydessä tyhjäkäynnillä variaattorinlautaset ovat lähellä toisiaan. Moottorikelkan kierrosten noustessa kytkinlautasten välimatka pienee ja pakottaa vetohihnan ulommalle radalle kytkinlautasilla. (1, s. 62.)

Vetohihnan kiristyessä aksiaalivoima toisiovariaattorin josta vasten kasvaa jousivoimaa suuremmaksi. Variaattorinlautasten välimatka kasvaa ja vetohihna laskeutuu sisemmälle radalle variaattorinlautasilla. Hihnan liikkuessa alempana variaattorinlautasilla muuttuu kokonaisvälityssuhde pienemmäksi. (2, linkki [How does it work?](#))

Toisiovariaattori helixin tehtävänä on muuttaa variaattorin välityssuhdetta myös ilman ensiovariaattorin kierrosnopeuden muuttumista. Helix on toisiovariaattorin mekaaninen anturi, joka aistii vääntömomentin muutokset variaattorinlautasten ja vetoakselin välillä. Toisiovariaattori pyrkii pitämään moottorinkierrosnopeuden muuttumattomana ajoalustan muutoksista huolimatta. Ajoalustan synnyttämä vääntömomentti kohdistuu helixin ramppia pitkin toisiovariaattorin jouseen. Vääntömomentista syntyvän jousen suuntaan kohdistuvan voiman kasvaessa suuremmaksi kuin jousivoima liikkuu variaattorinlautanen kauemmas toisesta variaattorilautasesta ja pienentää välityssuhdetta. (2.)

Variaattorijärjestelmällä saatava pienin välityssuhde on noin 1:3, jolloin esimerkiksi ensiovariaattorin pyöriessä 6 000 rpm pyörii toisiovariaattori 2 000 rpm. Suurin mahdollinen variaattorijärjestelmällä saavutettava välityssuhde on noin 1:1,1, jolloin ensiovariaattorin pyöriessä 6 000 rpm pyörii toisiovariaattori 6 600 rpm:n nopeudella. Kiilahihnavariaattorilla hyötysuhde voi olla parhaimmillaan 0.92, ja kiilahihnavariaattori voi välittää tehon 100 kW:iin asti. (4, s. 482.)

Moottorikelkoissa yleisesti käytetty vetohihna (kuva 3) on tyypiltään jäähdytetty kiilahihna. Variaattorin toiminnalla on suuri vaikutus vetohihnan kestoikään. Nykyaikaisessa vetohihnassa käytetään monia erilaisia materiaaleja hihnan keston lisäämiseksi, esimerkiksi kevlaria. Toimivassa variaattori järjestelmässä vetohihna ei pääse luistamaan. Luistoa voi kuitenkin tapahtua hihnan kulumisen

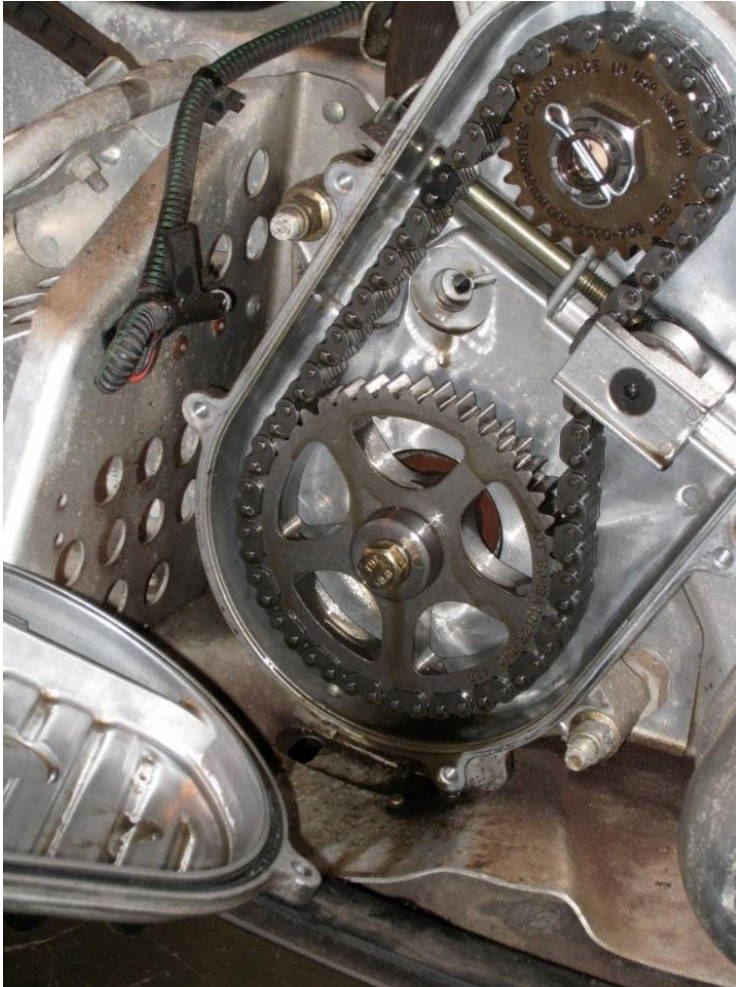
jälkeen, jolloin kytkimen kytkentänopeus on kasvanut hihnan kavennuttua. (5, s. 234.)



KUVA 3. Moottorikelkoissa yleisesti käytettävän vetohihnan poikkileikkauskuva (6)

2.2 Ketjukotelo

Ketjukotelossa (kuva 4) moottorikelkan välityssuhdetta pienennetään yksinkertaisella hammaspyörävoimansiirrolla. Hammaspyörästö koostuu kahdesta hammaspyörästä, ketjusta ja lisäksi ketjunkiristimestä. Hammaspyörästöllä välityssuhdetta pienennetään yleisesti noin 2:1. Ketjukotelo on suljettu ja voitelu on toteutettu loiskevoiteluna. (1, s. 62.)



KUVA 4. Ketjukotelonkansi avattuna: ylempänä ensiopyörä, joka on kiinnitetty samalle akselille toisiovaraattorin kanssa ja alempana toisiopyörä, joka on kiinnitetty vetopyörästä samalle akselille (7)

2.3 Vetopyörästä ja telamatto

Vetopyörästä (kuva 5) koostuu muovisista voimansiirtoelimistä, jotka siirtävät vääntömomentin ketjukotelon alemman hammaspyörän akselilta telamatolle. Vetopyörät voivat siirtää vääntömomentin telamatolle joko maton rei'istä läpi vetävänä tai matossa olevia hampaita pitkin. Vetopyörien koko vaikuttaa myös voimansiirron lopulliseen välityssuhteeseen. (1, s. 62.)



KUVA 5. Vetopyörästö (8)

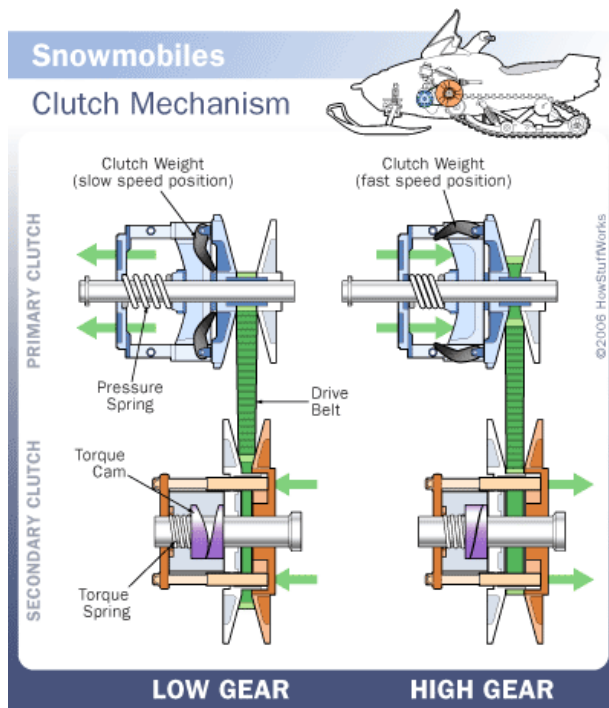
Telamatto (kuva 6) on moottorikelkan voimansiirron viimeinen osa, joka siirtää moottorin tuottaman voiman ajoalustaan. Telamaton harjankorkeus vaikuttaa voimansiirron välityssuhteeseen, ja lisäksi telamaton pituus ja harjankorkeus vaikuttavat toisiovariaattorille syntyvän vastuksen määrään. (1, s. 63.)



KUVA 6. Moottorikelkan telamatto (9)

3 VARIAATTORIN TOIMINTA

Variaattorin toiminta on yksinkertaistettuna kuvassa 7. Moottorin kierrosnopeuden noustessa pyrkii ensiovariaattorin ulompi lautanen liikkumaan lähemmäs sisempää kiinteää lautasta. Toisiovariaattorin sisempi lautanen liikkuu kauemmas kiinteästä lautasesta. Välitys muuttuu ja moottorikelkan nopeus kasvaa. Moottorin kierrosten pienentyessä lautasten liike on päinvastainen. (8.)



KUVA 7. Ensiovariaattori on kuvattuna sinisenä, ja toisiovariaattori oranssina (10)

Variaattorin viiveetön ja tehokas toiminta suunnitellaan moottorikelkan käyttötarkoituksen, ja moottorinvääntökäyrän mukaan muuttamalla variaattorin toimintaan vaikuttavia komponentteja. Ensiovariaattorin säätöjen muuttaminen vaikuttaa myös toisiovariaattorin toimintaan, ja lisäksi toisiovariaattorin muutokset vaikuttavat kytkimen toimintaan, mikä täytyy huomioida säädettäessä variaattorijärjestelmää. (11.)

3.1 Ensiovariaattorin säädöt ja niiden vaikutukset

Ensiovariaattorin toimintaan voidaan vaikuttaa vaihtamalla painoja, joustaa tai ramppeja. Ensiovariaattorin painoilla vaikutetaan keskipakovoiman määrään, mikä vaikuttaa kytkentänopeuteen. Vähentämällä kytkinpainojen massaa saadaan moottorinkierrosnopeus nousemaan korkeammalle ja raskaammilla painoilla moottorinkierrokset vastaavasti laskevat. (1, s. 63.)

Kytkinjousella vaikutetaan variaattorin alaspäiväyttymiseen, eli vaiheeseen, jossa kytkinlautasten välimatka kasvaa ja välityssuhde pienenee, jolloin moottorikelkan nopeus laskee. Jousen jäykkyyttä lisäämällä alaspäiväyttyminen nopeutuu. Vähentämällä jousen jäykkyyttä alaspäiväyttyminen hidastuu. (1, s. 63.)

Rampin muodolla muutetaan jousikuorman vaikutusta aksiaalisuunnassa. Rampin avulla jousivoiman vaikutus saadaan muutettua progressiiviseksi tai degressiiviseksi, minkä avulla kytkimen toimintaa voidaan muuttaa esimerkiksi moottorin vääntökäyrän mukaan. (1, s. 63.)

Progressiivista toimintaa kytkimen ylöspäiväyttymiseen voidaan lisätä kytkinpainojen profiilia muuttamalla, tämä mahdollistaa aksiaalisuuntaan vaikuttavan keskipakovoiman muuttumisen progressiiviseksi. Kytkimen säätäminen on monimutkaista, koska jokainen vaihdettava komponentti vaikuttaa muiden komponenttien toimintaan. (1, s. 63.)

3.2 Toisiovariaattorin säädöt ja niiden vaikutukset

Toisiovariaattorin toimintaan voidaan vaikuttaa vaihtamalla helixiä tai joustaa. Helixin tehtävä on muuttaa variaattorin välityssuhdetta telalta tulevan kuormituksen mukaan. Raskaalla ajoalustalla voimansiirron välityssuhdetta lasketaan, jolloin moottorin kierrosnopeus ei laske moottorin käyttöalueelta. Kevyellä ajoalustalla voidaan käyttää suurempaa välityssuhdetta, joka parantaa polttomoottorin hyötysuhdetta. Helixin kulmalla vaikutetaan lisäksi hihnan puristusvoimaan variaattorinlautasten välillä. Hihnan puristusvoimalla tarkoitetaan voimaa jonka variaattorinlautaset kohdistavat hihnaa vasten. Hihnan puristusvoima ei saa kasvaa

liian suureksi, koska se tuottaa lämpöä mikä vetohihnan käyttöikä lyhenee huomattavasti. Hihnan puristusvoiman ollessa liian pieni hihnan ja variaattorilautasten välinen kitka pienenee ja vetohihna alkaa luistamaan. (11.)

Helixin kulman muutokset vaikuttavat myös variaattorin välityssuhteen muutosnopeuteen. Jyrkemmällä helixin kulmalla vaihto tapahtuma ylöspäin nopeutuu ja alaspäin vastaavasti hidastuu. Muutettaessa helixin kulmaa loivemmaksi vaikutus on käänteinen. Helixin kulman profiili voi myös olla kaksiosainen tai progressiivinen jolloin vaihtojen nopeutta voidaan muuttaa eri kierrosalueiden mukaan optimaaliseksi. (1, s. 64.)

Toisiovariaattorin jousella vaikutetaan vetohihnalle syntyvään puristusvoimaan ja lisäksi alaspäin eli lautasten lähenemisen nopeuteen. Jousivakiota kasvattamalla alaspäin vaihto muuttuu nopeammaksi, ja vastaavasti pienentämällä jousen jousivakiota alaspäin vaihto hidastuu. Toisiovariaattorin säädöt vaikuttavat suoraan kytkimen säätöihin jolloin variaattorin säätöjä tehdessä täytyy huomioida kaikki järjestelmään kuuluvat säätökomponentit. (2.)

4 MODERNISOIDUN VARIAATTORIN TOIMINTA

Modernisoidun variaattorin ideana on kehittää jo vuosikymmeniä samanlaisena pysynyttä variaattorijärjestelmää. Idea syntyi moottorikelkkailuun liittyvää voimalinjan säätötyötä seuranneena. Perinteisen variaattorin säätötyössä ongelmana on eri säätökomponenttien vaikutus toisiinsa, mikä muodostaa variaattorin säädössä ongelmia. Tämä rajoittaa moottorikelkkojen voimansiirtojärjestelmän suunnittelussa vaihteiden optimointia, jolloin usein päädytään valinnoissa kompromissiin kevyen ajon ja raskaissa olosuhteissa tapahtuvan ajon välillä, esimerkiksi poljetulla kelkkaväylällä ja umpilumiajon olosuhteissa. Järjestelmän säätöjen muuttaminen aktiiviseksi ja ajotilanteen mukaan muuttuvaksi parantaa järjestelmän toimintaa verrattuna perinteiseen järjestelmään.

4.1 Ensiovariaattorin muutokset

Ensiovariaattorista säilytettiin ennallaan ainoastaan kiinteä kytkinlautanen. Liikkuva kytkinlautanen, jousi ja koko keskipakotoiminen mekanismi poistettiin. Tilalle suunniteltiin kytkinlautanen, johon on kiinnitetty lautasta lineaarimoottorilla liikuttava laakeripesä. Toimenpiteellä saadaan poistettua voimansiirron liikkuvia massoja noin kilon verran, mikä lisää moottorin kierrosherkkyttä ja parantaa ajo-ominaisuuksia. Kytkinlautasta liikuttava lineaarimoottori kiinnitetään erillisellä rungolla suoraan moottorin lohkon. Lineaarimoottorin ja liikkuvan kytkinlautasen välille asennetaan laakeri, joka mahdollistaa pyörivän kytkinlautasen liikuttamisen lineaarimoottorilla.

4.2 Toisiovariaattori

Toisiovariaattoria muokataan siten, että helix eli ramppi poistetaan ja variaattorin lautaset pidetään yhdessä jousen avulla. Toisiovariaattorista saadaan tehtyä yksinkertaisempi ja sitä kautta myös kevyempi. Toisiovariaattorin paino on kokonaisuudessaan voimansiirron pyöriviä massoja, joten kierrosherkkyttä saadaan lisättyä.

Toisiovariaattorista helixin poistaminen tekee järjestelmästä täysin tunnettoman ajoalustasta syntyvälle vääntömomentille. Alasvaihtoa ei tapahdu variaattorin toimesta. Toisiovariaattori toimii ainoastaan ensiovariaattorin liikkeitä mukailleen. Uudessa järjestelmässä variaattorin alasvaihto suoritetaan anturoinnilla. Moottorinkierrosten laskiessa ilman kaasunasennon muuttumista alasvaihto suoritetaan liikuttamalla ensiovariaattoria. Moottorin kierrosnopeus voidaan mitata itse moottorista tai lisäämällä hall-anturi ja anturikehä ketjukoteloon.

4.3 Kyt Kentän nopeuden säätö

Moottorikelkkojen kyt Kentän nopeus voidaan säätää kaasun asennon funktiona. Kyt Kentän nopeus on suoraan verrannollinen kaasunavauksen määrään. Perinteisessä järjestelmässä kytkimen kyt Kentän nopeuteen vaikuttavana tekijänä on ollut ainoastaan moottorinkierrosnopeus. Etuna kyt Kentän nopeuden säätöön on aiempaa pehmeämpi liikkeelle lähtö. Kyt Kentän nopeuden säätö kaasun asennon mukaan tuo etuja etenkin ajettaessa syvässä lumessa, jolloin voidaan kyt Kentä kierroksia laskemalla helpottaa liikkeelle lähtöä eikä kelkan telamatto kaivaudu liian syväälle lumeen. Kyt Kentän nopeuden säätömahdollisuus myös helpottaa moottorikelkan lastaamista peräkärriin, koska kelkan liikkeet ovat rauhallisia ja helposti hallittavia.

4.4 Ensiovariaattorin säädöt

Ensiovariaattorin toimintaan vaikuttavia ohjauksettoja voidaan tehdä erilaisia ajoympäristöjä varten. Moottorikelkkaan voidaan lisätä erillinen katkaisin jolla voidaan valita esimerkiksi umpilumiajoon optimoitujen säätöjen ja kovapohjaisen reittiajoon optimoitujen säätöjen välillä. Variaattorinsäädöt voidaan tehdä ohjelmallisesti, eikä mekaanisia osia tarvitse vaihtaa säätöjen muuttamiseksi.

4.5 Työkäyttö

Variaattorin välityssuhteen pienentämisellä voidaan parantaa suurten kuormien vetokykyä ja poistaa työkelkoissa normaalisti käytetyt alennusvaihteistot. Toimenpide pienentää huomattavasti työkelkkojen painoa sekä valmistuskustannukset vähenevät.

4.6 Taajama käyttö

Sähköisesti ohjattava variaattorijärjestelmä mahdollistaa niin sanotun taajama ominaisuuden luomisen. Moottorikelkkaa voidaan ajaa nykyistä pienemmillä kierroksilla, jolloin asutuksen lähellä ajaessa moottorikelkasta syntyvä meluhäiriö saadaan pienemmäksi kuin aikaisemmin.

4.7 Älykäs rajoitin

Älykäs rajoitin mahdollistaa moottorikelkkailun kokemattomammalle tai nuoremmalle kuljettajalle. Rajoittamalla voimansiirron toimintaa yhdessä moottorin vääntökäyrää rajoittamalla, tehokkaastakin moottorikelkasta saadaan kokemattomalle helppo ja turvallinen väline harrastuksen aloittamiseen. Rajoittamalla kelkan lähtökierroksia voidaan tehdä moottorikelkasta rauhallinen ajettava kokemattomalle tai nuorelle käyttäjälle, tämä mahdollistaisi saman moottorikelkan käyttämisen turvallisesti esimerkiksi kaikilla perheenjäsenillä tai moottorikelkka-safari toiminnassa.

4.8 Järjestelmän mekaaniset edut

Järjestelmällä saadaan parannettua moottorikelkan kierrosherkkyyttä poistamalla pyöriviä massoja voimansiirrosta. Tämä lisää ajomukavuutta ja moottorikelkan suorituskykyä. Pyörivien massojen vähentäminen parantaa lisäksi moottorikelkan hyötysuhdetta.

5 JÄRJESTELMÄN TOIMINTORAKENTEEN MÄÄRITYS

Ennen järjestelmän suunnittelua määritettiin toiminnot jotka järjestelmältä halutaan, mikä helpottaa suunnittelutyön toteuttamista. Laskennallisesti tai mittamalla määritettiin järjestelmältä vaaditut voimat, joiden pohjalta järjestelmän mitoittaminen tehtiin.

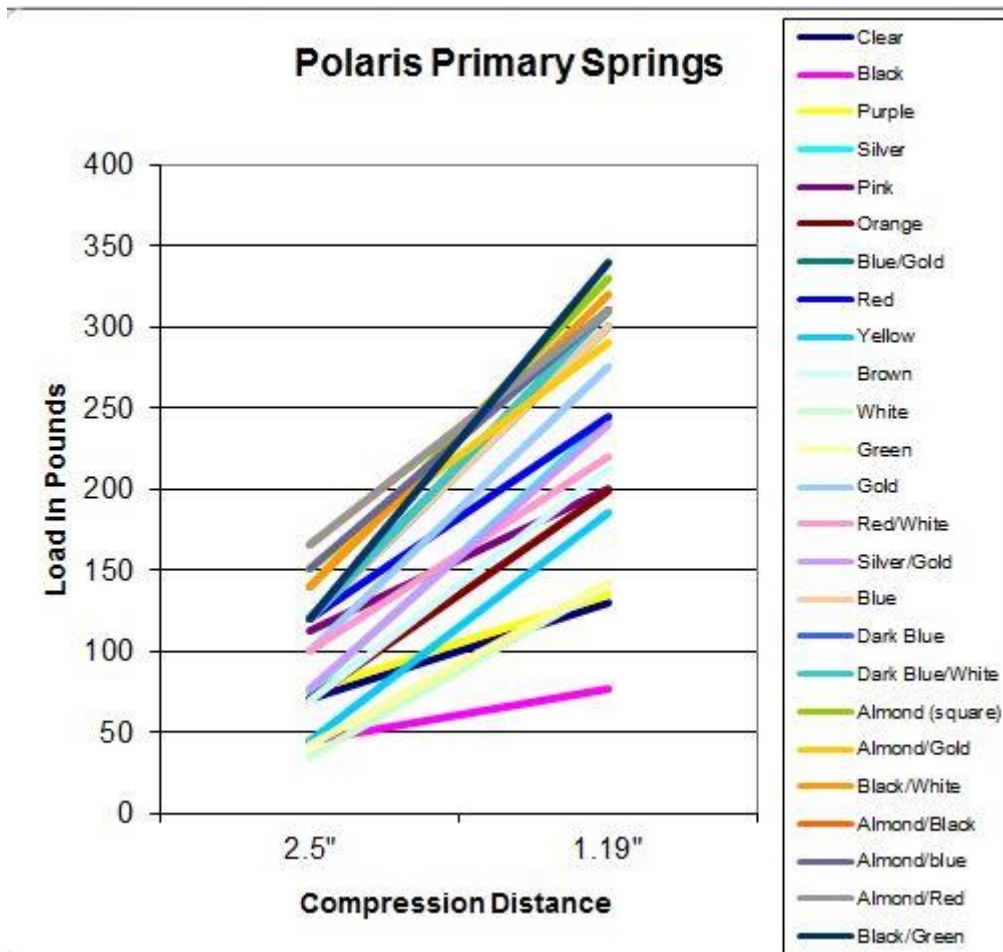
5.1 Järjestelmältä halutut toiminnot

Järjestelmältä haluttiin seuraavat ominaisuudet. Variaattorin ohjauksen mahdollistaminen esivalittujen ohjauksettojen mukaan moottorinkierrosnopeuden ja kaasunasennon funktiona. Variaattorin ohjaukseen vaikuttavina tulospaaleina käytetään moottorin kierrosnopeutta ja kaasunasentotietoa. Järjestelmään halutaan lisäksi lisätä kaasunasennon mukaan ohjattava kytkimen kytkentänopeuden säätö. Lisäksi vetohihnan vaihtamisen mahdollistaminen moottorikelkan käyttöympäristössä työkaluilla, jotka voidaan kuljettaa moottorikelkan mukana.

5.2 Tarvittava voima ensiovariaattorin lautasen liikuttamiseen

Ensiovariaattorinlautasen liikuttamiseen tarvittava voima voidaan arvioida perinteisen keskipakovoimalla toimivan kytkimen tuottamasta keskipakovoimasta, joka kohdistuu lautasia yhteen puristavaksi voimaksi lautasten akselin suuntaisesti.

Työssä tarvittavaan tarkkuuteen päästään myös laskemalla ensiovariaattorin jousen aiheuttama jousikuorman määrä kytkinlautasten ollessa kiinni toisissaan, jolloin jousikuorman määrä on suurin. Toisiovariaattorilta syntyvä kytkinlautasen liikettä vastustava voima on vaikea arvioida tarkkaan ja sen määrä arvioitiin pieneksi. Toisiovariaattorilta lineaarimoottorille vaikuttava voima huomioitiin laskeissa varmuuskerrointa valittaessa.



KUVA 8. Ensiovariaattorissa yleisesti käytettävien jousien jousikuorma määrä puristettaessa: pystyakselilla jousivoima paunoissa ja vaaka-akselilla jousen pituus puristettuna tuumissa, jousen pituuden ollessa 1,19 tuumaa ovat ensiovariaattorinlautaset kiinni toisissaan (12)

Valitaan kaaviosta punainen jousi (kuva 8), joka on yleisesti käytetty Polariksen ensiovariaattoreissa. Jousen pituuden ollessa 1,19 tuumaa on kytkin täysin kiinni asennossa.

Lasketaan tarvittava voima newtoneissa kaavalla 1 (13).

$$0,22481 * N = lb$$

KAAVA 1

N = newton

Lb = kuormitus paunoina

Kaavasta 1 saadaan jousen tuottama voima Newtonissa.

$$N = \frac{245lb}{0,22481} = 1089,8N$$

Lisätään varmuuskertoimeksi 1,5, sillä käytetty laskentatapa on epävarma, ja käytännöntesteissä saatavien tulosten mukaan varmuuslukua voidaan muuttaa.

Lisätään varmuuskerroin kaavalla 2 (5, s. 18.).

$$F_u = F * n$$

KAAVA 2

F =tarvittava voima (N)

F_u = tarvittava voima varmuuskerroin lisättynä (N)

n = varmuuskerroin

Lasketaan tarvittava voima varmuuskertoimen kanssa.

$$F = 1089,8N * 1,5 = 1634,7N$$

5.3 Tarvittava vaihtonopeus

Kytkinlautasten liikenopeus ääriasennosta ääriasentoon mitattiin 1,2 s. Aika määriteltiin mittaamalla nykyaikaisen moottorikelkan kytkimenliikenopeus ilman kuormaa telamaton ollessa ylös kytkettynä. Tällaisessa tilanteessa rajoittavana tekijänä on moottorin kierrosnopeuden muutosnopeus. Kyseisessä tilanteessa liikkuvan lautasen liike variaattorissa on suurimmillaan, eikä normaaleissa ajotilanteissa tämä liikenopeus tule ylittymään missään tilanteessa. Lasketaan tarvittava liikenopeus kaavalla 3 (14, s. 91.).

$$s = vt$$

KAAVA 3

s =kuljettu matka (m)

v =nopeus(m/s)

t =aika(s)

Tarvittava liikenopeus (kaava 3) (14, s. 91.), kun lautasten välinen liikematka on 0,04 m.

$$v = \frac{s}{t}$$

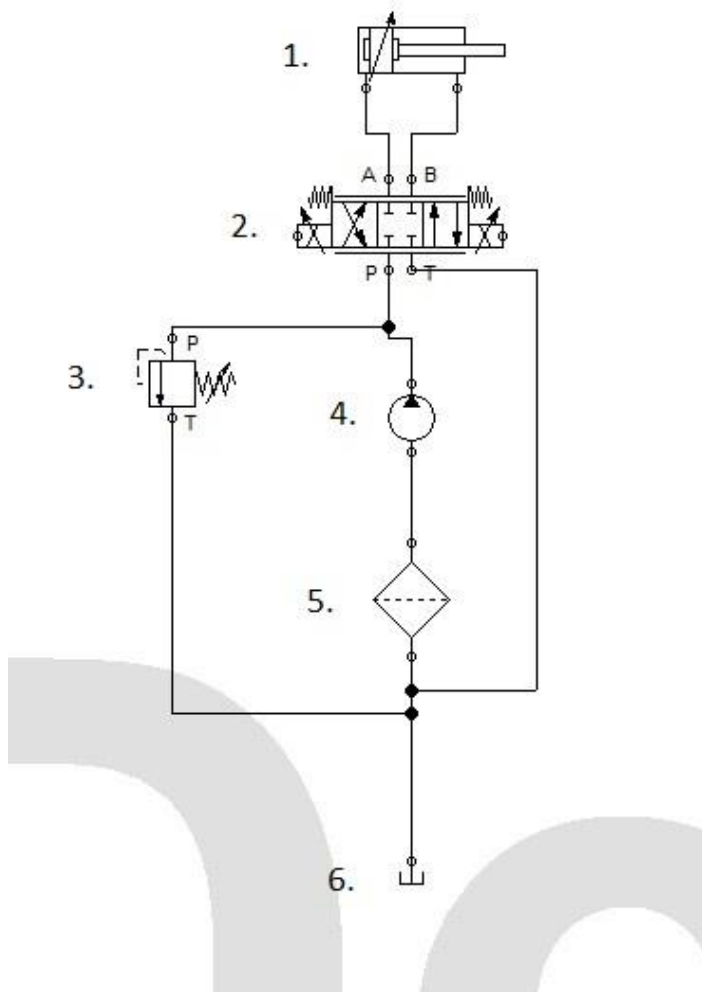
$$v = \frac{0,04m}{1,2s} = 0,033m \text{ m/s} = 33 \text{ mm/s}$$

6 LINEAARILIIKKEESSÄ KÄYTETYN LAITTEISTON VALINTA

Kytkinlautasen liike voidaan tuottaa hydraulisesti, pneumaattisesti tai lineaarisähkömoottoria käyttämällä. Suunnitteluperusteina järjestelmää valittaessa käytettiin järjestelmän painoa, huollon tarvetta, kustannuksia. Lisäksi käytettävän järjestelmän valintaan vaikutti käyttölämpötila $-20 \dots 10 \text{ °C}$:n välillä.

Kytkinlautasten liikkeeseen tarvittava voima määriteltiin suurimmassa tilanteessa 1 500 N ja tarvittava liikenopeus maksimi tilanteessa on 33 mm/s. Tietojen hyväksi käyttäessä arvioitiin eri järjestelmien soveltuvuutta käyttökohteeseen.

Järjestelmän valinnassa vertailtiin hydraulisen, pneumaattisen ja lineaarimoottorin etuja ja haittoja. Hydraulinen järjestelmä todettiin painavaksi ja paljon huoltoa vaativaksi järjestelmäksi. Hydrauliikan käyttäminen olisi vaatinut kalliin servotekniikan lisäksi monimutkaisen järjestelmän (kuva 9), mikä kasvatti hydrauliikkajärjestelmän valmistuskustannukset liian suuriksi.



KUVA 9. Hydraulikkakaavio hydraulisesta järjestelmästä, jolla kytkinlautasensiike voitaisiin suorittaa, piirrosmerkit kuvassa 1. sylinteri, 2. proportionaaliventtiili, 3. paineventtiili, 4. pumppu, 5. suodatin, 6. säiliö

Moottorikelkkaa käytetään usein luonnossa ja jäätyneillä vesistöillä, milloin hydraulikkajärjestelmän öljyvuoto rikkoutumistilanteessa olisi ollut ympäristölle erittäin haitallista, joten hydraulisesta järjestelmästä luovuttiin. Hydraulisen järjestelmän etuna nähtiin kompakti sylinteri pituus, jolloin järjestelmä olisi mahtunut helposti paikalleen.

Pneumaattinen järjestelmä ei sovellu varauksetta kylmään käyttöympäristöön, koska jäätymisongelmat voivat syntyä merkittäviksi. Pneumaattiselta järjestelmältä olisi vaadittu samankaltainen useita komponentteja sisältävä järjestelmä kuin hydrauliselta järjestelmältä. (15, S. 154.)

Lineaarimoottori valittiin käytettäväksi huoltovapaan toimintansa ja keveytensä takia. Huomattava etu lineaarimoottorin käytössä oli lisäksi sisäänrakennettu asentotiedon tunnistin, jota voidaan hyödyntää suoraan variaattorilautasen ohjauksessa. Lineaarimoottorin negatiivinen puoli on sen fyysinen koko. Työtä tehdessä ei löydetty tarpeeksi pientä moottoria joka pystyy tuottamaan tarpeellisen voiman ja liikenopeuden. Lineaarimoottori tulee moottorikelkan kylkilinjaa ulomaksi ja on altis iskuille. Ongelmia ei kuitenkaan synny vielä prototyypin testausvaiheessa, joten valittu lineaarimoottori hyväksyttiin prototyypivaiheeseen.

Lineaarimoottorin ainoaksi merkittäväksi ongelmaksi järjestelmän toiminnan kannalta syntyi sähkömoottorin voimakas lämmöntuotto. Sähkömoottorin synnyttämän lämmön nouseminen liian suureksi vaurioittaa itse sähkömoottoria. Valitun sähkömoottorin suositeltu käyttöaste on 25 % huoneenlämmössä maksimikuormalla. Sähkömoottorin käyttöastetta voidaan nostaa jäähdytyksellä, joka on helppo toteuttaa ilmavirran avulla moottorikelkassa. Lisäksi sähkömoottorin reilun ylimitoituksen ansiosta sähkömoottori ei joudu toimimaan täydellä tehollaan, mikä pienentää syntyvää lämpökuormaa.

Prototyyppiin valittu Servocityn valmistaman lineaarimoottorin maksimityöntövoima on 2 446 N, mikä on lähes kaksinkertainen lasketusta tarvittavasta voimasta. Liikenopeus lineaarimoottorilla on noin 66 mm/s ilman kuormaa ja maksimikuormalla 46,99 mm/s, mikä on suurempi kuin laskettu tarvittava nopeus. Keskimääräinen valmistajan ilmoittama virrankulutus lineaarimoottorilla on 5 amp. Lineaarimoottorin suuresta virrankulutuksesta johtuen moottorikelkkaan lisätään suurempi laturi. Laturin koko voidaan mitoittaa tarkemmin prototyypin testaamisen jälkeen, kun todellinen keskimääräinen virrankulutus on mitattu kokeellisesti.

7 OHJAUSJÄRJESTELMÄ

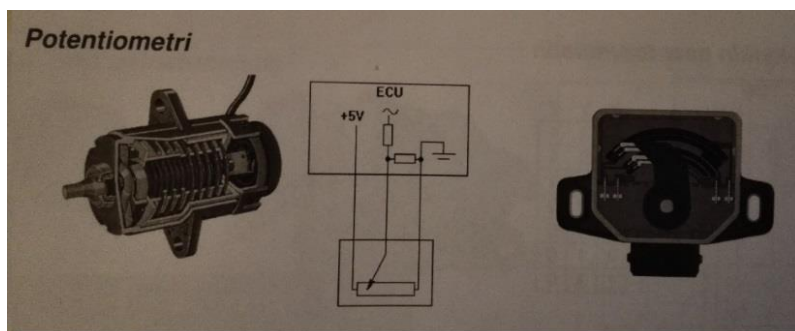
Nykyaikaisessa moottorikelkassa variaattorin toimintaa ohjaavat moottorinkierrosnopeus ja lisäksi telamatolta välittyvä ajoalustan synnyttämä vastus. Uudessa järjestelmässä variaattorin ohjauksen tulosignaaleina käytetään samoja mitta-arvoja.

Entisen järjestelmän toiminta ilman sähköisiä antureita oli mahdollista, koska järjestelmä tunnisti mekaanisesti moottorinkierrokset ja ajoalustan vastuksen. Uuden järjestelmän tunnottomuus näille muuttujille luo tarpeen anturoinnille, jolla samat tiedot saadaan mitattua ja variaattorin ohjaus mahdollistettua.

Uuteen järjestelmään lisätään myös säätöön suoraan vaikuttava kaasunasentotieto, mikä luo mahdollisuuden kuljettajalle vaikuttaa moottorikelkan voimansiirron toimintaan etenkin paikaltaan liikkeelle lähdetessä.

7.1 Potentiometri

Potentiometri (kuva 10) on säätövastus jolla voidaan lukea asennon lisäksi myös muutoksen liikenopeus. Potentiometrin yleisiä käyttökohteita ajoneuvoissa on muun muassa kaasunasennontunnistin. Potentiometrin pääkomponentit ovat vastusratas ja siihen kuuluva hiiliharja. Mitattavan kohteen kääntyessä muuttuu potentiometrin sisäinen vastus, jonka arvoa mittaamalla saadaan asentotieto selville esimerkiksi kaasuläpän asennosta. (16, s. 136.)

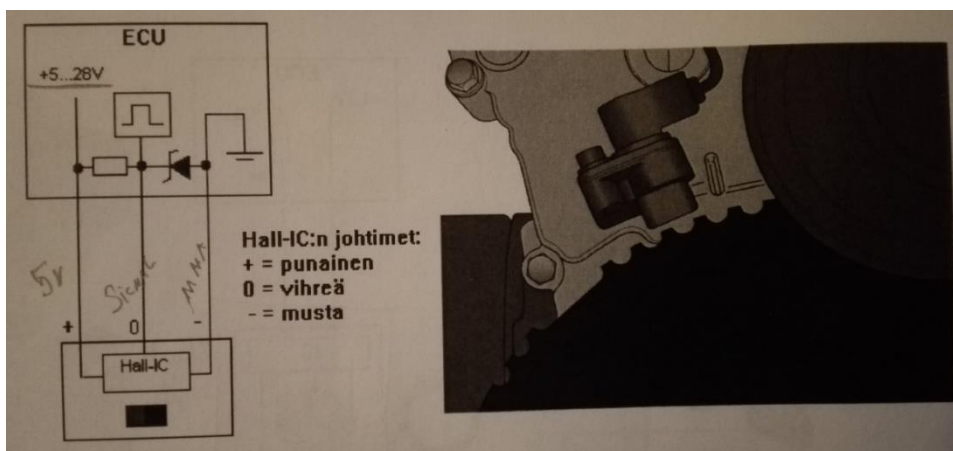


KUVA 10. Keskellä potentiometrin kytkentäkaavio ja laidoilla kaksi esimerkki kuvaa potentiometristä (17)

Nykyaikaisessa polttoaineensuihkutuksella varustetuissa moottorikelkoissa anturi löytyy jo valmiina, joten komponenttia ei tarvitse lisätä moottorikelkkaan vaan voidaan käyttää samaa anturia moottorinohjauksen kanssa.

7.2 Hall-pyörimisnopeustunnistin

Hall-pyörimisnopeusanturia (kuva 11) käytetään yleisesti moottoreiden ja vaihteistojen nopeuksien mittaamiseen. Anturi toimii heti nollanopeudesta lähtien. Hall-anturilla pystytään pyörimisnopeuden lisäksi mittaamaan kiihtyvyyttä. (16, s. 143.)



KUVA 11. Vasemmalla hall-anturin kytkentäkuva ja oikealla periaatekuva anturista ja anturikehästä (17.)

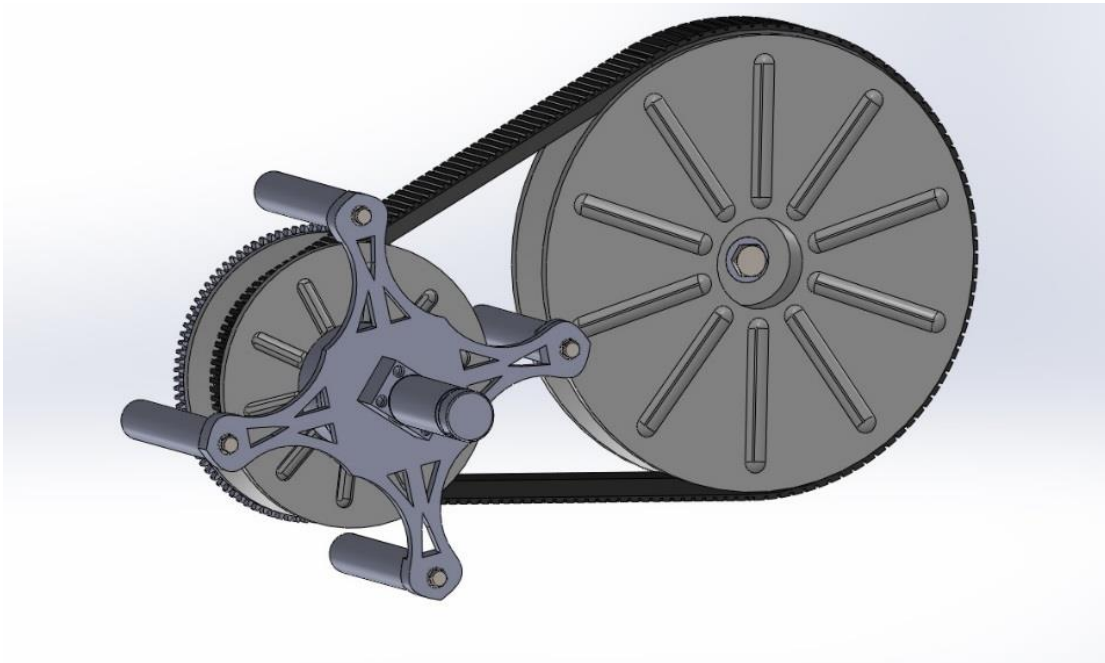
Hall-anturi muodostaa suorakaidesignaalin jonka taajuus vastaa pyörimisnopeutta. Hall-tunnistimella voidaan mitata vetoakselin nopeuden muutosta ja verrata sitä kaasunasentoon. Mikäli kaasunasento ei muutu, mutta kierrokset muuttuvat voidaan variaattoria ohjata muuttamaan välityssuhdetta pienemmäksi säilyttääkseen moottorin vakiokierrosnopeus. (16, s. 143.)

8 VARIAATTORIN UUSKONSTRUKTION SUUNNITELU

Nykyaikaisen moottorikelkan voimansiirrossa käytetään kiilahihnavariaattoria. Kiilahihnavariaattorin säätöihin voidaan vaikuttaa ainoastaan vaihtamalla mekaanisia osia, mikä pakottaa moottorikelkan voimansiirron suunnittelun kompromissiksi kevyiden olosuhteiden ajon ja raskaan umpilumessa ajon välillä. Kytkimen ohjauksen muuttaminen sähköiseksi mahdollistaa voimansiirron toiminnan ihanteellisesti erilaisissa kuormitustilanteissa. Uuskonstruktio lisää moottorikelkan käyttömukavuutta. Optimoimalla moottorinkierrokset saadaan lisäksi parannettua moottorikelkan hyötysuhdetta ja laskettua päästöjä.

8.1 Komponentit

Variaattorijärjestelmän (kuva 12) komponentit voidaan jakaa valmiina saataviin osiin ja omavalmisteena tehtäviin osiin. Mitoituksen pohjana käytettiin Polaris Switchback 600 vuosimallin 2008 moottorikelkkaa. Moottorikelkka on nykyaikaisella rungolla varustettu. Suunnittelussa sovitettiin osat kyseiseen moottorikelkkaan.



KUVA 12. Kytkinjärjestelmä 3D-malli

8.2 Runko

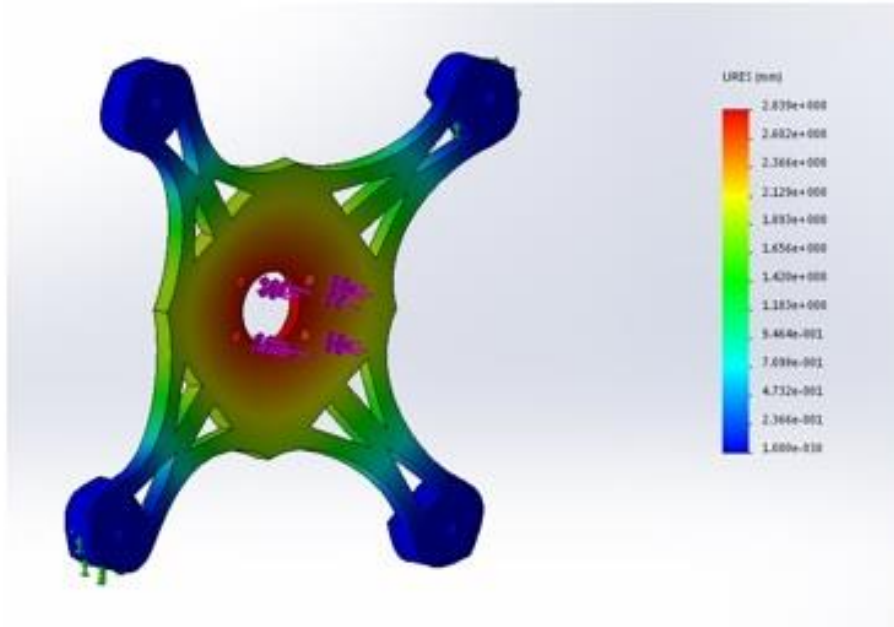
Ensiovariaattorin rungon (kuva 13) kiinnitys täytyy tapahtua suoraan moottorin lohkoon, tämä on yksi suurimpia ongelmia prototyypin valmistamisessa. Prototyypin alustana käytetyn moottorikelkan lohkoon ei ole luonnollisestikaan suunniteltu kiinnityspisteitä valmiiksi tällaiselle laitteistolle. Prototyyppiä varten etsitään eri moottorikelkkavalmistajilta ja malleista moottorikelkka johon pystytään rakentamaan adapteri, jolla kytkimen runko saadaan kiinnitettyä moottorinlohkoon.



KUVA 13. Ensiovariaattorin runko

Rungon keskelle liitetään käyttölaitteena toimiva sylinteri pultiliitoksella. Runko on valmistettu kahdesta eri osiosta, mikä mahdollistaa vetohihnan vaihtamisen helposti maastossakin. Materiaalina käytettiin alumiinia, jolloin rungosta saadaan kevyt ja kestävä. Mitoituksessa periaatteena pidettiin sitä, että runko ei

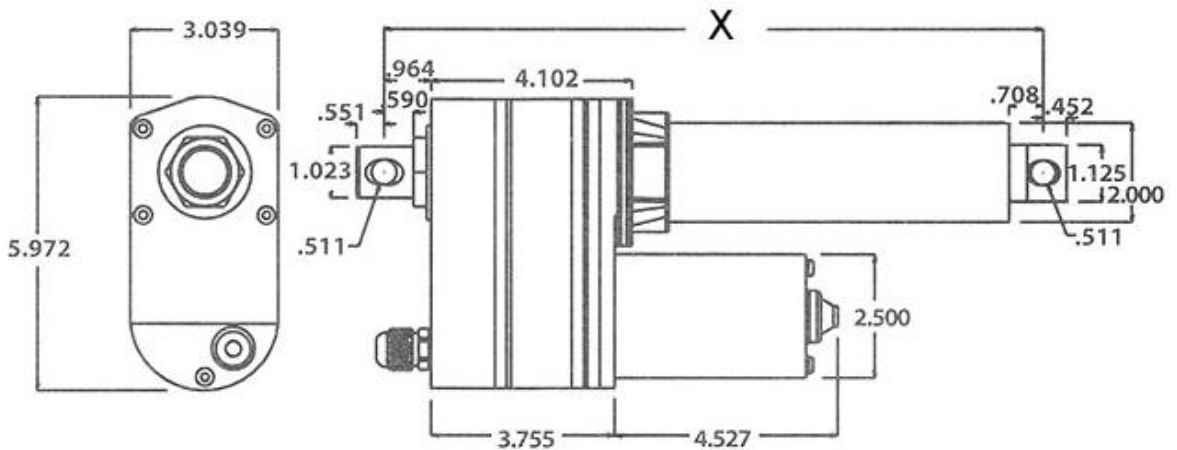
saa liikkua lineaarimoottorin aksiaalisuunnassa missään tilanteessa. Mitoituksessa simuloitiin lineaarimoottorin synnyttämän voiman 2500 N vaikutusta runkoon, apuna käytettiin Solidworksin FEM analyysia (kuva 14).



KUVA 14. Solidworksin FEM-analyysi siirtymä runkolaipassa 2500 N voiman vaikutuksen alaisena, siirtymä on merkityksettömän pieni

8.3 Lineaarimoottori

Lineaarimoottori (kuva 15) valittiin tarvittavan iskunpituuden ja voimantuoton mukaan. Iskunpituudeksi valittiin vähintään 50 mm, jolloin kytkinlautasten liikkuvuus pysyy samana kuin perinteissä keskipakovoima toimisessa järjestelmässä. Tarvittavana voimana käytettiin 1500 N, joka arviottiin riittäväksi jokaisessa käyttötilanteessa. Sylinteri valinnassa panostettiin paljon pituussuunnassa kompaktin tuotteen löytämiseen. Kytkinpaketin pituus sivuttaissuunnassa oli saatava pysymään maltillisena, jotta kytkinpaketti ei tule tarpeettomasti yli moottorikelkan kylkilinjasta.



KUVA 15. Lineaarimoottori, mitta X käyttöön valitussa sylinterissä on 4 tuumaa eli noin 100 mm, myös muut mitat kuvassa tuumina (18)

Käyttöön valittu Servocityn valmistaman lineaarimoottorin maksimityöntövoima on 2 446 N, mikä on lähes kaksinkertainen tarvittavaksi arvioidusta voimasta. Liikenopeus lineaarimoottorilla on ilman kuormaa 66 mm/s ja maksimikuormalla 47 mm/s. Keskimääräinen virrankulutus moottorilla on 5 ampeeria ja moottori toimii 12 voltin jännitteellä.

Lineaarimoottori on tyypitetty ip65 sähköluokituksella. Moottorin kuori on täysin veden ja pölyn pitävä sekä soveltuu hyvin käytettäväksi moottorikelkassa. Lineaarimoottorin etuina on sisäänrakennettu asemantunnistus, joten erillistä kytkinlautasen asentotietoanturia ei tarvita. (18.)

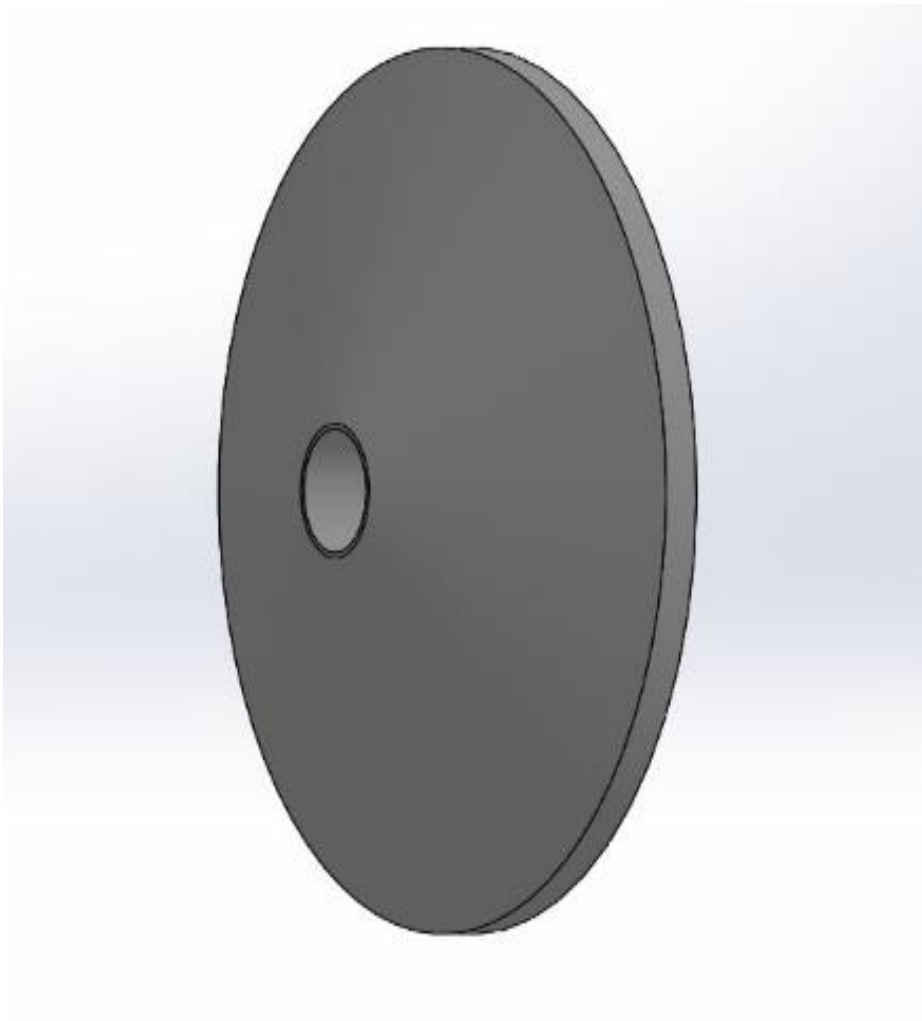
Valitun lineaarimoottorin mitat eivät ole täysin käyttökohteeseen sopivat, koska moottorin rungon pituus on niin pitkä, että järjestelmä ei mahdu perinteisen moottorin sivumuovin sisään. Prototyypivaiheessa tämä ei ole ongelma, mutta käytännön maastoajossa moottori jää iskuille alttiiksi ja moottori on suunniteltava alusta asti itse jotta kokonaismittaa saadaan lyhennettyä.

8.4 Kytkinlautanen

Kytkinlautanen (kuva 16) valmistetaan alumiinista. Kytkinlautasesta voidaan tehdä kevyempi kuin alkuperäisestä kytkinlautasesta, koska kytkinlautaseen ei

tarvita kuin kiinnitys laakeripesälle. Moottorin kierrosherkyys siis nousee huomattavasti poistamalla kytkinlautaseen kiinnitettyä pyörivää massaa.

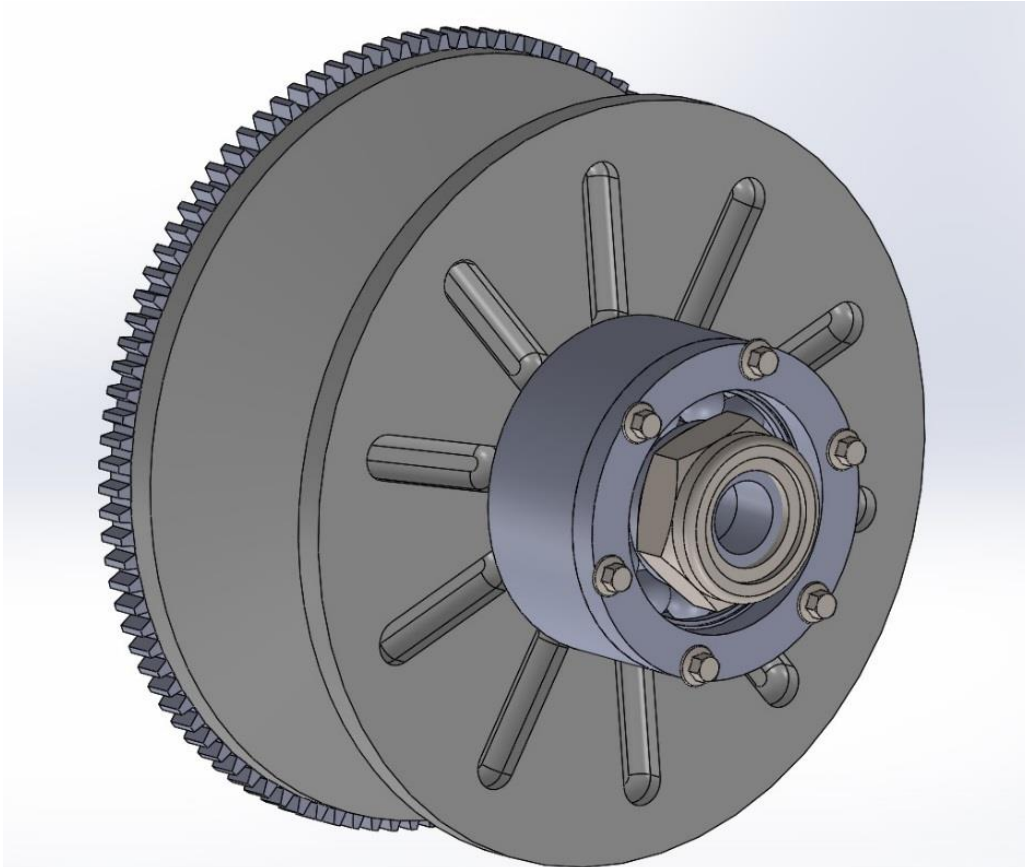
Prototyypin kustannuksien pitämisenä mahdollisimman pieninä voidaan kytkinlautanen vaihtoehtoisesti sorvata alkuperäisen kytkimen kytkinlautasesta, jolloin voidaan käyttää lisäksi alkuperäistä sisempää kytkinlautasta ja akselia.



KUVA 16. Kytkinlautanen

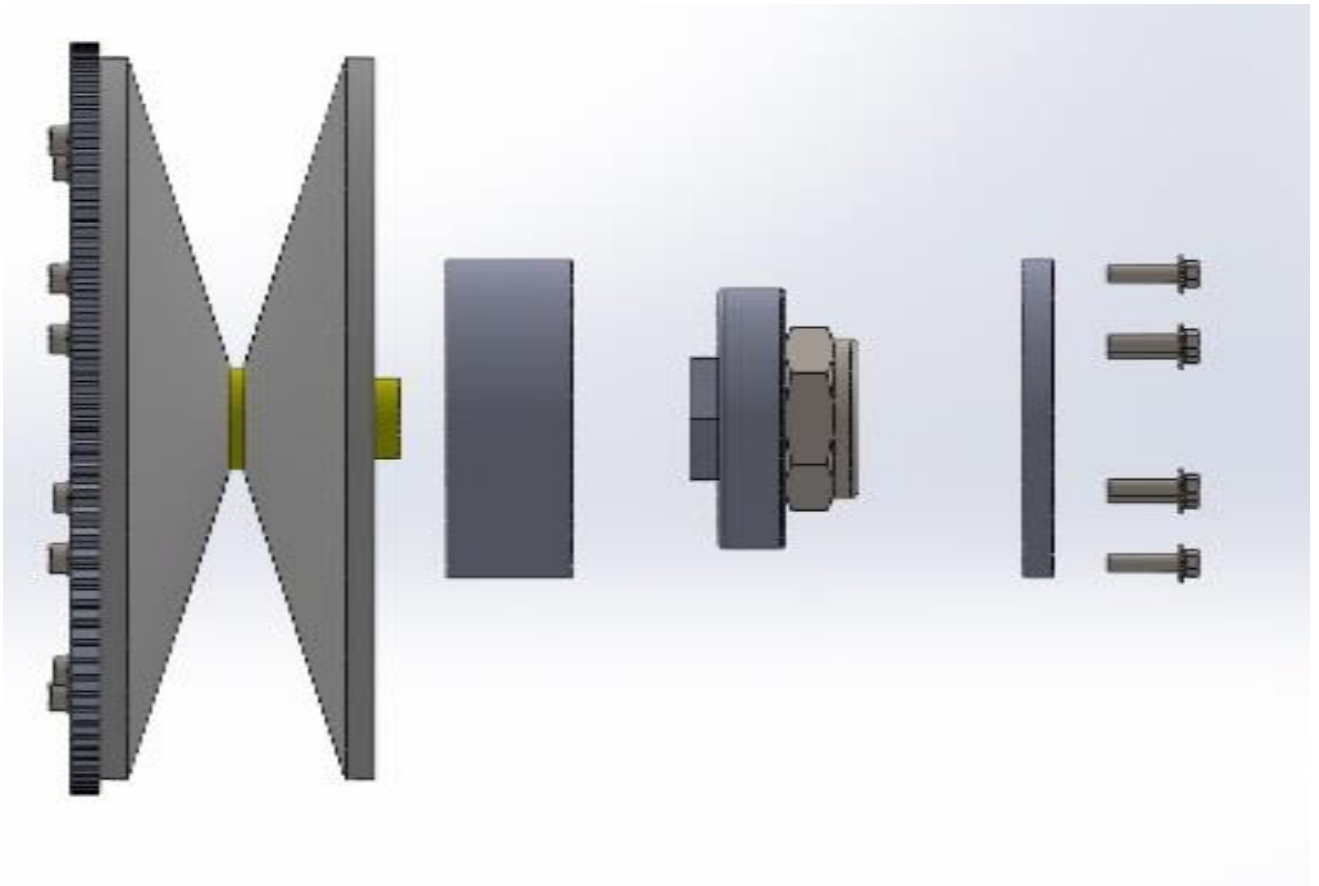
8.5 Laakeripesä

Laakeripesän (kuva 17) keveys on ensisijainen suunnittelun lähtökohta, koska koko laakeripesän massa on moottorin pyörivää massaa, mikä heikentää moottorin kierrosherkkyttä. Laakeripesän suunnittelussa panostettiin lisäksi laakerin asennus ja purkutyön yksinkertaisuuteen.



KUVA 17. Laakeripesä kuvassa sinisellä

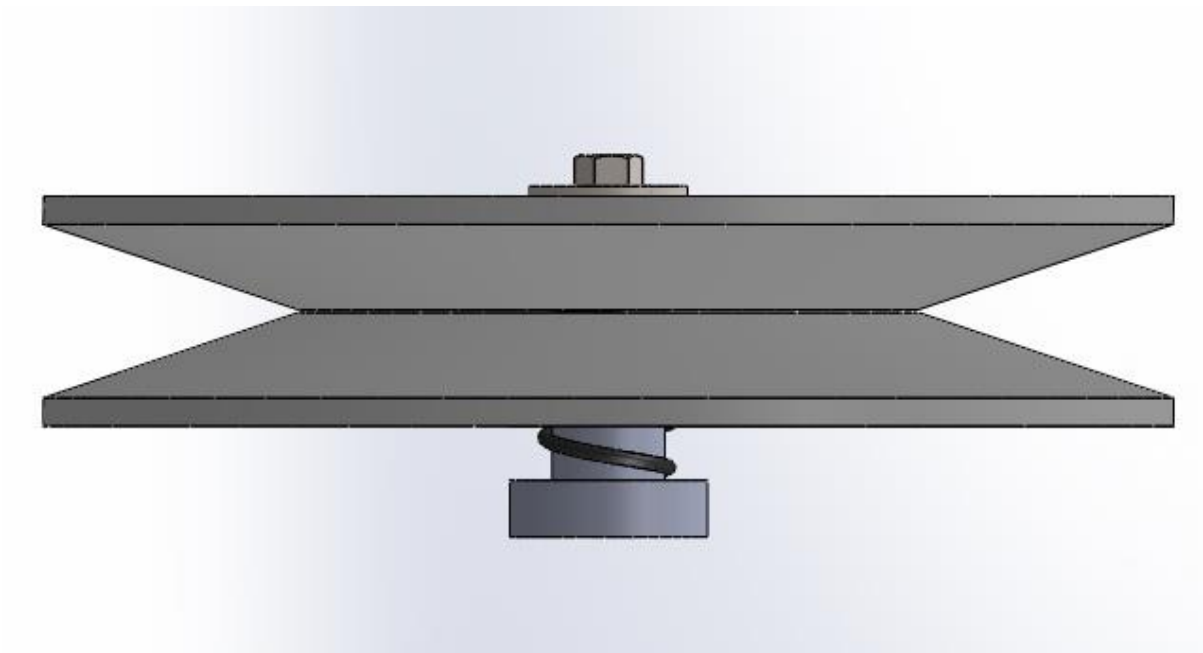
Laakeripesän tehtävänä on siirtää käyttösylinteriltä laakeriin kohdistuva voima kytkinlautaseen. Laakerin ulkokehä täytyy olla tuettuna mahdollisimman pienellä välöksellä aksiaalisuunnassa. Laakeripesä kiinnitetään pulttiliitoksilla tukevasti kytkinlautaseen. Itse laakeri on kiinnitetty lämpösovitteella ulkokoolista. Sisäkooli on kiinnitetty pulttiliitoksella (kuva 18).



KUVA 18. Laakeripesän purkaminen ja asennus

8.6 Toisiovariaattori

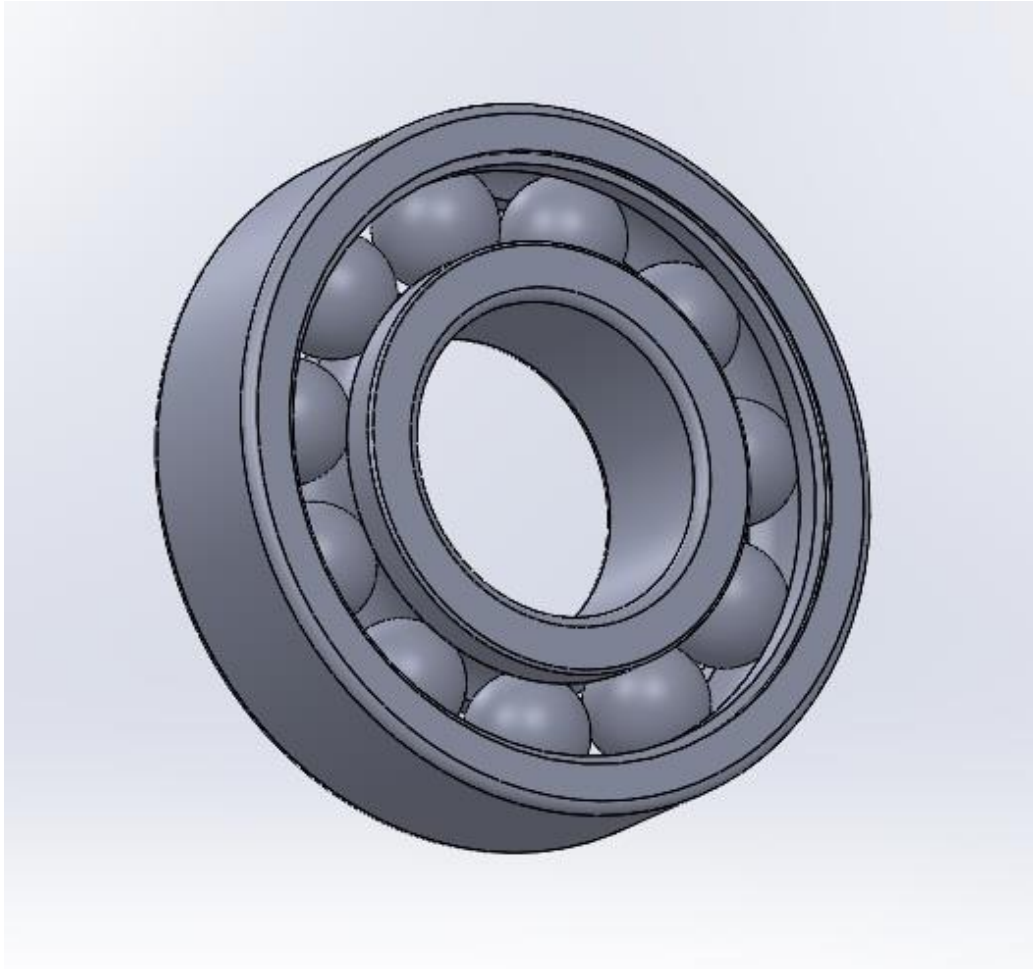
Toisiovariaattori (kuva 19) koostuu variaattorinlautasista ja progressiivisesta jousesta. Perinteisessä järjestelmässä oleva helix voidaan poistaa ja pyöriviä massoja pystytään vähentämään. Toisiovariaattorin jouseksi valittiin yleisesti ja helposti saatavilla oleva alkuperäisjousi.



KUVA 19. Toisiovariaattoriin rakenne

8.7 Laakeri

Laakerin valinnassa käytettiin SFK:n omaa laakerinmitoitus laskuria. Kierrosnopeutena käytettiin 8000 rpm/min ja aksiaalivoimana 1500 N. Laakeriksi valittiin yksirivinen kuulalaakeri malliltaan 308 (kuva 20). Kytkimenrakenteen takia tarvittiin suuri laakeri, koska kampiakselin pään täytyy mahtua laakerin sisäpuolelle.



KUVA 2 Kuulalaakeri 308:n CAD-malli

Laakeriin vaikuttavat kuormitukset alittavat selvästi laakerin raja-arvot. Kierrosnopeus raja laakerilla on 8500 rpm/min, joka on riittävä kyseiseen järjestelmään. Mikäli moottoria viritetään ja käyttökierrokset nousevat huomattavasti voidaan laakeri joutua vaihtamaan, mutta useimmissa moottorikelkoissa laakerin kierrosnopeuden kesto on riittävä. Suunnittelua lisäksi helpotti valmis CAD-malli laakerista, joka voitiin ladata SFK:n sivuilta (kuva 20).

9 PROTOTYYPIN TESTAUSSUUNNITELMA

Ensimmäisen prototyypin tavoitteena on varmistaa konseptin tekninen toimivuus. Prototyypissä keskitytään toiminnollisuuden varmistamiseen ja varmentamaan suunnittelun mitoitukset. Ensimmäisen prototyypin kohdalla keskitytään lisäksi ohjauksen parametrien säätöön. Rungon ja muiden komponenttien painon optimointi ei ole vielä etusijalla vaan ensimmäisestä prototyypistä saatujen kokemusten ja tietojen mukaan järjestelmää voidaan vielä muokata. Valmistusteknisiin asioihin ei ole vielä ensimmäisessä prototyypiversiossa panostettu. Prototyypin testeissä pää prioriteettina on lineaarimoottorin toiminnan varmentaminen, valitun laakerin sopivuuden varmistaminen, ja toisiovariaattorin jousen jousivoiman valinta. Prototyypin testaamista varten tehtiin testaussuunnitelma, jossa määritetään tarkasti mitä asioita tutkitaan ja mitä arvoja mitataan.

Prototyypin testaus voidaan suorittaa joko rakentamalla järjestelmä erilliseen moottoripenkkiin asentamalla moottorin tilalle sähkömoottori ja lisäämällä toinen sähkömoottori simuloimaan ajovastusta. Prototyyppi voidaan myös asentaa suoraan moottorikelkkaan. Ensimmäinen prototyyppi valittiin valmistettavaksi suoraan moottorikelkkaan. Prototyypin valmistus suoraan moottorikelkkaan helpottaa sähköisen ohjauksen ohjelmointia, koska vaihtamisnopeuksia voidaan muuttaa ja verrata suoraan ajokäyttämiseen. Järjestelmän toiminnasta saadaan kuva myös testikuljettajan tuntemuksista järjestelmän toiminnasta.

Prototyypin valmistuksen haasteeksi nousee järjestelmän rungonkiinnitys moottorikelkan lohkon. Järjestelmän sovittamiseen tarvittava asennusalusta suunnitellaan moottorikelkkakohtaisesti, kun sopiva moottorikelkka prototyypin alustaksi on valittu. Asennusalusta valmistetaan teräksestä, ja se kiinnitetään moottorikelkan moottorissa olevia kiinnityspisteitä hyväksikäyttäen, ja itse sähköisen kytkimen runko liitetään pultiliitoksella asennusalustaan.

9.1 Lineaarimoottori

Lineaarimoottorin synnyttämä lämpökuorma on suuri ja valitun lineaarimoottorin suositeltu käyttöaste on 25 %, joka saattaa ylittyä hetkellisesti. Lineaarimoottoria seurataan tarkasti prototyypin testausvaiheessa. Lineaarimoottorin lämpötilaa ja käyttösuhdetta seurataan testisuunnitelman aikana. Virrankulutusta mittaamalla voidaan arvioida lineaarimoottorin kuormitusaste. Lineaarimoottorin lämpötilan määrästä riippuen voidaan lisätä ilmanohjain ja jäähdyttää lineaarimoottoria ilmavirralla, tai lisäämällä nestekiertoinen jäähdytys. Nestekiertoisessa jäähdytyksessä voidaan käyttää hyväksi polttomoottorin omaa jäähdytysjärjestelmää.

9.2 Vetohihnan ja variaattorin toiminta

Vetohihnan lämpötilaa seuraamalla voidaan arvioida vetohihnan kestoa. Vetohihnan luistaminen vähentää vetohihnan kestoikää huomattavasti, joten vetohihnan luistamista tarkkaillaan. Vetohihnan luistoa voidaan tarkkailla seuraamalla toisiovariaattorin pyörimisnopeuden muutoksia, koska hihnan luistaessa toisiovariaattorin nopeuden muutos on nopeaa. Portaattoman välityksen takia variaattoreiden kierrosnopeuksien vertaaminen olisi työlästä laskennallisesti, mikä ei lisäisi saatavan datan tarkkuutta verrattuna edellä mainittuun mittaustapaan.

Vetohihnan lämpötilaan vaikuttaa luistamisen jälkeen eniten vetohihnaan kohdistuva lautasten aiheuttama puristusvoima. Uudessa konseptissa puristusvoimaan vaikuttaa ainoastaan toisiovariaattorin jousen jousivoima. Vetohihnalle kohdistuva puristusvoiman vähentäminen pienentää hihnan lämpötilaa ja parantaa variaattorijärjestelmän hyötysuhdetta, mutta mikäli puristusvoima on liian pieni hihna alkaa luistaa. Helpottaakseen sopivan puristusvoiman löytämistä muutetaan toisiovariaattorin jousivoimaa jousen esijännitystä muuttamalla, ja kokeellisesti etsitään pienin mahdollinen jousivoiman millä vetohihna ei luista. Lopulliseen versioon toisiovariaattorin jousen jännityksen säätöä ei kuitenkaan haluttu lisätä, koska voimansiirron pyörivät massat halutaan pitää mahdollisimman pienenä.

9.3 Ajokokeet

Tarkkaan määritettyjen ajokokeiden lisäksi järjestelmää käytetään reaaliympäristössä, jolloin kerätään tietoa järjestelmän kestoikästä, mahdollisista ongelmakohdista ja järjestelmän toiminnan puutteista käytännön ajotilanteissa. Normaalijotilanteet ovat myös helpoin tapa hienosäätää kytkinlautasen liikenopeutta ylös- ja alaspäinajon aikana, sekä hienosäätää lähtökierrosten säätöä kaasunasennon mukaan. Säätöjen muutosten vaikutuksesta ajokäyttäytymiseen saadaan palaute suoraan prototyypin kuljettajalta. Normaalisti ajotapahtumasta kerätään lisäksi tietoa järjestelmän virrankulutuksesta, jotta tarvittava laturin koko ja akun kapasiteetti voidaan määrittää tarkasti.

9.3.1 Lautasten liikenopeus

Järjestelmän lautasten liikuttamiseen tarvittava nopeus voidaan testata yksinkertaisesti nostamalla moottorikelkan telasto ylös maasta ja nostamalla moottorinkierrosnopeutta täydellä kaasunavauksella. Lautasten liikenopeus mitataan lisäksi tilanteessa, jossa moottorikelkan kierrokset lasketaan äkillisesti. Seurataan moottorinkierrosten ja telaston pyörintä nopeutta, joista voidaan määrittää pystyykö järjestelmä toimimaan tarvittavalla liikenopeudella. Normaaliajosta mitattua datasta voidaan vielä vahvistaa lautasten liikenopeuden riittävyys kaikkiin ajotilanteisiin.

9.3.2 Lineaarimoottorin työntövoima

Lineaarimoottorilta vaadittavaa työntövoimaa varmistaminen arvioidaan nostamalla telasto ylös ja liikuttamalla ensiovariaattorin lautaset yhteen ohjelmallisesti kierrosten ollessa vakiot. Toisiovariaattorin jousen esijännityksen säädön ollessa maksimi asennossa. Lineaarimoottorin miinusliikettä ei tarvitse testata, koska se on toisiovariaattorin jousesta johtuen vähemmän lineaarimoottoria kuormittavaa kuin työntöliike.

9.3.3 Toisiovariaattorin jousen jännitys

Toisiovariaattorin jousen jännityksen määrä voidaan todentaa ajokokeilla. Toisiovariaattorin jousivoiman rajoittavana tekijänä on hihnan luistaminen ja kiihdytyksessä vetohihnan synnyttämä lautasten aksiaalisuuntaan vaikuttava voimakomponentti. Hihnan luistaminen on suurinta ajettaessa raskaassa ajoympäristössä, esimerkiksi syvässä lumessa tai pitävällä alustalla kiihdytettäessä.

Hihnan luistaminen syvässä lumessa voidaan suorittaa ajokokeilla ja vertaamalla moottorinkierrosnopeuden käyrää telaston pyörintänopeuteen. Sama voidaan testata tekemällä moottorikelkalla täyskaasukiihdytyksiä ja vertaamalla samoja käyriä. Hihnan toimintaa voidaan tutkia lisäksi visuaalisesti asentamalla kamera variaattorinkoteloon, josta voidaan tarkemmin nähdä miten järjestelmä käyttäytyy.

9.3.4 Laakerin keston testaus

Laakeria voidaan kuormittaa yksinkertaisesti pitämällä moottorinkierrosnopeutta maksimi käyttökiertoilla 8500 rpm. Helpointa tämä on suorittaa kytkemällä moottorikelkan telasto ylös ajoalustasta. Kytkinlautasta voidaan lisäksi ajaa edestakaisin, jolloin laakerille saadaan kuormitusta. Testien jälkeen laakeri voidaan poistaa ja tarkistaa sen kunto visuaalisesti.

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä suunniteltiin mekaaninen järjestelmä, jolla voidaan säätää moottorikelkan variaattorin toiminta sähköisesti. Työhön kuului lisäksi anturoinnin ja sähköisen ohjauksen logiikan suunnittelu. Työn lopputuloksena syntyivät komponentit, joiden pohjalta järjestelmän prototyyppi voidaan valmistaa. Järjestelmän säädön logiikka suunniteltiin ja käytettävä anturointi valittiin.

Haasteeksi syntyi ensiovariaattorin käyttöelimen rungon kiinnitys moottorikelkan lohkon. Ongelma ratkaistiin suunnittelemalla erillinen adapteri, jolla käyttöelimen runko ja moottorinlohko kiinnitettiin toisiinsa. Adapteri lisää huomattavasti moottorikelkan massaa, jolloin ratkaisu ei ole haluttu lopputuotteeseen, sitä voidaan käyttää prototyyppissä. Adapterin tarpeen takia tuotetta ei ole mahdollista myydä jälkiasennustuotteena vaan variaattorijärjestelmän kiinnitys pitää huomioida jo moottorikelkan valmistusvaiheessa tehtaalla.

Järjestelmältä vaadittujen lähtötietojen arvioinnissa käytettiin alkuperäisen keskipakokytkimestä laskennallisia arvoja, joita käytettiin mitoituksen perusteena. Lähtötietojen arvioinnissa oli epävarmuustekijöitä ja vaikeasti arvioitavia voimia, jolloin tarvittavan voiman arvossa käytettiin korkeaa varmuuskerrointa 1,5.

Työssä onnistuttiin kehittämään variaattorijärjestelmä, joka on useilla osaluilla perinteistä järjestelmää monipuolisempi. Lisäksi uusi teknologia loi mielenkiintoisia lisäominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää moottorikelkkojen voimansiirrossa. Työn aikana saatiin valmis suunnitelma, jonka pohjalta ensimmäinen prototyyppi voidaan valmistaa.

LÄHTEET

1. Aitto-Oja, Heikki 2013. Moottorikelkan voimalinja. Kelkkalehti nro 5. S. 62 - 66.
2. TEAM Clutches on Most 2016 Models. 2014. Articinsider. Saatavissa <http://www.arcticinsider.com/Article/12-Things-to-Know-About-the-2016-Arctic-Cat-Snowmobiles> Hakupäivä 28.5.2016.
3. What is a CVT (Continuous Variable Transmission) drive system? 1995 - 2014. Mfgsupply.com Saatavissa <http://www.mfgsupply.com/gomini/gominiclutch.html>. Hakupäivä 15.1.2016.
4. Björk, Timo – Hautala, Pekka – Huhtala, Kalevi – Kivioja, Seppo – Kleimola, Matti – Lavi, Markku – Martikka, Heikki – Miettinen, Juha – Ranta, Aarno – Rinkinen, Jari, Salonen, Pekka 2014. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Sanoma pro oy.
5. Blom, Seppo – Lahtinen, Pekka – Nuutio, Erkki – Pekkola, Kari – Pyy, Seppo – Rautiainen, Hannu – Sampo, Ahto – Seppänen, Pekka – Suosara, Eero 2006. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita Prima Oy.
6. G-Force® Belts. 2016. Gates Corporation. Saatavissa <http://www.gates.com/products/automotive/powersport-recreational/gforce-cvt-belts>. Hakupäivä 15.1.2016.
7. Snowmobile chaincase gearing. 2016. Snowgoer. Saatavissa <http://snowgoer.com/tag/snowmobile-how-tos/page/2/>. Hakupäivä 15.3.2016.
8. Which Track Drivers. 2008. Snowmobileworld. Saatavissa <http://www.snowmobileworld.com/forums/62-general-snowmobiling/71838-q-track-drivers-w-pics.html>. Hakupäivä 28.5.2016.

9. Ays rmk assault 800 H.O 155. 2016. Polaris Saatavissa <http://www.polaris.fi/moottorikelkat/polaris-moottorikelkat-2016/deep-snow/axys-rmk-assault-800-h.o.-155>. Hakupäivä 15.1.2016.
10. Emond, Patrick 2006. How Snowmobiles Work. Howstuffworks.com. Saatavissa: <http://adventure.howstuffworks.com/outdoor-activities/snow-sports/snowmobile1.htm>. Hakupäivä 12.1.2016.
11. Nouis, Randy 1997 – 2004. Inside Clutch Tuning: Tune the Primary or the Secondary? Heel Clicker “Dual Quadrant” Cluths Weights. SledGear.com. Saatavissa: <http://www.sledgear.com/driventech.htm> Hakupäivä 2.12.2015.
12. Clutch spring chart. 2016. Leaders RPM. Saatavissa <http://www.ebay.com/itm/Polaris-New-OEM-Snowmobile-Clutch-Spring-Almond-RMK-SKS-XC-SP-XCR-7041945-/180987031093>. Hakupäivä 2.2.2016.
13. Convert Newtons to Pounds-force. 2009-2016. Kylesconverter. Saatavissa <http://www.kylesconverter.com/force/newtons-to-pounds--force>. Hakupäivä 28.5.2016.
14. Tekniikan kaavasto. 2010. 9. painos. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.
15. Fonselius, Jaakko 1993. Koneautomaatio : Hydrauliiikka. Helsinki: Painatuskeskus.
16. Bauer, Horst - Crepin, Jurgen – Dietsche, Karl-Heinz – Dinkler, Folkhart. 2003. Autoteknillinen taskukirja. 6. painos. Robert Bosch GmbH. Suom. Jyväskylä: Gummerus Oy.
17. Aalto, Arto 2004. Tunnistimet ja toimilaitteet. HMV-Systems Oy.

18. Thrust linear actuator. 1999 - 2015. Servocity. Saatavissa https://www.servocity.com/html/560_lbs_thrust_linear_actuato.html#.Vs2GNvmLS70 Hakupäivä 10.2.2016.

560 lbs. Thrust Linear Actuator. Servocity. Saatavissa https://www.servo-city.com/html/560_lbs_thrust_linear_actuato.html#.Vy4zWISLS70. Hakupäivä 12.12.2015.

SERVOCITY SUPER DUTY ACTUATORS DATA SHEET

FEATURES:

- Heavy load capability and high speed design, which is suitable for various industrial applications requiring rapid movement. The adjustable limit cam is equipped for users to fine-tune the stroke based on their needs.
- Main applications: Industrial
- Input voltage: 24V DC / 12V DC
- Max. load: 7,000N
- Static load: 13,600N
- Max. current: 26.4 A @ 12V DC
- Max. speed: 67.1 mm/sec @ no load
- Stroke: 102~610 mm
- Duty cycle: 25%
- IP protection level: IP54
- Color: Black
- Certified: RoHS EN61000-6-1 EN61000-6-3
- Overload protection by clutch
- Power wire length: 250mm (with tinned wires)
- Operating temperature: -25°C ~+ 65°C
- Sealed O-ring
- Metal gears
- CE Certified (CD55011)
- Powder coated aluminum base
- Stainless steel extension rod
- Steel protection tube



Offered in 3 versions:



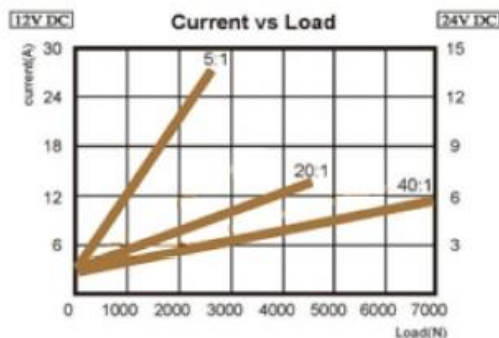
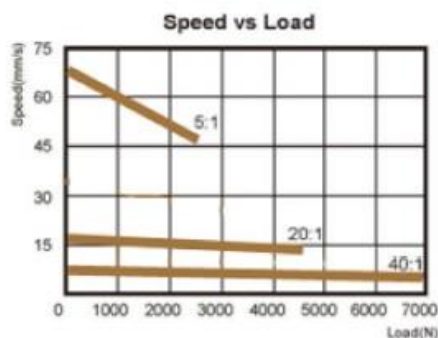
SDA263
560 pound thrust
(2.63" per second)
5:1 Ratio



SDA67
1010 pound thrust
(0.67" per second)
20:1 Ratio

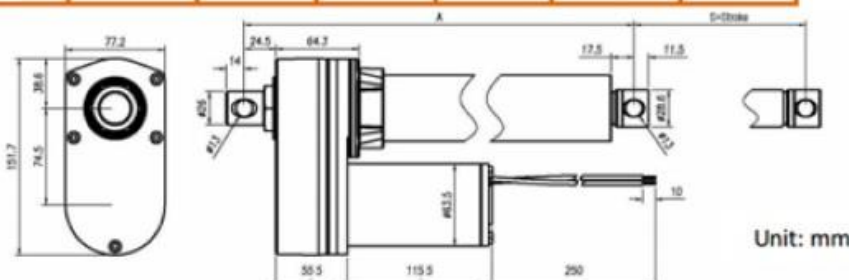


SDA30
1570 pound thrust
(.30" per second)
40:1 Ratio



Model No.	Push/Pull Max. (N)	Speed (mm/s)		Current (A)			
		No load	Full load	No load		Full load	
				12V	24V	12V	24V
SDA263 (560 lb)	2500	67.1	47.2	3.4	2.2	26.4	13.2
SDA67 (1,010 lb)	4500	16.8	14.3	3.4	2.2	13.2	6.6
SDA30 (1,570 lb)	7000	8.4	7.4	3.4	2.2	11.0	5.5

Stroke	4"	6"	8"	12"	18"	24"
Extended (± 2.5mm)	19.73"	23.74"	27.71"	38.78"	50.76"	62.80"
Retracted Length (± 3.8mm)	15.71"	17.72"	19.72"	26.77"	32.77"	38.78"



Unit: mm

