



# **HISSIN SÄHKÖKÄYTÖN TARKKUUSASETUKSEN OPTIMOINTI**

Sami Kaartinen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2015  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

KAARTINEN, SAMI:

Hissin sähkökäytön tarkkuusasetuksen optimointi

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Huhtikuu 2015

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia KONE Oyj:n tuotekehityslaboratorion Lohjalla sijaitsevassa pikahissilaboratoriossa hissien tarkkuusasetustilannetta ja saada korin liike 30 % pienemmäksi systemaattisen testauksen ja analysoinnin avulla. Lisäksi työssä on selostettu hissien rakenne ja yleisimpien komponenttien toiminta, jotta lukijalle muodostuisi kattava yleiskuva hisseistä.

Opinnäytetyötä varten suoritettiin 133 mittausta Lohjan pikahissilaboratoriossa. Tutkimuksen aikana moottorin ohjausparametreja säädettiin ja tuloksista oli nähtävissä mahdollinen suorituskyvyn muutos.

Parhaalla parametrijohdelmällä korin liike saatiin keskiarvallisesti 35,5 % pienemmäksi, joten tavoite saavutettiin ja tutkimusta voidaan pitää onnistuneena.

## **ABSTRACT**

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

KAARTINEN, SAMI:  
Optimization of Electric Drive Control during Elevator Releveling

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 7 pages  
April 2015

---

The purpose of this thesis was to do a research for KONE Corporation at research and development laboratory for high speed elevators in Lohja, Finland. The research was about releveling situation of elevator and the aim was to make the movement of car 30% smaller by systematic testing and analyzing. In addition explanations for the most common parts of an elevator are given, so that the reader will have a good overview of elevators.

All in all 133 measurements were done for this thesis at Lohja high speed laboratory. During the research parameters of the motor were changed and the improvement in performance could be seen from the results.

The best combination of parameters made the movement of the car 35,5 % smaller on average so the goal was achieved and the research was successful.

---

Key words: elevator, releveling, Research & Development (R&D)

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PERUSTIETOA HISSEISTÄ .....	7
	2.1 Yleiskuvaus.....	7
	2.2 Moottori .....	9
	2.3 Resolveri .....	10
	2.4 Enkooderi.....	11
	2.5 Pääsähköistyksen .....	12
	2.6 Kori .....	14
	2.7 Ajonaikaiset signaalit.....	15
	2.8 Paikannusjärjestelmä .....	16
	2.9 Vaaka .....	18
3	MITTAUKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS .....	19
	3.1 Haasteen kuvaus .....	19
	3.2 Mittauksen kulku .....	19
	3.3 Kuormamuutoksen simulointi.....	20
	3.4 Tarkkuusasetuksen tärkeimmät signaalit .....	22
	3.5 Säädettävät parametrit.....	23
4	KEHITYSTYÖN TULOKSET .....	24
	4.1 Testituloksien tulkitseminen .....	24
	4.2 Lähtötilanne .....	26
	4.3 Lähtöviive .....	27
	4.4 Tarkkuusasetuksen ajonopeus.....	28
	4.5 Tarkkuusasetuksen aloitusehto .....	29
	4.6 Nopeussäätäjän vahvistus .....	30
	4.7 Nopeussäätäjän vahvistus sekä tarkkuusasetuksen ajonopeuden säätö .....	31
	4.8 Nopeussäätäjän vahvistus sekä korin enkooderin siirtäminen.....	32
	4.9 Usean parametrin samanaikainen säätö .....	33
	4.10 Tulosten vertailu .....	35
5	POHDINTA.....	37
	LÄHTEET .....	39
	LIITTEET .....	40
	Liite 1. Mittauspöytäkirja .....	40

**LYHENTEET JA TERMIT**

LCE	Lift Controller and Electrification: Hissin ohjaus- ja sähköistysjärjestelmä
KDH	Kone Drive High rise: Pitkän ajomatkan hisseissä käytettävä taajuusmuuttaja
LR	Low Rise: Termi matalan ajomatkan hisseille
MR	Mid Rise: Termi keskipitkän ajomatkan hisseille
HR	High Rise: Termi pitkän ajomatkan hisseille
DCBH	Drive Control Board High rise: Toimii liikkeen ja sijainnin ohjausyksikkönä LCE:n ja KDH:n välillä pitkien ajomatkojen hisseillä
HIPO-M-a	High Speed Positioning system: Keskipitkien ja pitkien ajomatkojen hisseissä käytettävä paikannusjärjestelmä
CPU	Central Processing Unit: Yleinen termi keskusyksikölle, esimerkiksi DCBHCPU

## 1 JOHDANTO

KONE on yksi maailman suurimmista hissinvalmistajista. KONEen toimialaan kuuluvat hissien sekä liukuportaiden ja -käytävien suunnittelu, myynti, asennukset, modernisointi ja huolto. Vuonna 2014 KONEen liikevaihto oli 7,3 miljardia euroa ja henkilöstömäärä noin 47 000. KONE on perustettu vuonna 1910, jonka jälkeen se on kasvanut merkittävästi. Toimipisteitä on yli 1000 lähes kuudessakymmenessä eri maassa. Tuotekehityksiköt Suomessa sijaitsevat Hyvinkäällä sekä Lohjalla. Konsernihallinnon rakennus sijaitsee Espoon Keilaniemessä ja pääkonttori on Helsingin Munkkiniemessä (KONE Oyj).

Lohjalla sijaitsevassa Tytyrin kalkkikivikaivoksessa on kaksi pilvenpiirtäjähisseille suunniteltua testikuilua; mittaa kummallakin on noin 330 metriä. Olosuhteet Tytyrissä ovat hyvin haastavat: Kuilun yläpäässä on lähestulkoon sama ilmasto kuin konehuoneessa, mutta kuilun alapäässä lämpötila on jatkuvasti alle 10 °C ja ilmankosteus on lähes 100 %. Toisaalta Tytyri on loistava testauspaikka ilmaston vuoksi: Jos laitteet toimivat Tytyrissä, niin ne toimivat varmasti normaaleissa rakennuksissakin. Tämän opinnäytetyön mittaukset suoritettiin Tytyrissä.

Tarkkuusasetustilanteella tarkoitetaan, että hissien kori liikkuu tasoon nähden massan muutoksesta johtuen ja moottori nostaa korin takaisin oikeaan kohtaan ennen ajon alkua. Esimerkiksi ihmisjoukon siirtyessä sisälle kori saattaa liikkua hieman tasosta nähden alaspäin. Mittausten tavoitteena oli saada korin liike 30 % pienemmäksi. Tilannetta tutkittiin muuttamalla moottorin ohjauksen parametriarvoja ja analysoimalla mittaustuloksia.

## 2 PERUSTIETOA HISSEISTÄ

### 2.1 Yleiskuvaus

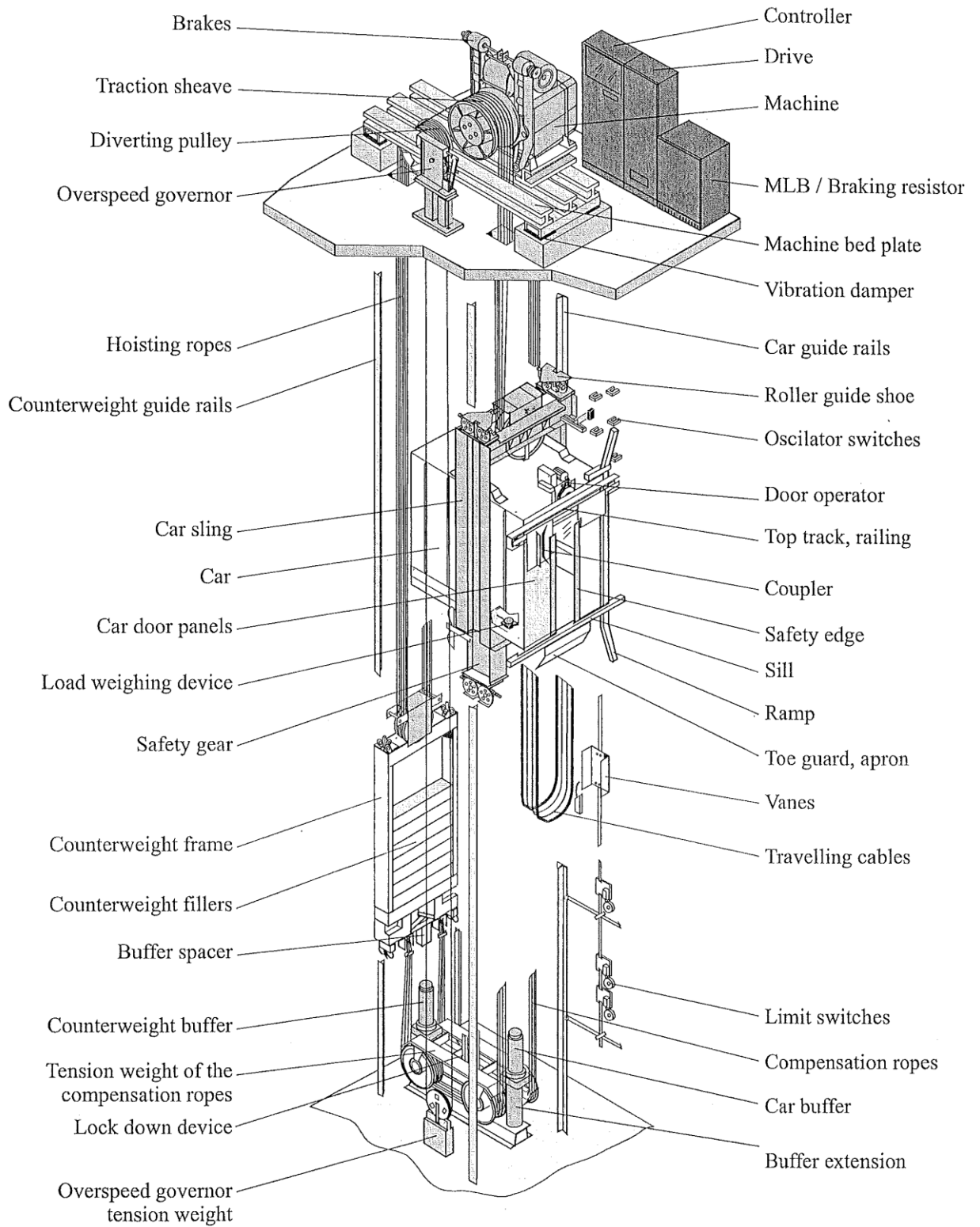
Hissien päätehtävä on kuljettaa ihmisiä ja tavaraa kerroksesta toiseen mahdollisimman sujuvasti. Hissi kulkee sille tehdyssä hissikuilussa, jonne on asennettu seinille koko kuilun matkalle T:n muotoiset teräskiskot eli johteet. Moottori sijaitsee lyhyen ajomatkan hisseissä (taulukko 1) hissikuilussa, kiinnitettynä johteeseen, ja pidempien ajomatkojen hisseissä moottorille on varattu oma konehuone. Sähkönsyöttö sekä ohjauskaappi ja taajuusmuuttajakaappi sijaitsevat myös konehuoneessa. Hissin kori on yhteydessä konehuoneeseen korikaapelilla, jossa kulkee tietoa korin sijainnista ja sen tilasta, esimerkiksi ovatko ovet auki.

Hissin köydet kantavat kaiken kuorman. Köysien varmuuskerroin on 12, eli ne kantavat 12 kertaa todellisen kuorman. Köydet ovat kiinnitetty korikehykseen. Korikehys on suurista rautapalkeista tehty kehikko johon kori on kiinnitetty. Korikehykseltä köydet menevät moottorilla sijaitsevan vetopyörän kautta vastapainolle. Vastapainon tehtävä on tasapainottaa kuormaa, jolloin moottorin ei tarvitse tehdä niin suurta nostotyötä. Pitkän ajomatkan hisseissä korikehyksen alapuolelle on myös kiinnitetty köydet, jotka kulkevat hissikuilun pohjalla sijaitsevan kompensattorin kautta vastapainon alapuolelle. Kompensattorin tehtävänä on varmistaa, että korin sekä vastapainon puolella on yhtä monta kiloa köysiä, jotta korin tasapaino paranee ja ajomatalla olisi vähemmän tärinää ja täten ajomukavuus parantuisi.

TAULUKKO 1. Ajomatkojen erot pääpiirteittäin

Hissin tyyppi	Ajomatka
Low Rise	0 – 120 metriä
Mid Rise	120 – 250 metriä
High Rise	250 – 500 metriä

Pitkien ajomatkojen hissit ovat hyvin nopeita. Tällä hetkellä KONEen nopeimpien hissien ajonopeus on 10 metriä sekunnissa. Tämän takia niiden aerodynamiikkaa on parannettu asentamalla ilmanohjaimia hissien katolle ja pohjaan. Kuvassa 1 on esitettyä hissien pääkomponenttikuvaa.

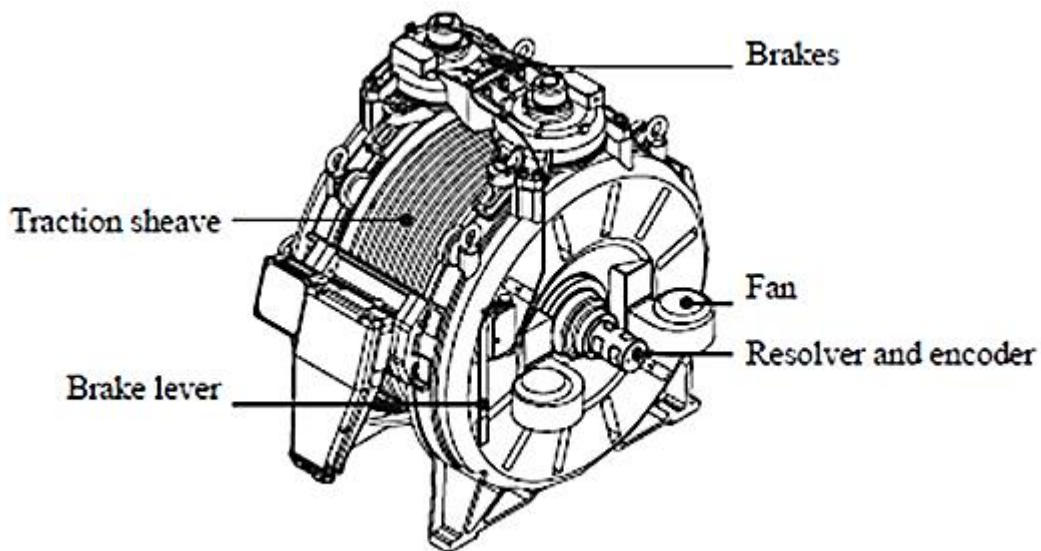


KUVA 1. Hissin pääkomponentit (KONE Oyj tuotekehitys)



## 2.2 Moottori

KONEen Ecodisc-moottorit ovat tyypiltään aksiaalivuotahtimagneetikoneita, mikä tarkoittaa käytännössä, että magneettikenttä on akselin suuntainen (Hietalahti, 2011, 112). Ne ovat vaihteettomia ja aiheuttavat vähemmän tärinää koriin niiden hitaan pyörimisnopeuden vuoksi. Toimintaa ohjataan PI-säädöllä. Moottoreita on useita erilaisia, esimerkiksi pitkien ajomatkojen hissien koneistossa moottorit on sijoitettu roottorin molemmin puolin ja tällöin roottori toimii vetopyöränä, jonka yli hissien köydet menevät. Kuvassa 2 on esitettyä tyypillinen pitkien ajomatkojen moottori. Vetopyörä on kiinnitetty molemmin puolin moottoreihin, joten koneisto on mahdollista purkaa ja koota paikan päällä. Tämä mahdollistaa myös vian sattuessa yksittäisten komponenttien vaihdon. Koneistot ovat kuitenkin hyvin yksinkertaisia rakenteeltaan ja vaativat vain vähän huoltoa.



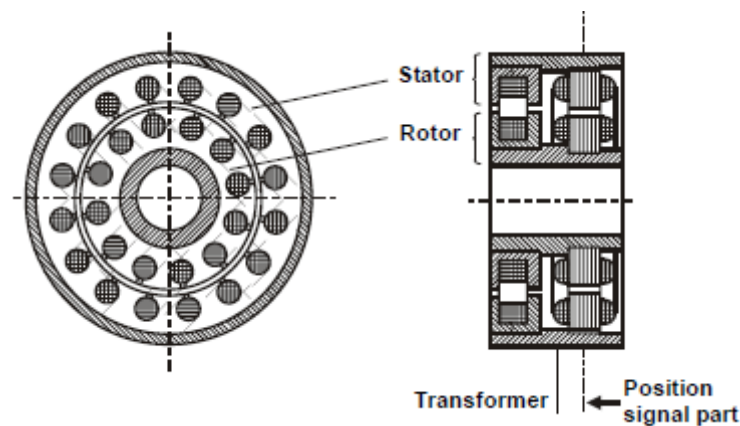
KUVA 2. Tyypillinen pitkien ajomatkojen moottori (KONE koulutusmateriaali)

Vanhemmat moottorit olivat kierukkavaihteisia tasasähkökoneita, jotka vaativat aina konehuoneen. Uudet moottorit ovat kuitenkin vaihteettomia niiden hitaan pyörimisnopeuden ja taajuusmuuttajakäytön vuoksi. Uusien moottorien magnetointi on toteutettu kestopagneeteilla, joten erillistä magnetointia ei tarvita, ja täten on vähemmän huollettavia osia (KONE koulutusmateriaali).

Hissit ovat tyypillisesti kitkavetoisia, kitkaa hallitaan vetopyörän köysiurien muodolla sekä korin ja vastapainon massoilla. Vetopyörän ja köysien välinen kitka estää köysien liukumisen, ja riippuen vetopyörän pyörimissuunnasta, kori liikkuu joko ylös tai alas ja vastapaino liikkuu vastakkaiseen suuntaan. Molemmilla moottoreilla on omat jarrut, jotka pystyvät kumpikin itsenäisesti pysäyttämään ja pitämään hissien paikallaan täydellä kuormalla. Jarrujen aktivoituessa ne painautuvat vetopyörään niille tehtyjä pintoja vasten ja pysäyttävät hissien liikkeen.

### 2.3 Resolveri

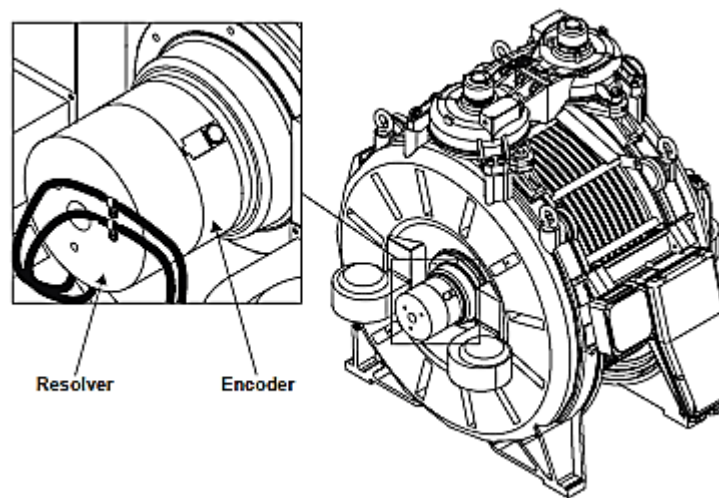
Kuvassa 3 esitetty resolveri kertoo roottorin sijainnin staattoriin nähden; tästä tiedosta pystytään määrittämään hissien sijainti sekä nopeustieto. Resolveri on rakennettu kahdesta mekaanisesta osasta: roottorista ja staattorista. Tieto näiden komponenttien välillä siirtyy indusoitumalla, osien välillä ei ole mitään mekaanista kosketusta (resolverin datalehti).



KUVA 3. Resolverin toimintaperiaate (KONE koulutusmateriaali)

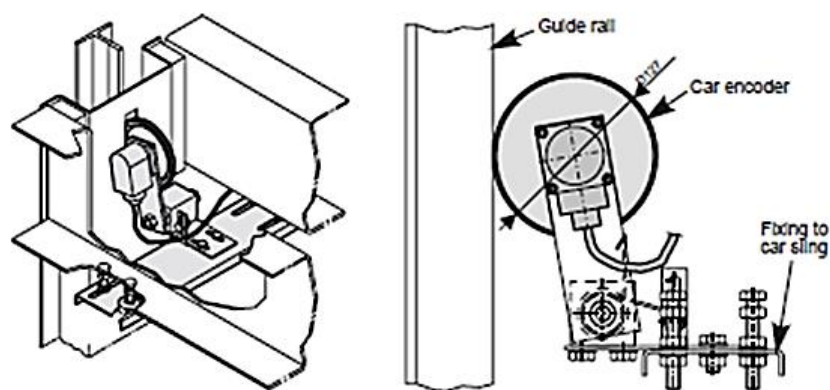
## 2.4 Enkooderi

Enkooderia käytetään resolverin tavoin sijainnin ja nopeuden tarkkailuun. Erona resolveriin on se, että enkooderi on kiinnitetty suoraan roottorin akseliin kiinni ja saa tästä tietonsa. Kuvassa 4 on nähtävissä resolverin sekä enkooderin sijainti moottorilla. Enkooderi mittaa optisesti kahta signaalia joiden vaihe-erosta voi päätellä pyörimissuunnan, ja kehittää noin 1000 pulssia yhden kierroksen aikana. Signaali on differentiaalinen, minkä etuna on toimintavarmuus: Konehuoneessa sijaitsee useita kaapeleita, joista voisi indusoitua jännitettä moottorilta tulevaan signaaliin, mikä vääristäisi sijaintitietoa.



KUVA 4. Moottorin enkooderin ja resolverin sijainti (KONE koulutusmateriaali)

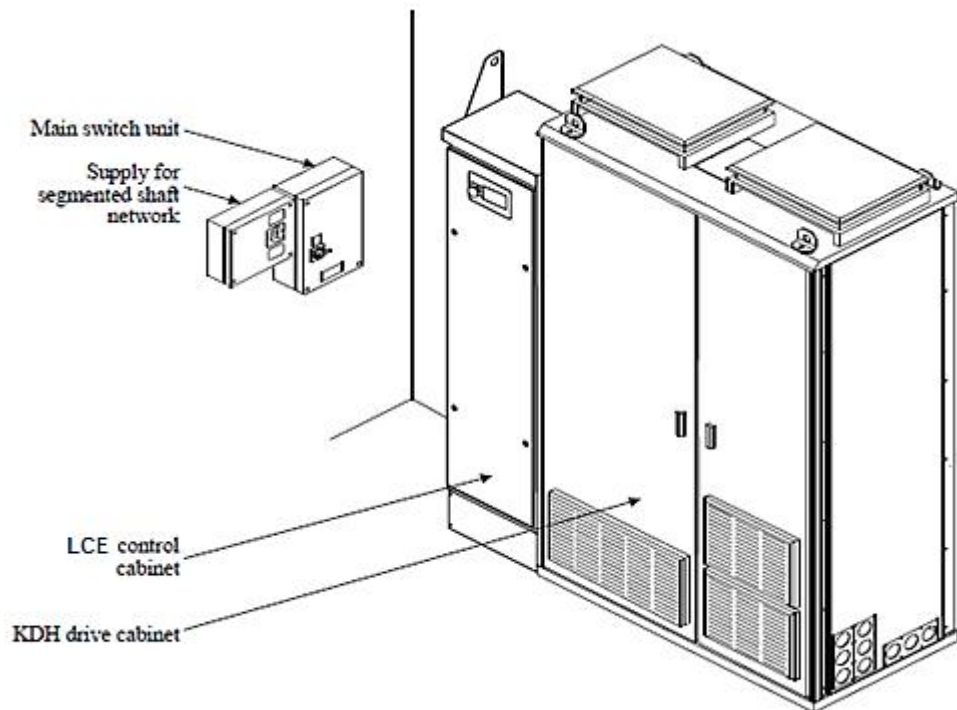
Toinen enkooderi sijaitsee korin katolla ja välittää tietonsa korikaapelia pitkin konehuoneeseen. Kuvassa 5 näkyvä korin katolla sijaitseva enkooderi on myös hyvin tarkka: yhden millimetrin aikana se antaa kaksi ja puoli pulssia tietoa korin sijainnista (enkooderin datalehti).



KUVA 5. Korin katolla sijaitseva enkooderi (KONE koulutusmateriaali)

## 2.5 Pääsähköistyksen keskeiset

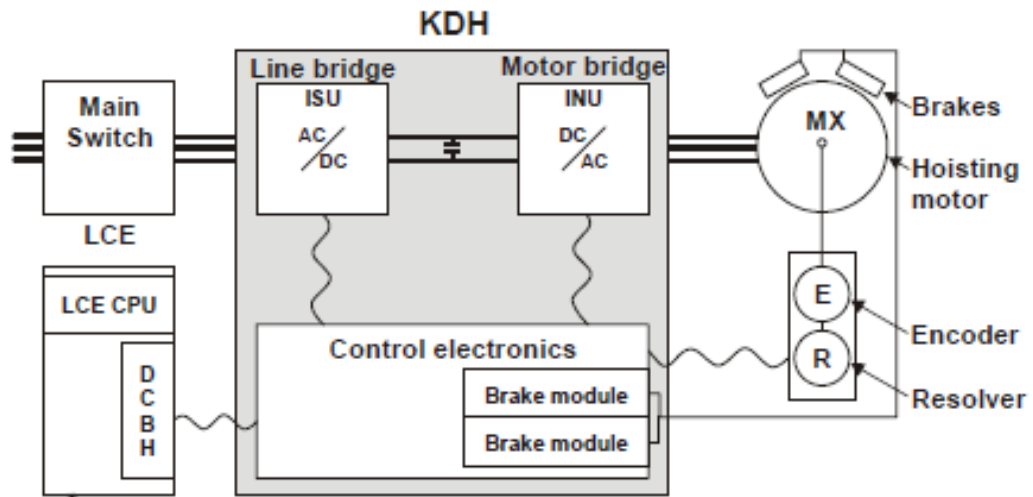
Hissin asennuksen yhteydessä konehuoneeseen asennetaan kaksi sähkökaappia: LCE on hissien sähköistys- ja ohjausjärjestelmä, ja toinen on taajuusmuuttajakaappi. Lyhyen ajomatkan hisseissä taajuusmuuttaja voi olla myös integroitu LCE-kaappiin. Pitkien ajomatkojen hisseissä käytetään KDH-tyyppistä taajuusmuuttajakaappia. Näiden kahden lisäksi asennetaan myös pääkytkin sekä hissikuilun valaistukselle oma pieni keskus, jotka näkyvät kuvassa 6.



KUVA 6. Konehuoneen keskuksat (KONE koulutusmateriaali)

Taajuusmuuttaja säätää moottorin momenttia vaihtelemalla moottorin tehonsyötön taajuutta. Taajuusmuuttajassa on myös moduloitu linjasilta, jolla pystytään jarruttamaan verkkoa vasten ja täten syöttämään sähköä takaisin. On kuitenkin tapauksia, joissa käytetään generaattoria hissien sähkön syöttämiseen, esimerkiksi sairaalat sähkökatkojen aikana. Näissä tilanteissa sähkön syöttäminen takaisin verkkoon ei ole mahdollista, joten taajuusmuuttajakaappiin asennetaan erilliset jarruvastukset, jotka vastaanottavat jarrituksen yhteydessä syntyvän sähköenergian.

Pitkien ajomatkojen hisseissä käytettäviä KDH-taajuusmuuttajakaappeja on useita erilaisia, mutta ne on suunniteltu aina käytettäväksi LCE-ohjauskaapin kanssa, joka saa sähkönsyöttönsä KDH-kaapilta. Hissikuilun valaistus tulee erilliseltä keskukselta, joten huoltotöiden aikana on mahdollista katkaista hissistä sähköt ja säilyttää silti hissikuilun valaistus.

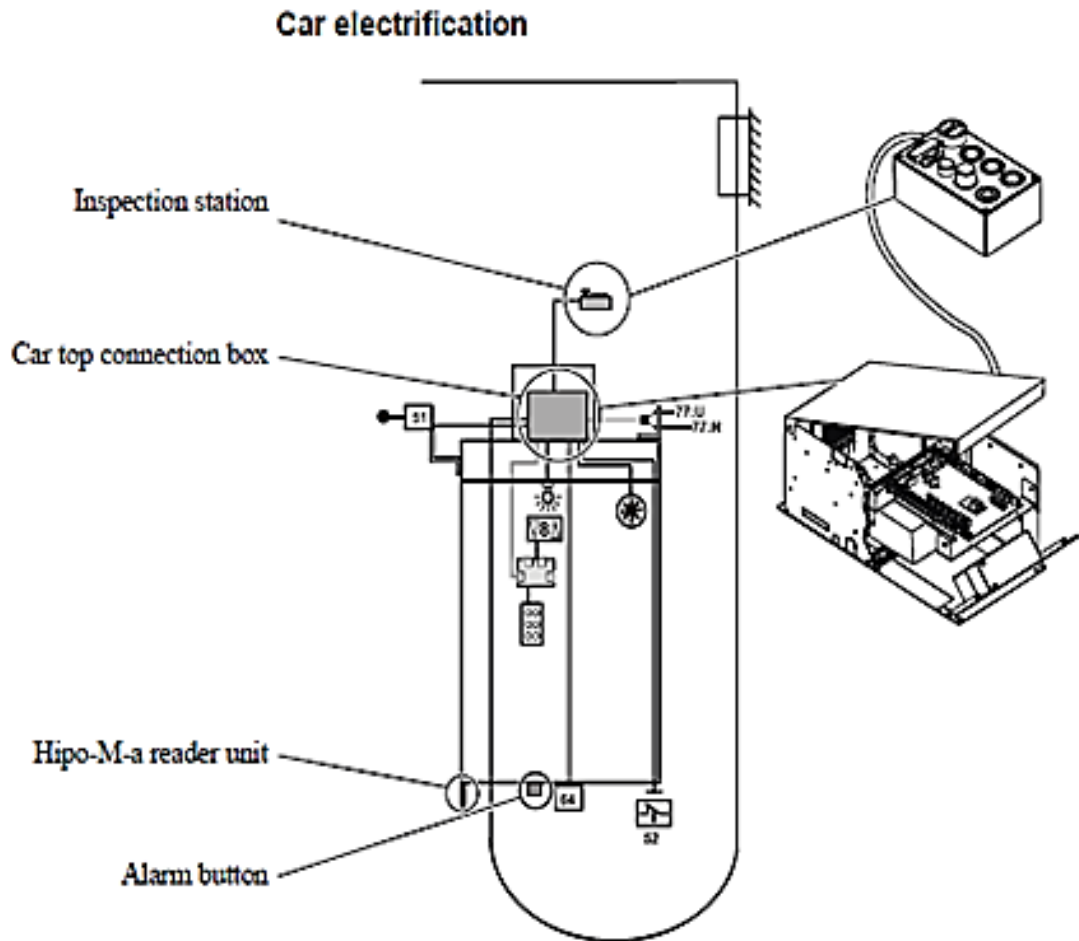


KUVA 7. KDH-kaapin periaatekuva (KONE koulutusmateriaali, muokattu)

KDH-kaappi sisältää myös jonkin verran ohjaukseen liittyvää elektroniikkaa, jotka ovat esitettynä kuvassa 7. KDH:n käyttämiä signaaleja ovat esimerkiksi moottorin jarru-, enkooderi- ja resolveritieto. Nämä tiedot siirtyvät kommunikointiyksikölle (DCBH), joka välittää tietoa ohjauskaapin ja taajuusmuuttajan välillä. Kommunikointiyksikkö toimii ohjausyksikkönä hissien liikkeelle ja sijainnille (KONE koulutusmateriaali).

## 2.6 Kori

Kori ja korikehys kulkevat hissikuilussa rakennukseen kiinnitettyjä johteita pitkin. Pitkien ajomatkojen hisseissä korikehys kulkee johteita vasten rullaohjaimilla, jotka parantavat ajomukavuutta niiden jousituksen ansiosta.



KUVA 8. Periaatekuva korin sähköistyksestä (KONE koulutusmateriaali)

Kori välittää jatkuvasti tietoa korikaapelin kautta konehuoneeseen. Kuvassa 8 on esitetty periaatekuva korin sähköistyksestä. Kaikki korin tiedot välittyvät korin katolla sijaitsevaan kytkentälaatikkoon, johon korikaapeli on kytketty. Korikaapeli on mekaanisesti kiinnitetty korin pohjaan, ja kulkee siitä hissikuilun laitaa pitkin aina konehuoneeseen saakka. Korin katolla sijaitsee myös huoltoajoyksikkö, jolla pystytään ajamaan hissiä korin katolta käsin. Tällöin hissi liikkuu huolto nopeudella, joka on tyypillisesti 0,1 – 0,3 metriä sekunnissa (KONE koulutusmateriaali).

## 2.7 Ajonaikaiset signaalit

Hissin korikaapelissa yleisimmät signaalit ovat hälytys-, taso-, kerros-, nopeus-, hidastus- ja päätytieto. Näiden lisäksi korilta tulee myös vaakatiето sekä mahdolliset kutsut, eli esimerkiksi mihin kerrokseen hissillä halutaan ajaa. Vaakatiетоa käytetään moottorin momentin säätämiseen, jotta lähtö olisi mahdollisimman sujuva. Myös turvapiirin tilatieto kulkee korikaapelissa.

Hissin kaksi tärkeintä sähköisesti toimivaa ajon aikaista turvajärjestelmää ovat Emergency Terminal Stopping (ETS) ja Normal Terminal Stopping (NTS). Normal Terminal Stopping (NTS) toimii ensisijaisena pysäytysjärjestelmänä. NTS saa tietonsa HIPO-M-a-paikannusjärjestelmästä ja moottorin sekä korin enkoodereilta. NTS seuraa koko ajan korin nopeutta ja sijaintia kuilussa sekä tarkkailee, aloittaako hissi normaalisti hidastuksen kuilun päädyissä.

ETS on itsenäisesti toimiva turvajärjestelmä, joka valvoo hissien nopeutta kuiluun asennettujen kytkimien ja enkooderien avulla, kun hissi lähestyy päätyä. Mikäli nopeus on liian suuri tietyssä kohdassa, ETS avaa turvapiirin ja hissi suorittaa hätäjarrutuksen. ETS tulee olla hisseissä, joiden nopeus on yli 2,5 metriä sekunnissa ja niissä käytetään madallettuja puskureita (EN81-1 sekä EN81-20).

Kaikkein tärkein turvajärjestelmä on kuitenkin hissien oma turvapiiri. Turvapiiriin kuuluvat esimerkiksi hätäseis-painikkeet, päätyrajakytkimet ja ovikoskettimet. Taajuusmuuttajan syöttöä ohjaava pääkontaktori sekä jarrujen avaus saavat virtansa turvapiiristä, joten minkä tahansa turvallisuusriskin sattuessa hissi keskeyttää ajon ja suorittaa hätäpysäytyksen (KONE koulutusmateriaali).

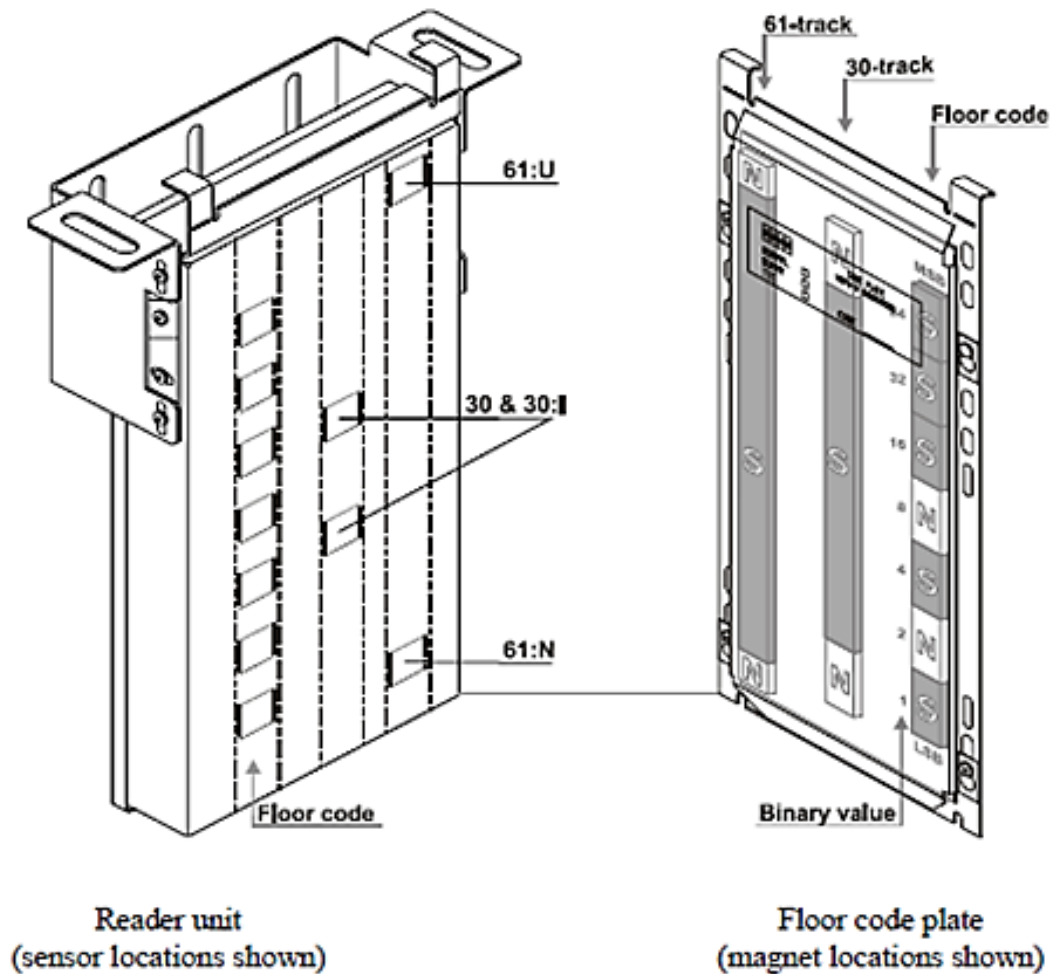
## 2.8 Paikannusjärjestelmä

HIPO-M-a-paikannusjärjestelmää (High-speed Positioning System) käytetään keskipitkien ja pitkien ajomatkojen hisseissä, joissa käytetään suuria ajonopeuksia. Järjestelmä määrittää kerroksen magneettisilla sensoreilla joka tasolla sijaitsevasta uniikista kerrostunnisteesta. Järjestelmän lukijayksikkö on kiinnitetty koriin, joten kerrostieto välittyy korikaapelia pitkin konehuoneeseen. Lukijayksikön saapuessa kerrostunnisteen kohdalle se kertoo, onko kori ovien ja/tai tason kohdalla sekä 7 bittisen tunnisteiden kerroksesta.

Hissin kadottaessa paikkansa se voi ajaa lähimmälle kerrostunnisteelle, ja järjestelmä pystyy siitä varmistamaan sijaintinsa. Kuvassa 9 on vasemmalla lukijayksikkö ja oikealla on jokaiseen kerrokseen asennettava yksikkö. Signaalit 61U ja 61N välittävät tietoa, onko kori tason kohdalla, ja jos on, millä puolella. 30- ja 30I-signaalit kertovat, onko kori tarpeeksi lähellä tasoa, jotta ovet voidaan avata (KONE koulutusmateriaali).

Kerroskoodi on magneettinen 7-bittinen tunnistusjärjestelmä. Joka kerroksen magneetit asetellaan eri tavalla, joten jokainen kerrostunniste on uniikki. Useamman kuin 7 bitin tunniste ei ole tarpeellinen, sillä korkeissa rakennuksissa pitkien ajomatkojen hisseillä ajetaan pidempiä matkoja kerralla. Tyypillisesti rakennuksissa on yksi hissiryhmä, joka palvelee alempia kerroksia ja pitkien ajomatkojen hissi palvelee vain ylempiä kerroksia. Mikäli pitkien ajomatkojen hisseillä pysähdyttäisiin joka kerroksessa, matka kestäisi monta kertaa kauemmin.





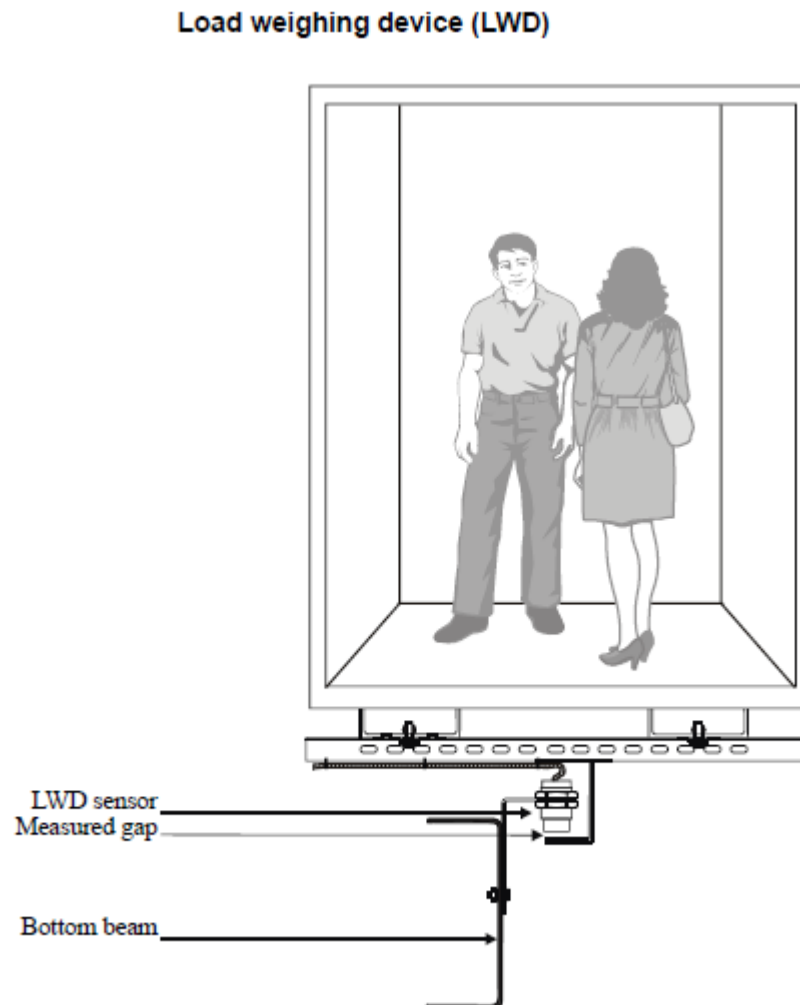
KUVA 9. Paikannusjärjestelmän lukija vasemmalla ja kerrostunniste oikealla  
(KONE koulutusmateriaali)

Korin saapuessa tasolle, ensimmäisenä reagoi 61-signaali. Tämän jälkeen hissi aloittaa hitaan tarkkuusasetuksen, jotta ensin signaali 30 ja lopuksi 30I aktivoituvat. Kun kaikki signaalit ovat aktivoituneina, kori saa tiedon, että ovet voi avata. Signaali 30 tarkoittaa, että kori on lähellä tasoa. 30I tarkoittaa, että kori on täydellisesti tason kohdalla. Mikäli signaali 30I katkeaa ovien ollessa auki, hissi suorittaa tarkkuusasetuksen, jotta kori tulisi takaisin tasolle. Mikäli signaali 30 katkeaa, kori sulkee ovet ja tämän jälkeen hissi suorittaa tarkkuusasetuksen.

## 2.9 Vaaka

Kuva 10 esittää korin alla sijaitsevan vaa'an toimintaperiaatteen: Vaaka mittaa korissa olevaa painoa induktiivisella sensorilla. Vaakatiedon avulla lasketaan oikea momentti moottorille, jotta lähtö tapahtuisi mahdollisimman tasaisesti. Jos koriin tulee lisää painoa, korin alla sijaitsevat neljä jouta painuvat kasaan, jolloin sensori välittää tiedon konehuoneeseen, että momenttia vaaditaan lisää.

Vaaka tulee kalibroida hissien asennuksen yhteydessä. Tämä tapahtuu asettamalla tietty paino koriin, jolloin ohjauskaapissa sijaitsevalle logiikalle kerrotaan, paljonko kuormaa on korissa. Kalibrointi suoritetaan tyhjällä korilla, puolella kuormalla sekä täydellä kuormalla (KONE koulutusmateriaali).



KUVA 10. Vaa'an toimintaperiaate (KONE koulutusmateriaali, muokattu)

### 3 MITTAUKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

#### 3.1 Haasteen kuvaus

Pitkien ajomatkojen hisseissä on haasteena köysien venymä kuorman muuttuessa nopeasti korissa. Tällainen tilanne syntyy esimerkiksi ihmisjoukon siirtyessä koriin. Tilanne on pahimmillaan, kun köysipituus on maksimissaan, eli korin ollessa alimmalla mahdollisella tasolla.

Massamuutoksesta johtuen köydet venyvät hetkellisesti, jolloin kori liikkuu tasolta ylös- tai alaspäin. Kynnysrako hankaloittaa ihmisten kulkua koriin ja pahimmillaan voi aiheuttaa kompastumisen tai kaatumisen, joten rako ei saa kasvaa liian suureksi. Lisäksi myös hissistandardissa EN81-1 on määrätty, ettei kynnysrako saa kasvaa liian suureksi.

#### 3.2 Mittauksen kulku

Haasteeseen paneuduttiin suorittamalla tarkkuusasetuksen systemaattista testausta sekä korin paikan mittausta useiden ajosyklien ajan. Konehuoneessa sijaitsevasta ohjauskaapista vaihdettiin hissien ohjauksen sisäisiä parametreja, joilla määritetään milloin ja miten hissi suorittaa tarkkuusasetuksen.

Mittauksen aikana tietoa kerättiin tietokoneella, jolla luettiin useita eri signaaleja samanaikaisesti ohjauskaapilta ja taajuusmuuttajalta (Tiedonkeräysohjelmiston käyttöopas). Kaikki mittaustulokset analysoitiin, jonka jälkeen tehtiin suunnitelmat seuraaville mittauksille, joten mittaukset kestivät kaikkiaan useita kuukausia. Alussa mittauksia suoritettiin yksittäisinä kokeiluina, mutta kokeilujen jälkeen kaikki mittaukset suoritettiin samalla syklillä: Hissi ajettiin aina alimmasta kerroksesta ylimpään ja sitten takaisin, jotta kaikki mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia ja lähtökohta sama. Tähän sykliin päädyttiin, koska suoritettaessa useampi mittaus ilman väliajoa, on mahdollista, ettei hissi palaudu täydellisesti samaan lähtötilanteeseen.

Myös ohjauslogiikan kanssa esiintyi haasteita: Mikäli hissi yritti suorittaa useita tarkkuusasetuksia ilman väliajoa, se antoi komennon, että tarkkuusasetus tulee suorittaa ovet suljettuna. Kyseinen tilanne pilasi mittauksen, sillä kuormamuutoksen simulointi ei onnistu mikäli korin ovet ovat suljettuina. Logiikkaan ei kuitenkaan tehty muutosta tältä

osin, sillä logiikan kannalta tällaisessa tilanteessa tapahtuu turvavirhe. Kaikki muutokset turvakomponentteihin vaativat hyväksynnän viranomaisilta. Mittausten aikana logiikan mahdollisen turvavirheen huomioiminen vaati huomattavasti vähemmän resursseja kuin muutosten hyväksyntäprosessi, joten toimenpiteisiin ei ryhdytty.

### 3.3 Kuormamuutoksen simulointi

Suurimpana haasteena ennen mittausten aloittamista oli kuorman muutoksen simulointi: Jokainen tilanne piti saada lähtökohtaisesti täydellisen vertailukelpoiseksi muiden mittausten kanssa. Ensimmäisenä ideana oli käyttää henkilöitä simuloinnissa: Samat henkilöt menisivät samassa järjestyksessä koriin, ja tarkkuusasetuksen jälkeen poistuisivat sieltä samassa järjestyksessä. Idea kumottiin, sillä mittaustulos ei olisi tarpeeksi tarkka analysoitavaksi, koska henkilöt eivät pystyisi menemään koriin joka kerta samalla tavalla.

Systemaattisen kuormanmuutoksen aikaansaamiseksi päätettiin kehittää mekaaninen laite, jolla pystyttäisiin simuloimaan ihmisten liikettä toistettavasti. Laitteen tärkeimpänä ominaisuutena oli suorittaa kuormanmuutos pykälittäin, jotta tilanne saataisiin realistisemmaksi. Jokaisen pykälän tulee olla saman painoinen ja se pitää saada siirrettyä samassa ajassa koriin, kuin vastaava määrä ihmisiä menisi koriin. Näiden ominaisuuksien lisäksi laitteen piti toimia molempiin suuntiin: Koria kuormatessa se painuu alaspäin, ja kuorman poistuessa se nousee ylöspäin. Kun laitteen vaatimukset saatiin selville, esiin nousi useita ideoita kyseisen laitteen toteutukseen ja näistä valittiin kuvan 11 mukainen rullakko.



KUVA 11. Kuormamuutokseen käytetty rullakko

Toteutettu rullakko on peruseriaanteeltaan iso kehikko, johon on tehty neljä erillistä pienempää kehikkoa sisään. Sisäiset kehikot mitoitettiin niin, että niihin saatiin mahtumaan 1-2 henkilön verran painoa jokaiselle akselille, joten tarpeen tullen massaa pystyttiin säätämään. Kuvassa 12 näkyy tilanne, jossa jokaisella akselilla on yksi 80 kg keltainen testipaino.

Ulkoinen kehikko on yksi suuri kokonaisuus, jonka päätehtävä on pitää sisäiset kehikot pystyssä ja oikeilla paikoilla. Sisäiset kehikot eivät ole erikseen kiinnitettyinä ulkoiseen kehikkoon, vaan ne kulkevat vapaasti urissaan. Tämä mahdollistaa kaikkien neljän akselin itsenäisen pystysuuntaisen liikkumisen, jolloin yhden akselin liike ei vaikuta toisten akselien toimintaan.

Rullakko kulkee suurten pyörien varassa, joten mikäli kori ei ole tasolla, se pääsee silti sujuvasti matalan kynnyksen yli. Testilaitteessa kaikki akselit ovat yhtä kaukana toisistaan ja saman painoisia. Akselit ovat kiinteitä eivätkä käänny, joten rullakon siirtelyyn esimerkiksi varastointia varten käytettiin pumppukärryä. Testikäytön jälkeen todettiin, että rullakolla pystyy suorittamaan kuormanmuutoksen toistettavasti ja luotettavasti, ja se päätettiin ottaa käyttöön mittauksissa.



KUVA 12. Rullakon siirtelyyn käytettiin pumppukärryä. Jokaisella akselilla on yksi 80 kg testipaino

### 3.4 Tarkkuusasetuksen tärkeimmät signaalit

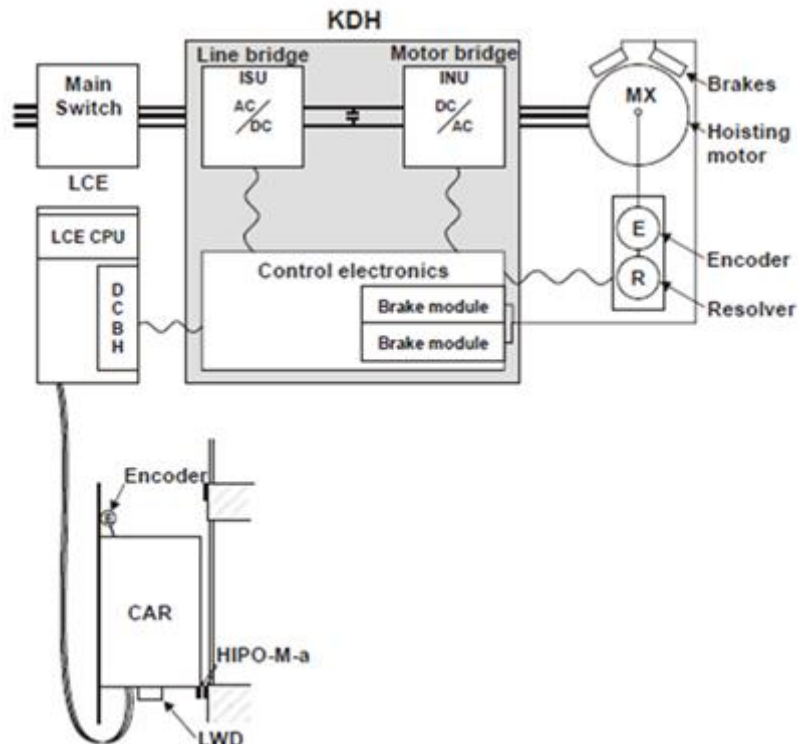
Taulukossa 2 on listattuna tärkeimmät signaalit, joita käytetään tarkkuusasetuksen yhteydessä. Kuvasta 13 selviää signaalien kulku hissijärjestelmässä.

TAULUKKO 2. Tarkkuusasetuksen tärkeimmät signaalit

Korilta tulevat tiedot	Selitys
Vaakatieto	Sopiva momentti tarkkuusasetukselle kuorman muuttuessa jatkuvasti
Paikannusjärjestelmän signaalit	61U, 61N, 30 ja 30I
Korin enkooderitieto	Kuinka paljon kori liikkuu kuormanmuutoksen aikana

Moottorilta tulevat tiedot	Selitys
Moottorin enkooderitieto	Kun verrataan korin enkooderitietoa moottorin enkooderitietoon, nähdään köysien venymä
Resolveritieto	Resolveritiedosta on nähtävissä missä asennossa staattori on suhteessa roottoriin. Mikäli roottori ei ole täydellisesti magneettien kohdalla, voi se aiheuttaa pienen pudotuksen tai nousun jarrujen avauksen yhteydessä
Jarrutieto	Ovatko jarrut kiinni vai auki



KUVA 13. Hissin tärkeimmät signaalitiedot (KONE koulutusmateriaali)

### 3.5 Säädettävät parametrit

Pitkien ajomatkojen hisseissä on tietyt oletusarvoiset parametrit, joiden vaikutusta tässä tutkimuksessa lähdettiin selvittämään. Systemaattisen testauksen kautta tavoiteltiin tarkkuusasetuksen tehokkaampaa toimintaa. Vaikka moottori on PI-säädetty, ei I-elimeen kannata tehdä muutoksia, koska sen reagointinopeus on niin hidas, ettei se muuta tilannetta. Osa parametreista koostuu kahdesta alaparametrasta. Näillä alaparametreilla on eri arvot, mutta molemmat vaikuttavat kyseiseen toimintoon. Tarkkuusasetuksen kannalta tärkeimpiä parametreja on viisi, jotka ovat listattuna taulukkoon 3.

TAULUKKO 3. Säädettävät parametrit

Parametrin nimi	Selitys
Stop Condition	Tarkkuusasetuksen pysäytysehto: Tämä parametri määrittää, koska tarkkuusasetus tulee lopettaa ja hissi pysähtyy. Parametrin ensimmäinen osa säättää etäisyyttä tasoon nähden ja toinen osa kertoo kuinka kauan korin tulee olla paikallaan, jotta tarkkuusasetus lopetetaan.
Start Condition	Tarkkuusasetuksen aloitusehto: Parametri määrittää, koska tarkkuusasetus tulee aloittaa. Ensimmäinen osa kertoo kuinka kaukana korin tulee olla tasosta nähden ja toinen osio kertoo miten kauan sen tulee olla tämän alueen ulkopuolella, jotta tarkkuusasetus käynnistyy.
Releveling speed	Tarkkuusasetuksen ajonopeus: Parametri säättää tarkkuusasetuksen aikaisen ajonopeuden, joka on hyvin pieni normaali- tai huoltoajonopeuteen verrattuna, tyypillisesti muutamia senttimetrejä sekunnissa.
Start delay	Lähtöviive: Ohjauslogiikan luoma viive, jonka hissi aina odottaa lähtökäskyn jälkeen ennen virran kytkemistä pääkontaktorille.
ABB 121.33	Taajuusmuuttajan nopeussäätäjän vahvistus (P-säätöelin)

## 4 KEHITYSTYÖN TULOKSET

### 4.1 Testituloksien tulkitseminen

Testauksen tavoitteena oli saada kuormanmuutoksessa tapahtuva korin liike 30 % pienemmäksi. Käytännössä tätä ilmiötä voitiin analysoida ohjauskaapille tulevista moottorin sekä korin enkooderitiedoista. Nämä kaksi signaalia ovat esitettyinä kuvissa 14 - 21. Mittauksen yhteydessä kerättiin muutakin tietoa, mutta nämä kaksi tietoa ovat kaikkein havainnollistavimmat tilanteesta.

Tämän luvun kuvissa mittaustulokset ovat esitettyinä samassa mittakaavassa, joten ne ovat vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Useimmissa kuvissa on myös esitettyinä lähtökohta, joka on merkitty kuvaan sisäviitteellä numero 1.

Mittauksia suoritettiin yhteensä 133 kappaletta, joista jokainen analysoitiin ja tulokset kirjattiin ylös. Mittaukset suoritettiin ryhmissä. Ennen jokaista mittaussarjaa parametrin vaihdon jälkeen muut, paitsi tutkittava parametri, asetettiin takaisin lähtöarvoihin. Tällöin pystyttiin tuloksista näkemään yksittäisen parametrin vaikutus. Viimeisimmissä testeissä muutettiin useampia parametreja kerralla, koska haluttiin testata parhaiksi todettujen vaihtoehtojen yhteistoimintaa. Kaikki mittaukset suoritettiin samalla syklillä ja samalla kuormanmuutokseen käytettävällä massalla, joten tulokset ovat vertailukelpoisia.

Mittaukset jaettiin 5-10 kappaleen ryhmiin, ja näistä tuloksista saatiin tietää kaikkien yksittäisten mittausten aikana ilmennyt korin liike. Yksittäisistä mittauksista pystyttiin laskemaan korin liikkeen keskiarvo kyseisillä parametrien muutoksilla. Keskiarvo tuli laskea, sillä useasti mittaussarjassa oli jokin muista merkittävästi poikkeava yksilö joukossa. Keskiarvon avulla pystyttiin toteamaan, autoiko parametrin muutos. Jotkin muutoksista kasvattivat korin liikettä ja toisten vaikutus oli hyvin minimaalista.



Kehitystyön tavoitteena oli saada kynnysrako pysymään mahdollisimman pienenä, joten tulosten tulkitsemisessa auttaa tieto, että mitä pienempi vertailulukuarvo on, sitä pienempi korin liike on ollut. Toisin sanoen, mikäli luku on positiivinen, on kori tehnyt suuremman liikkeen tasoon nähden kuin alkuperäisillä parametreilla. Taulukossa 4 on esitettyä muutama kaavalla 1 laskettu esimerkki, jotka selventävät testitulosten tulkin-  
taa.

$$Muutos = \frac{\text{Mittauksen keskiarvo} - \text{lähtökohtainen keskiarvo}}{\text{Lähtökohtainen keskiarvo}} \cdot 100\% \quad (1)$$

TAULUKKO 4. Esimerkkejä testituloksista

<b>Esimerkki mittauksen keskiarvosta</b>	<b>Selitys</b>
- 5 %	Korin liike tasoon nähden on <b>pienentynyt vähän</b> .
- 20 %	Korin liike tasoon nähden on <b>pienentynyt merkittävästi</b> (hyvä tulos).
+5 %	Korin liike tasoon nähden on <b>kasvanut vähän</b> .
+20 %	Korin liike tasoon nähden on <b>kasvanut merkittävästi</b> .

Tässä luvussa esitetyt kuvaajat on valittu mittausten joukosta niin, että ne ovat mahdollisimman vastaavia huippuarvoiltaan kuin työssä esitetty keskiarvo ja täten havainnollistavat mahdolliset parametrien vaikutukset.

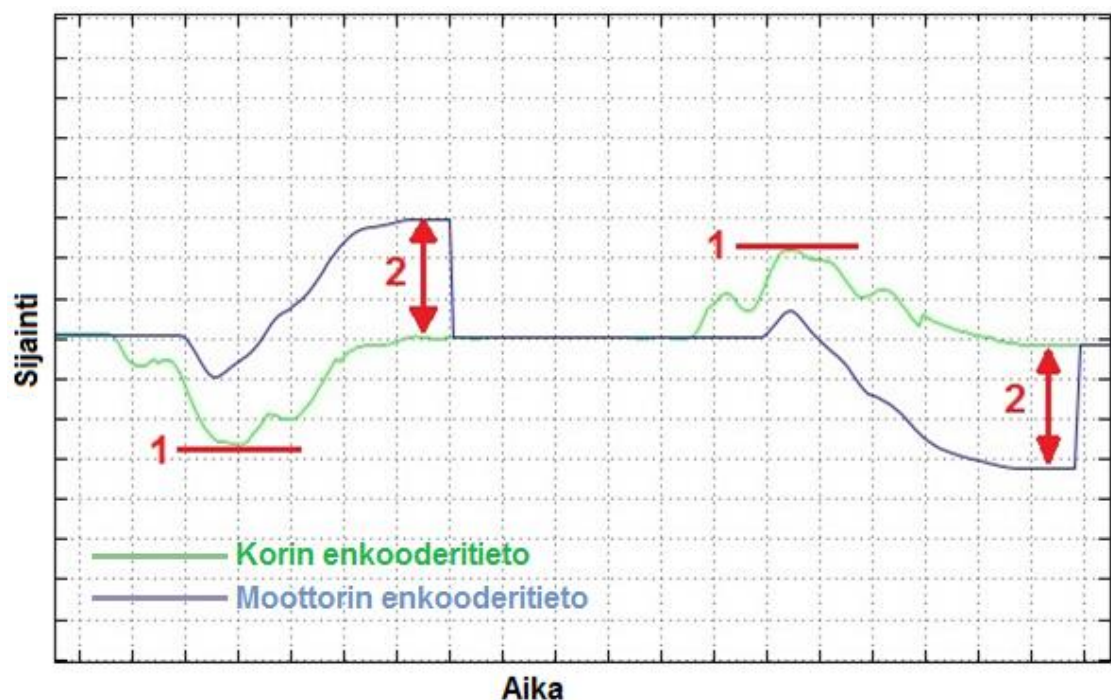
## 4.2 Lähtötilanne

Kuvassa 14 on esitetty alkuperäisillä parametreilla suoritettun mittauksen kuvaaja. Tämä kuvaaja sekä kaikkien lähtöarvomittausten keskiarvo toimivat tässä työssä vertailukoh-  
tana. Lähtöarvomittauksia suoritettiin 10 kappaletta.

Kuvaajassa vihreä signaali on hissien korin enkooderitiedon perusteella laskema korin sijainti. Sininen signaali kuvaa vetopyörän liikettä, jonka hissi laskee moottorin enkoo-  
deritiedosta.

Kuvaajassa yhtenä tärkeimmistä tiedoista on punaisen viivan kohdalla sijaitseva huippu-  
arvo, jonka vieressä on sisäviite 1 kuvassa 14. Toisin sanoen huippuarvo on kohta, mis-  
sä kori on kauimpana tasosta. Sisäviite 2 kuvassa 14 puolestaan havainnollistaa eroa  
sijaintitiedoissa: Konehuoneessa tapahtuva liike eroaa korilla tapahtuvasta liikkeestä.  
Käytännössä tämä tarkoittaa köysien joustoa.

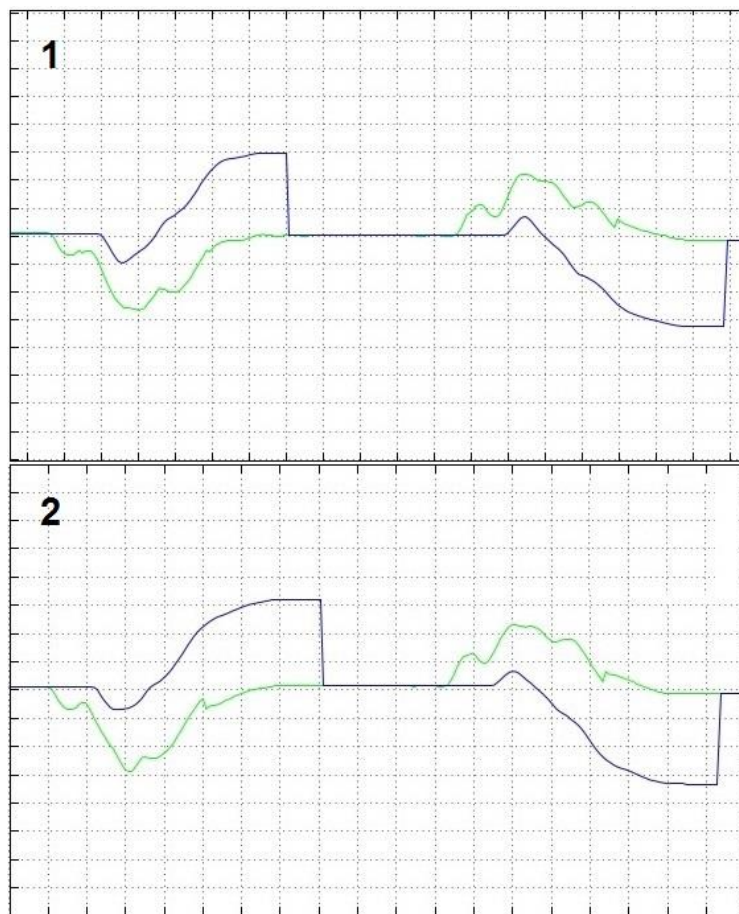
Korisignaaliissa esiintyvät pykälät johtuvat kuormamuutokseen käytetyn rullakon aihe-  
uttamasta massan muutoksesta. Lähtötilannekuvassa toisen ja kolmannen pykälän eroa  
on vaikea erottaa, sillä moottori aloittaa juuri korin nostamisen tai laskemisen rullakon  
kolmannen akselin tullessa sisään tai poistuessa korista.



KUVA 14. Alkuperäisillä arvoilla suoritettu mittaus

### 4.3 Lähtöviive

Kuvassa 15 on esitettyä kuvaaja lähtöviiveen pienentämisestä sekä vertailukohtana lähtöarvoilla suoritettu mittausta. Teoriassa, pienentämällä lähtöviivettä, moottorin pitäisi reagoida nopeammin mahdollisesti muuttuvaan tilanteeseen. Kuvasta 15 on nähtävissä moottorin enkooderitiedossa, että moottori reagoi nopeammin tarkkuusasetuksen aloituksessa, etenkin rullakon mennessä sisään. Käytännössä tämä tarkoittaa, ettei korin liikkeen pitäisi olla kovin suurta, mutta siitä huolimatta taulukon 5 mukaisten mittaustulosten perusteella ero tällä parametrimuutoksella on hyvin minimaalinen.



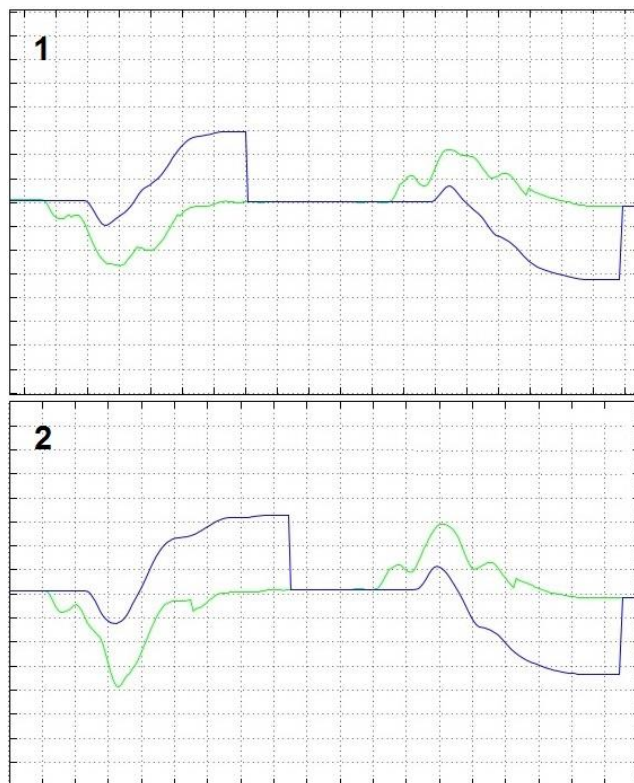
KUVA 15. Lähtöviiveen vaikutuksen vertailu lähtöarvoihin.

TAULUKKO 5. Lähtöviiveen vaikutus.

Kuvan sisäviite	Parametri	Parametrin muutos	Korin etäisyyden muutos	
			Kuorma sisään	Kuorma ulos
1	Lähtökohta			
2	Start delay	-40 %	-2,4 %	+1,8 %

#### 4.4 Tarkkuusasetuksen ajonopeus

Tarkkuusasetuksen ajonopeus on hyvin pieni verrattuna huoltoajonopeuteen (tyypillisesti 0,3 m/s) tai normaaliin ajonopeuteen, joka on esimerkiksi pitkien ajomatkojen hisseissä 10 m/s. Kuvasta 16 on nähtävissä molemmista enkooderitiedoista, että parametrimuutoksen jälkeen tarkkuusasetuksen aikana korin lasku tai nosto tapahtuu huomattavasti nopeammalla liikkeellä. Taulukossa 6 esitettyjen tulosten perusteella suurin etäisyys tasosta kuitenkin kasvoi, joten tämän parametrin kasvattaminen ainakaan yksinään ei ole kannattavaa tarkkuusasetuksen kannalta.



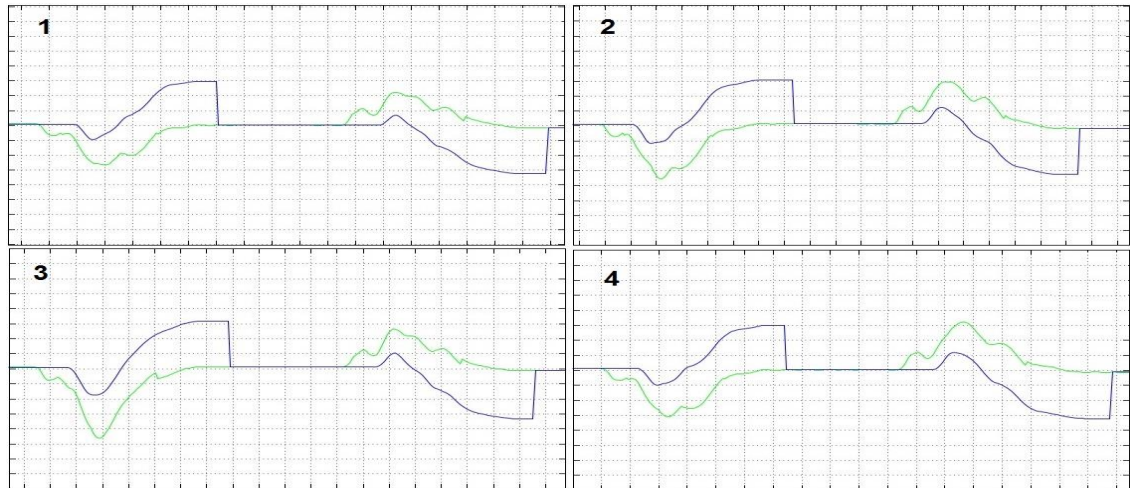
KUVA 16. Ajonopeuden kasvattamisen vaikutus verrattuna lähtökohtaan

TAULUKKO 6. Ajonopeuden kasvatuksen tulokset

Kuvan sisäviite	Parametri	Parametrin muutos	Korin etäisyyden muutos	
			Kuorma sisään	Kuorma ulos
1	Lähtökohta			
2	Releveling speed	+50 %	+32,4 %	+29,8 %

#### 4.5 Tarkkuusasetuksen aloitusehto

Vaihdettaessa aloitusehtoa tulee ottaa huomioon, että parametri on kaksiosainen. Ensimmäinen osa säättää etäisyyttä tasosta: Paikannusjärjestelmä pystyy kertomaan korin enkooderitiedosta kuinka kaukana kori on tasosta. Mikäli arvoksi asetettaisiin nolla, toimisi tarkkuusasetus pelkästään magneettisten anturien signaalin perusteella.



KUVA 17. Aloitusehtojen vaikutus eri parametreilla

Parametrin toinen osa säättää aikaa, eli kuinka pitkään korin tulee olla parametrin ensimmäisen osan määrittämän alueen ulkopuolella ennen kuin tarkkuusasetus käynnistyy. Mittausten aikana syntyi monta kertaa tilanne, että hissien ohjauslogiikka halusi turvallisuussyistä suorittaa tarkkuusasetuksen ovien ollessa kiinni. Tämä tapahtui, jos esimerkiksi aloitusehdon arvot olivat hyvin pienet. Tällöin tarkkuusasetuskäskyjä tuli useita peräkkäin, joten hissien ohjausjärjestelmä luuli, että jotain on vialla. Kuvasta 17 on nähtävissä, että aloitusetäisyyden pienentäminen ja käynnistysajan lyhentäminen saa hissien reagoimaan nopeammin alkavaan tarkkuusasetustilanteeseen, mutta siitä huolimatta mittaustulosten perusteella korin liike kasvoi, kuten taulukosta 7 on nähtävissä.

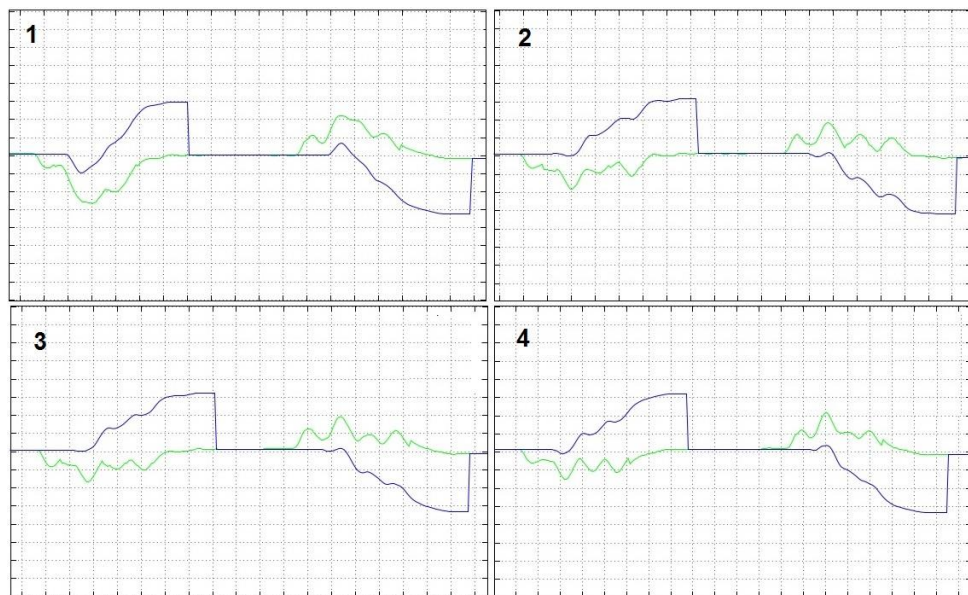
TAULUKKO 7. Aloitusehtoparametrin vaikutus

Kuvan sisäviite	Parametrin muutos		Korin etäisyyden muutos	
	Etäisyys tasosta	Aika	Kuorma sisään	Kuorma ulos
1	Lähtökohta			
2	-100 %	-100 %	+20,1 %	+31,6 %
3	-15 %	-40 %	+61,3 %	+15,1 %
4	-15 %	0 %	+11,9 %	+35,1 %

#### 4.6 Nopeussäätäjän vahvistus

Tässä tutkimuksessa selvitettiin myös PI-tyyppisen nopeussäätäjän P-termin vaikutusta, joka määrittää kuinka voimakkaasti moottoriohjaus reagoi erosuureeseen. Vahvistamalla nopeussäätäjää moottori siis reagoi nopeammin mahdollisiin muutoksiin (Hietalahti, 2012, 120). Tämä on nähtävissä kuvasta 18, jossa on lähtökohdan lisäksi kolme eri kuvaajaa nopeussäätäjän vahvistuksen jälkeen.

Kuvaajista on suoraan nähtävissä, että moottori reagoi hyvin nopeasti muutoksiin ja pystyy pitämään korin liikkeen huomattavasti paljon tasaisempana kuin lähtöarvoilla. Verrattaessa aikaisempiin parametrien muutoksiin on myös nähtävissä, että moottori ehtii reagoimaan selkeästi toisen ja kolmannen akselin tullessa koriin ja poistuessa korista. Kuvassa 18 sijaitsevista kuvaajista 2-4 näkee selkeästi rullakon aiheuttamat pykäliät. Taulukossa 8 esitettyjen mittaustulosten perusteella nopeussäätäjän vahvistamisella oli suurin ero yksittäisenä parametrina lähtökohtaan nähden.



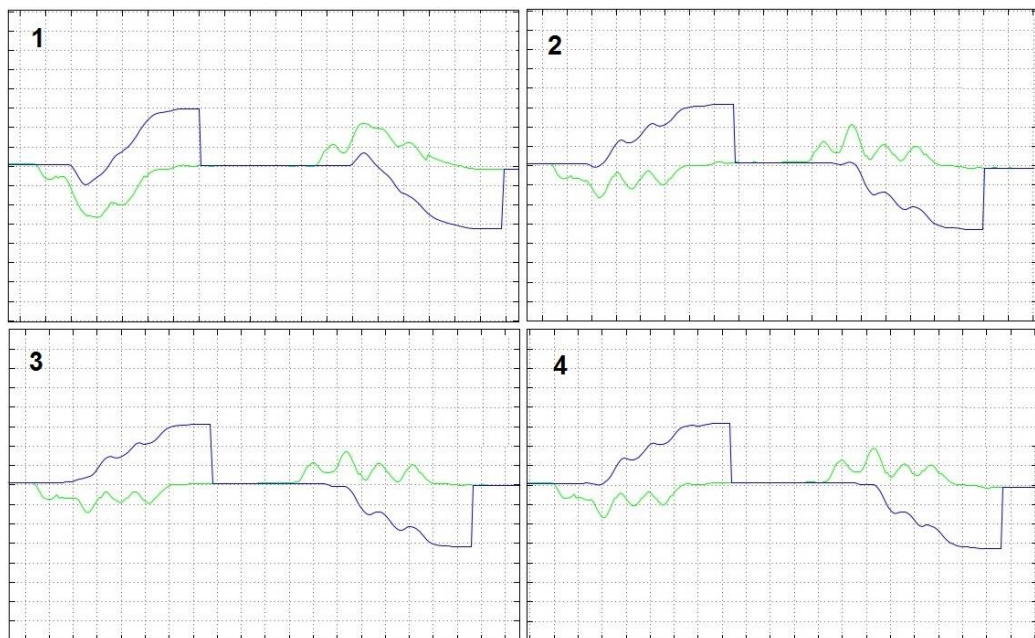
KUVA 18. Nopeussäätäjän vahvistuksen vaikutukset

TAULUKKO 8. Nopeussäätäjän vahvistuksen vaikutus

Kuvan sisäviite	Vahvistuksen muutos	Korin etäisyyden muutos	
		Kuorma sisään	Kuorma ulos
1		Lähtökohta	
2	+100 %	-37,2 %	-14,0 %
3	+200 %	-39,9 %	-14,0 %
4	+300 %	-44,7 %	-17,5 %

#### 4.7 Nopeussäätäjän vahvistus sekä tarkkuusasetuksen ajonopeuden säätö

Kuvassa 19 esitetyt kuvaajat 2-4 ovat yhdistelmiä, joissa on vahvistettu nopeussäätäjää sekä kasvatettu tarkkuusasetuksen ajonopeutta. Kuvaajat 2-4 ovat likipitään identtisiä, mutta tarkemman tarkastelun ja analysoinnin jälkeen on mittaustuloksissa havaittavia eroja. Kuvaajassa 3 esitetyn kokeen parametriyhdistelmä, jossa nopeussäätäjän vahvistusta on lisätty 300 % sekä ajonopeutta kasvatettu 100 %, osoittautui yhdeksi parhaimmista mittausten aikana: Kori tekee hyvin minimaalista liikettä alkuperäiseen verrattaessa, sekä moottori ehtii reagoida ennen jokaista massan muutosta. Tämän mittauksen tulokset ovat esitettyinä taulukossa 9, jossa on lihavoituna yksi parhaimmista parametriyhdistelmistä, eli kuvaaja 3.



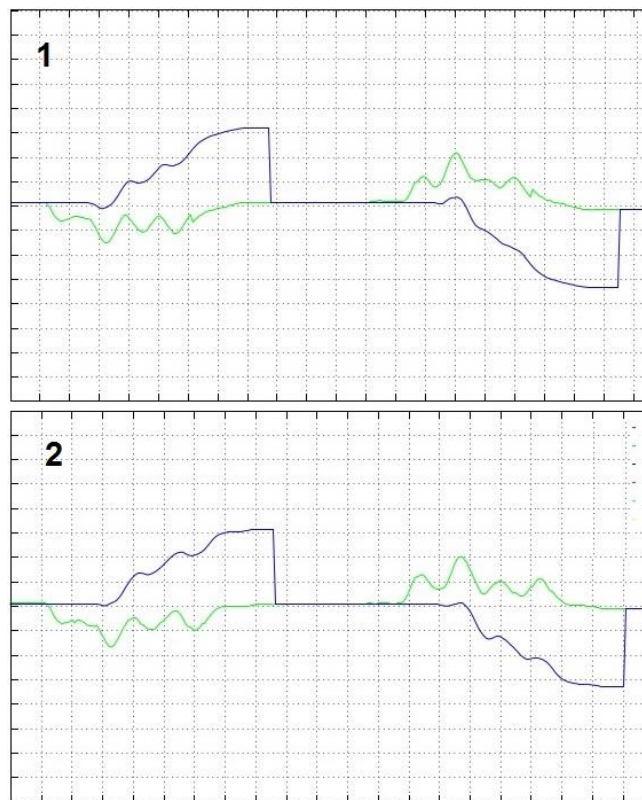
KUVA 19. Nopeussäätäjän vahvistuksen sekä ajonopeuden kasvattamisen yhdistelmät

TAULUKKO 9. Nopeussäätäjän vahvistuksen ja tarkkuusasetuksen ajonopeuden yhteisvaikutus

Kuvan sisäviite	Nopeussäätäjän vahvistus (muutos)	Releveling speed (muutos)	Korin etäisyyden muutos	
			Kuorma sisään	Kuorma ulos
1	Lähtökohta			
2	+300 %	+50 %	-44,0 %	-7,9 %
<b>3</b>	<b>+300 %</b>	<b>+100 %</b>	<b>-44,0 %</b>	<b>-22,8 %</b>
4	+300 %	+150 %	-44,0 %	-16,7 %

#### 4.8 Nopeussäätäjän vahvistus sekä korin enkooderin siirtäminen

Mittausten aikana kokeiltiin myös siirtää korin enkooderin paikkaa. Enkooderi on tavallisesti kiinnitettynä korikehykseen. Myös itse kori, missä tavarat ja ihmiset kulkevat, on kiinnitettynä korikehykseen, mutta se lepää pienten jousten päällä. Kehitystyön aikana havahduttiin, että enkooderin sijainti saattaa vaikuttaa tuloksiin, koska tähän asti oli mitattu korikehyksen liikettä, eikä itse korin. Enkooderi siirrettiin niin, että se oli kiinnitettynä koriin, eikä korikehykseen, ja suoritettiin vertailumittaus. Nopeussäätäjän vahvistusta kasvatettiin 300 %, ja kuten on nähtävissä kuvassa 20 sijaitsevista kuvaajista 1 ja 2 sekä taulukosta 10, enkooderin siirtämisellä oli niin pieni vaikutus, että voitiin todeta mittaustulosten olevan tarkkoja enkooderin sijainnista riippumatta.



KUVA 20. Enkooderin siirtämisen vaikutus

TAULUKKO 10. Enkooderin siirron vaikutus

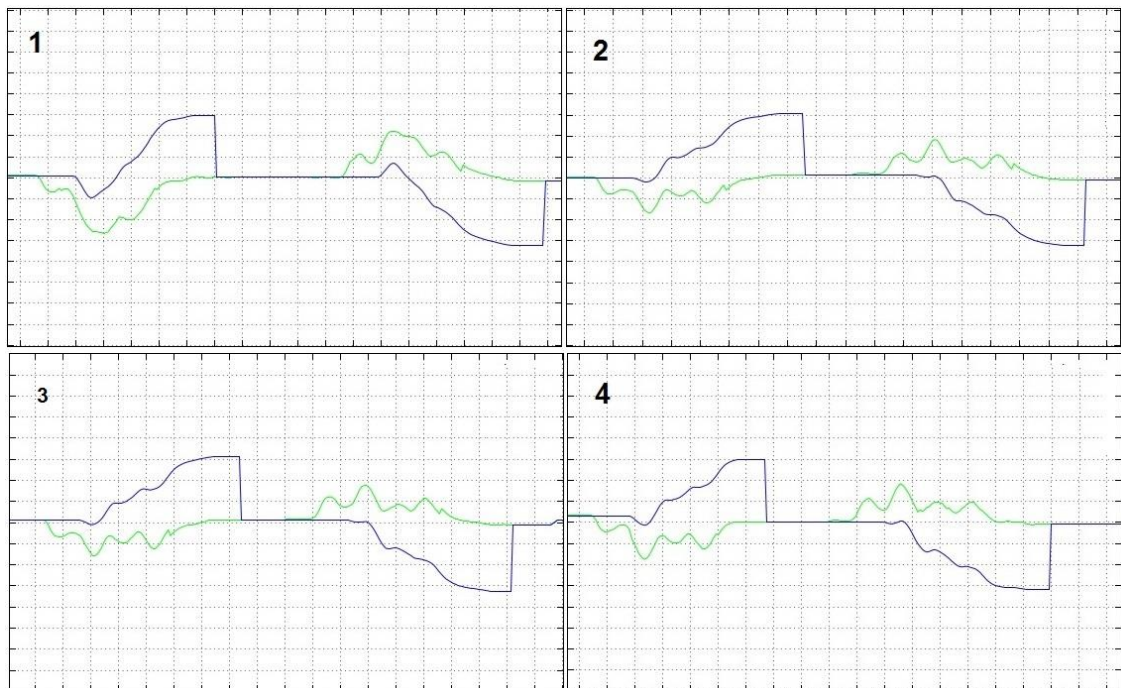
Kuvan sisäviite	Parametri	Parametrin muutos	Korin etäisyyden muutos	
			Kuorma sisään	Kuorma ulos
1	Nopeussäätäjän vahvistus	+300 %	-44,7 %	-17,5 %
2	Nopeussäätäjän vahvistus + enkooderi kiinnitetty eri kohtaan	+300 %	-42,7 %	-14,0 %



#### 4.9 Usean parametrin samanaikainen säätö

Pysäytysehtoa, samoin kuin aloitusehtoa, säädetään kahdessa osassa. Parametrin ensimmäinen osa määrittää, kuinka lähellä tasoa korin tulee olla, jotta tarkkuusasetus lopeetaan. Parametrin toinen osa kertoo kuinka pitkään korin tulee olla ensimmäisen parametrin etäisyydellä tasosta.

Kuvan 21 kuvaajat 2-4 ovat hyvin lähellä identtisiä. Hissin käyttäytyminen näissä koikeissa muistuttaa myös hyvin tarkasti kuvassa 19 esitettyjä testejä, joissa vahvistettiin nopeussäätäjää sekä kasvatettiin tarkkuusasetuksen ajonopeutta. Suurimpana erona verrattuna kuvaan 19 on mittaustuloksissa tilanne, jossa rullakko tulee pois korista: Kori tekee huomattavasti pienempää liikettä.



KUVA 21. Usean parametrin vaihdon vaikutukset

Kuvan 21 kuvaaja 3 on tämän tutkimuksen parhaiten onnistunut parametriasettelu. Kuvaajassa 3 olevan mittauksen parametrimuutokset: Vahvistettu nopeussäätäjää +100 %, pysäytysehdon etäisyyttä on kasvatettu +200 % sekä aikaa +5 %, tarkkuusasetuksen ajonopeutta kasvatettiin +50 % ja lähtöviivettä pienennetty -40 %. Taulukossa 11 on esitettyinä näiden parametrimuutosten tulokset, joista kolmas kuvaaja on lihavoituna, sillä se on kaikkien mittausten parhaiten onnistunut parametrijhdistelmä.

TAULUKKO 11. Usean parametrin vaihdon vaikutus

Kuvan sisäviite	Parametri					Korin etäisyyden muutos	
	Nopeussäätäjän vahvistus	Stop condition		Releveling speed	Start delay	Kuorma sisään	Kuorma ulos
		Etäisyys	Aika				
1	Lähtökohta						
2	+100 %	+100 %	+5 %	+50 %	-40 %	-42,0 %	-20,2 %
<b>3</b>	<b>+100 %</b>	<b>+200 %</b>	<b>+5 %</b>	<b>+50 %</b>	<b>-40 %</b>	<b>-42,0 %</b>	<b>-28,9 %</b>
4	+100 %	+400 %	+5 %	+50 %	-40 %	-32,4 %	-21,1 %

#### 4.10 Tulosten vertailu

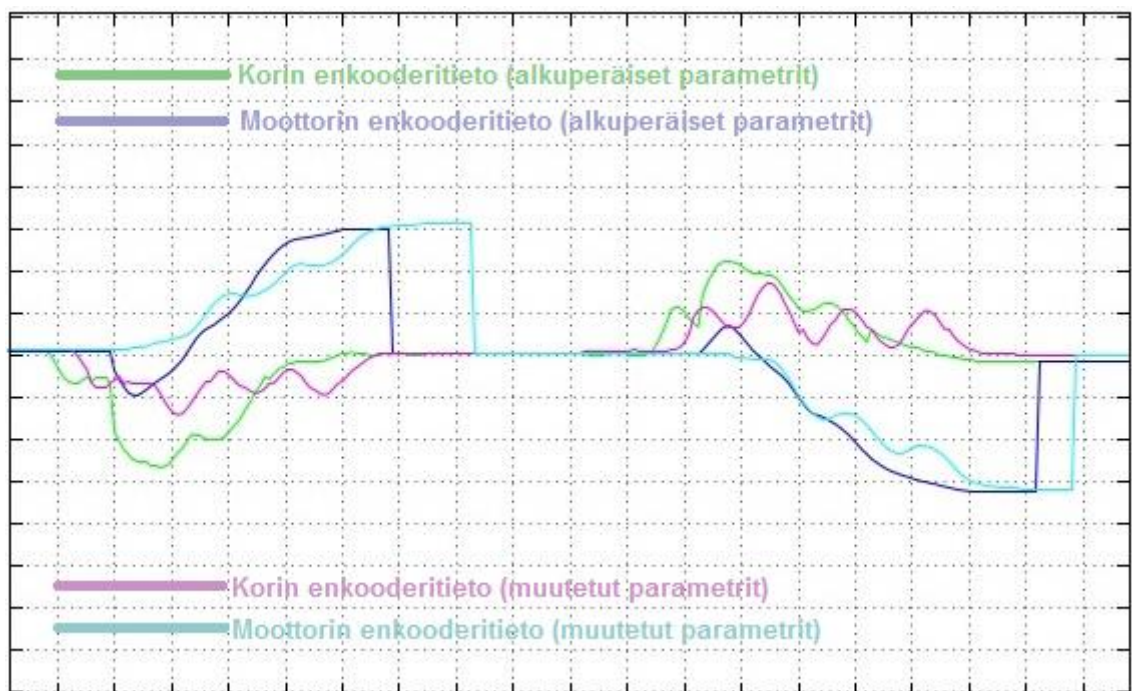
Taulukossa 12 on esitetty kaikkien mittausryhmien suhteelliset tulokset sekä muutokset alkuperäisiin parametrien arvoihin nähden. Tuloksista on selvästi huomattavissa, että säätämällä nopeussäätäjän vahvistusta saadaan parhaimpia tuloksia aikaan. Tämän lisäksi kasvattamalla tarkkuusajon ajonopeutta ja pysäytysehtoa, sekä pienentämällä lähtöviivettä tulokset paranevat entisestään. Käynnistysehdoilla ei ollut positiivista vaikutusta näissä mittauksissa.

Kaikkien mittausten keskiarvallisesti parhaat tulokset on merkitty taulukkoon 12 punaisella värillä. Kuvaan 22 on yhdistetty alkuperäisillä parametrien arvoilla suoritettu tarkkuusasetus ja toinen kuvaaja on yksi onnistuneimmista yhdistelmistä, eli nopeussäätäjän vahvistus +300 % sekä tarkkuusasetuksen ajonopeus +100 %.

TAULUKKO 12. Kaikki tulokset, punaiset arvot ovat parhaiten onnistuneet.

Pysäytysehto		Aloitusehto		Asetuksen ajonopeus	Lähtö- viive	Nopeussäätäjän vahvistus	Ero sisään	Ero ulos
Etäisyys	Aika	Etäisyys	Aika					
0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
					-40 %		-2,4 %	1,8 %
				50 %			32,4 %	29,8 %
		-100 %	-100 %				20,1 %	31,6 %
		-15 %	-40 %				61,3 %	15,1 %
		-15 %	0 %				11,9 %	35,1 %
						+100 %	-37,2 %	-14,0 %
						+200 %	-39,9 %	-14,0 %
						+300 %	-44,7 %	-17,5 %
				50 %		+300 %	-44,0 %	-7,9 %
				100 %		+300 %	-44,0 %	-22,8 %
				150 %		+300 %	-44,0 %	-16,7 %
						+300 %	-42,7 %	-14,0 %
0 %	0 %			50 %	-40 %	+100 %	-41,3 %	-22,8 %
100 %	5 %			50 %	-40 %	+100 %	-42,0 %	-20,2 %
200 %	5 %			50 %	-40 %	+100 %	-42,0 %	-28,9 %
300 %	5 %			50 %	-40 %	+100 %	-38,6 %	-30,7 %
400 %	5 %			50 %	-40 %	+100 %	-32,4 %	-21,1 %

Kuvan 22 signaaleista vihreä signaali kuvaa korin sijaintia alkuperäisillä parametreilla ja violetti signaali kuvaa korin sijaintia muutetuilla parametreilla. Vastaavasti tummansininen signaali kuvaa moottorin sijaintitieto alkuperäisillä parametreilla ja vaaleansininen signaali kuvaa muutetuilla parametreilla. Kuvasta on selkeästi erotettavissa, että parametrien vaihdolla on merkittävä parannus tarkkuusasetukseen. Moottori reagoi huomattavasti aikaisemmin ja aloittaa nostamisen paljon aikaisemmin ja nopeammin. Korin liikkeestä on huomattavissa, että se tekee tasaisempaa liikettä ja reagoi jokaisen rullakon aiheuttaman pykälän välissä. Tarkkuusasetus myös loppuu aikaisemmin, mikä säästää pitkässä juoksussa taajuusmuuttajaa ja moottoria.



KUVA 22. Alkutilanteen ja lopputilanteen ero.

## 5 POHDINTA

Tarkkuusasetusta tutkittaessa tulee ottaa paljon asioita huomioon ja kerättyä tietoa pitää tulkita oikein. Näistä syistä johtuen mittausten aloitus olikin haastavaa: Testien mittausyksi piti määrittää, ohjelmistot eivät ole helppokäyttöisiä, kuormanmuutokseen käytettävä simulaattori piti suunnitella ja toteuttaa, sekä yleinen testisuunnitelma piti määrittää. Mittausten alussa huomattiin, että pienilläkin parametrien muutoksilla saattoi olla hyvin merkittäviä eroja alkuperäisiin asetuksiin verrattuna. Tämän vuoksi mittauksia piti suorittaa useita samoilla parametreilla, koska samoillakin parametreilla yleensä joukkoon eksyi tuloksia jotka poikkesivat toisista huomattavasti.

Jokaisen pitkän ajomatkan hissin välillä on kuitenkin eroja, joten jokaiseen tulee asettaa uniikit arvot. Tässä työssä tutkittiin parametrien vaikutuksia, ja haettiin parasta mahdollista yhdistelmää kyseiselle hissityypille. Tämän työn tuloksista on nähtävissä, mitä parametreja tulee säätää haettaessa parempaa tarkkuusasetuksen suorituskykyä alkuperäiseen nähden. Tarkkuusasetustilanteeseen vaadittua nostotyötä on todella vaikea määrittää laskennallisesti, koska tilanteeseen vaikuttaa vaa'alta tuleva tieto tarvittavaan moottorin momenttiin, nostoköysien sekä vaa'an jousivakiot ja koriin menevä massa.

Nykypäivänä kaupunkien keskustat ovat rakennettu täyteen jokaista neliötä myöten, joten lisärakentamisen suunta on ylöspäin. Näihin korkeisiin rakennuksiin tullaan asentamaan pitkien ajomatkojen hissejä, joten on tärkeää, että tarkkuusasetus tapahtuu nopeasti eikä aiheuta epämukavuutta matkustajille. Tarkkuusasetustilannetta voitaisiin korjata erillisillä komponenteilla, mutta sähkökäytön optimoimisella saadaan erittäin hyviä tuloksia aikaiseksi ja ennen kaikkea optimoimisessa säädetään vain parametreja, joten se on myös kustannustehokas parannus eikä vaadi rakenteellisia muutoksia.

Sähkökäytön optimointi säädetään myös hissin komponentteja pitkällä aikavälillä. Optimoitu tarkkuusasetustilanne on ajallisesti lyhyempi, joten se säästää taajuusmuuttajaa ja moottoria, ja tuottaa vähemmän käsiteltävää dataa logiikalle. On myös tärkeää komponenttien kestävyys kannalta, että tarkkuusasetustilanne suoritetaan yhdellä syklillä: Mikäli hissi väärin parametrien vuoksi reagoi liian nopeasti, ehtii tarkkuusasetus keskeytyä tilanteen aikana, jolloin jarrut menevät päälle ja pääkontaktori ei vedä.

Mittausten aikana kuormanmuutoksen simulointiin käytetty suunniteltu rullakko osoitautui niin toimivaksi, että siitä päätettiin tehdä virallinen testauslaite tarkkuusasetustilannetta tutkittaessa.

Taulukossa 13 on esitettyä tämän opinnäytetyön asetettu tavoite sekä parhaan parametrijohdistelmän keskiarvo. Mittauksia ja parametrien muutoksilla saatuja tuloksia voidaan pitää onnistuneina, koska parhaalla johdistelmällä liikettä saatiin 42 % pienemmäksi työntäessä rullakko koriin ja 28,9 % pienemmäksi vedettäessä rullakko korista.

TAULUKKO 13. Yhteenveto tutkimuksen onnistumisesta.

Asetettu tavoite	-30 %
Parhaan parametrijohdistelmän keskiarvo	-35,5 %

## LÄHTEET

Heidenhain ERN/ECN/EQN 400 Series (enkooderin datalehti), 2014. Ei saatavilla julkisesti.

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. 1. painos, Tammertekniikka

Hietalahti, L. 2012. Säädetty sähkömoottorikäytöt. 1. painos, Tammertekniikka

KDL32 Data Logging Guide (tiedonkeräysohjelmiston käyttöopas), 9.7.2008. Ei saatavilla julkisesti.

KONE Oyj, KONE Minispace with 1.6 KDH Drive (KONE koulutusmateriaali), 9.5.2005. Ei saatavilla julkisesti.

KONE Oyj, Tuotekehitys: yleiskuva hissistä (kuva 1), 12.3.2015. Ei saatavilla julkisesti.

KONE Oyj, Yleistietoja. Luettu 26.3.2015.  
<http://www.kone.com/fi/yhtio/kone-lyhyesti/>

NEN-EN 81-20 hissistandardi, 1. painos, 2011.

SFS-EN 81-1 hissistandardi, 2. painos, 1998.

Smartsyn Signlsyn resolvers (resolverin datalehti), 2008. Ei saatavilla julkisesti.

**LIITTEET**

Liite 1. Mittauspöytäkirja



Mittauksen numero	Pysäytysehto		Aloitusehto		Tarkkuusasetuksen ajonopeus	Lähtöviive	ABB 121.33
	Etäisyys	Aika	Etäisyys	Aika			
Lähtöarvot	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
2	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
3	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
4	0 %	1 %					
5	0 %	99 %					
6	100 %	0 %					
7	1000 %	0 %					
8	100 %	99 %					
9	500 %	50 %					
10	1000 %	1 %					
11			0 %	0 %			
12			-85 %	-80 %			
13			-85 %	100 %			
14			-29 %	560 %			
15			43 %	1220 %			
16			43 %	1880 %			
17			-14 %	560 %			
18			-14 %	100 %			
19			-29 %	100 %			
20			-29 %	300 %			
21			-29 %	600 %			
22			-14 %	1100 %			
23			-43 %	200 %			

Mittauksen numero	Pysäytysehto		Aloitusehto		Tarkkuusasetuksen ajonopeus	Lähtöviive	ABB 121.33
	Etäisyys	Aika	Etäisyys	Aika			
<b>Mittaukset 24-33: Lähtöarvomittaukset 350-tasolla</b>							
24	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							

**Mittaukset 34-38: Lähtöarvomittaukset 200-tasolla**

34	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
35							
36							
37							
38							

**Mittaukset 39-43: Alkuperäisillä parametreilla mitattu, tiedonkeruuhjelman parametreja vaihdettu**

39	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
40							
41							
42							
43							

Mittauksen numero	Pysäytysehto		Aloitusehto		Tarkkuusasetuksen ajonopeus	Lähtöviive	ABB 121.33
	Etäisyys	Aika	Etäisyys	Aika			
44	0 %	0 %	-14 %	0 %	0 %	0 %	0 %
45			-14 %	0 %			
46			-14 %	0 %			
47			-14 %	0 %			
48			-14 %	0 %			
49	0 %	0 %	-14 %	-40 %	0 %	0 %	0 %
50			-14 %	-40 %			
51			-14 %	-40 %			
52			-14 %	-40 %			
53			-14 %	-40 %			
54	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	-40 %	0 %
55						-40 %	
56						-40 %	
57						-40 %	
58						-40 %	
59						-40 %	
60						-40 %	
61						-40 %	
62						-40 %	
63						-40 %	

Mittauksen numero	Pysäytysehto Etäisyys	Aika	Aloitusehto Etäisyys	Aika	Tarkkuusasetuksen ajonopeus	Lähtöviive	ABB 121.33
64	0 %	0 %	0 %	0 %	50 %	0 %	0 %
65					50 %		
66					50 %		
67					50 %		
68					50 %		
69					50 %		
70					50 %		
71					50 %		
72					50 %		
73					50 %		
74	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	300 %
75							300 %
76							300 %
77							300 %
78							300 %
79	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %
80							100 %
81							100 %
82							100 %
83							100 %

Mittauksen numero	Pysäytysehto		Aloitusehto		Tarkkuusasetuksen ajonopeus	Lähtöviive	ABB 121.33
	Etäisyys	Aika	Etäisyys	Aika			
84	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	200 %
85							200 %
86							200 %
87							200 %
88							200 %

89	0 %	0 %	0 %	0 %	50 %	0 %	300 %
90					50 %		300 %
91					50 %		300 %
92					50 %		300 %
93					50 %		300 %

94	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %	0 %	300 %
95					100 %		300 %
96					100 %		300 %
97					100 %		300 %
98					100 %		300 %

99	0 %	0 %	0 %	0 %	150 %	0 %	300 %
100					150 %		300 %
101					150 %		300 %
102					150 %		300 %
103					150 %		300 %

Mittauksen numero	Pysäytysehto		Aloitusehto		Tarkkuusasetuksen ajonopeus	Lähtöviive	ABB 121.33
	Etäisyys	Aika	Etäisyys	Aika			
<b>Mittaukset 104-108: Nopeussäätäjän vahvistus sekä enkooderin siirto</b>							
104	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	300 %
105							300 %
106							300 %
107							300 %
108							300 %

109	0 %	0 %	0 %	0 %	50 %	-40 %	100 %
110					50 %	-40 %	100 %
111					50 %	-40 %	100 %
112					50 %	-40 %	100 %
113					50 %	-40 %	100 %

114	100 %	5 %	0 %	0 %	50 %	-40 %	100 %
115	100 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
116	100 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
117	100 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
118	100 %	5 %			50 %	-40 %	100 %

**Mittaukset 119-123: Tutkimuksen parhaiten onnistunut parametriyhdistelmä**

119	200 %	5 %	0 %	0 %	50 %	-40 %	100 %
120	200 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
121	200 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
122	200 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
123	200 %	5 %			50 %	-40 %	100 %

Mittauksen numero	Pysäytysehto		Aloitusehto		Tarkkuusasetuksen ajonopeus	Lähtöviive	ABB 121.33
	Etäisyys	Aika	Etäisyys	Aika			
124	300 %	5 %	0 %	0 %	50 %	-40 %	100 %
125	300 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
126	300 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
127	300 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
128	300 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
129	400 %	5 %	0 %	0 %	50 %	-40 %	100 %
130	400 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
131	400 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
132	400 %	5 %			50 %	-40 %	100 %
133	400 %	5 %			50 %	-40 %	100 %