

Ville Tiljander

HISSIEN JOHTEIDEN SAUMAKOHTIEN SUUNTAUSVIRHEIDEN IDENTIFIOIMINEN MITTAUSDATASTA

Manuaalisen laskennan automatisoiminen
verkkosovellukseksi triaksiaalisen kiihtyvyyssanturin
mittausdatasta

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Prof. Veli-Pekka Pyrhönen
Maaliskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Ville Tiljander: Hissien johteiden saumakohtien suuntausvirheiden identifiointi mittausdatasta
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Automaatiotekniikka
Maaliskuu 2022

Tässä kandidaatintyössä toteutetaan verkkosovellukselle ohjelmointirajapinta hissien vastapainon johteiden saumakohtien suuntausvirheistä johtuvien ääniongelmien automaattista identifiointia varten KONE Oyj:lle. Työssä tutkitaan johteiden rakenteita ja niiden saumakohtien suuntausvirheistä johtuvien ääniongelmien vaikutuksista rakennukseen ja hissikoriin. Lisäksi esitellään toteutetun verkkosovelluksen ohjelmointirajapinta ja käytännön testitapauksesta saadut tulokset.

Työssä tutustutaan EVA-625-mittauslaitteeseen (engl. Elevator Vibration Analysis system) ja sen valmistajan tarjoamaan mittausdatan analysointityökaluun. Analysointityökalu on kätevä mittausten yleiseen analysointiin, mutta sillä on hankala havaita tiettyjä yksittäisiä ongelmia. Tämän vuoksi työssä kehitetään vastapainon johteiden välisten saumakohtien suuntausvirheiden identifiointiin verkkosovelluksen ohjelmointirajapinta. Sen avulla voidaan nopeasti ja automaattisesti analysoida mittausdataa mahdollisten johteiden välisten saumakohtien suuntausvirheiden varalta, jotka ovat yksi yleisimmistä hissien ajomukavuuteen vaikuttavista ongelmista.

Identifiointisovellus analysoi käyttäjän lataamasta mittausdatasta ja hissien tiedoista vastapainon johteiden välisten saumakohtien sijainnit. Saumakohtien sijaintien ja mittausdatan avulla identifiointisovellus suorittaa analyysin mahdollisista ääniongelmista. Sovelluksen ohjelmointirajapinta tarjoaa kuvaajan tehdystä analyysistä, tiedon liukukenkäohjaimien saumakohtien ylittämiskohdistaan JSON-muodossa (engl. JavaScript Object Notation) ja analyysin ääniongelmista kertoen suuntausvirheellisten saumakohtien sijainnit.

Kehitettyä identifiointisovellusta testattiin Hyvinkäällä KONE Oyj:n testihissi Päärinällä. Siihen aiheutettiin keinotekoisesti suuntausvirhe vastapainon johteiden väliseen saumakohtaan. Mittauksia suoritettiin ilman suuntausvirhettä sekä pienellä ja suurella suuntausvirheellä. Pienellä suuntausvirheellä identifiointisovelluksen analyysi ei löytänyt suuntausvirhettä, mutta suurella suuntausvirheellä aiheutettu virhe löytyi äänitason noususta. Sovelluksen analyysin lisäksi kuvaajasta pystyy silmämääräisesti analysoimaan nouseeko äänentaso lähellä saumakohtia.

Avainsanat: Hissi, johde, ohjelmistokehitys, kiihtyvyyssanturi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Johdanto | 1 |
| 2. | Hissin rakenne ja ongelman tausta | 2 |
| 2.1 | Hissin ajomukavuus. | 2 |
| 2.2 | Rakennusakustiikka. | 3 |
| 2.3 | Hissin perusrakenne | 4 |
| 2.4 | Johteiden rakenne | 6 |
| 2.5 | Johteiden kiinnitys hissikuiluun | 7 |
| 2.6 | Johteiden saumakohtat | 8 |
| 2.7 | Saumakohtan ääniongelmat | 9 |
| 3. | Mittausdata ja aineistot | 13 |
| 3.1 | Mittauslaite ja analysointisovellus | 13 |
| 3.2 | Mittausdata ja EVA-analysointisovellus | 14 |
| 3.3 | Mittausanturin tarkkuus | 18 |
| 3.4 | Muut aineistot | 19 |
| 4. | Ääni ongelmien identifiointisovellus. | 20 |
| 4.1 | Sovelluksen vaatimukset ja toiminnallisuus | 20 |
| 4.2 | Kiihtyvyyssdatan käsittely | 21 |
| 4.3 | Käyttötapaukset | 21 |
| 4.4 | Toimintakaavio. | 22 |
| 4.5 | Ohjelmointirajapinnan ulostulo | 24 |
| 5. | Sovelluksen toimivuuden validointi. | 26 |
| 5.1 | Mittausympäristö | 27 |
| 5.2 | Tulokset ja havainnot | 28 |
| 6. | Yhteenveto | 35 |
| | Lähteet | 37 |

KUVALUETTELO

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Ihmiskehon resonanssitaajuudet | 3 |
| 2.2 | Hissikuilu ja tärkeimmät komponentit | 4 |
| 2.3 | T-profiilin johde | 6 |
| 2.4 | T-profiilisen johteen dimensiot | 6 |
| 2.5 | Johdekiinnikkeiden kiinnitys johteeseen | 8 |
| 2.6 | Johdejatkoslevyn dimensiot | 8 |
| 2.7 | Johdejatkoslevyn virheellinen asennus | 10 |
| 2.8 | Liukukenkäohjaimien sijainnit vastapainossa | 11 |
| 2.9 | Esimerkki liukukenkäohjaimesta | 11 |
| 3.1 | EVA-mittalaite | 13 |
| 3.2 | EVA analysointisovellus | 14 |
| 3.3 | Mittausdatan kiihtyvyyssä | 15 |
| 3.4 | Mittausdatan nopeuskäyrä | 16 |
| 3.5 | Mittausdatan paikkakäyrä | 17 |
| 3.6 | Mittausdatan äänikäyrä | 18 |
| 4.1 | Käyttötapauskaavio | 22 |
| 4.2 | Toimintakaavio | 23 |
| 4.3 | Esimerkki sovelluksen kuvaajasta | 24 |
| 4.4 | Ohjelmointirajapinnan JSON-rakenne | 25 |
| 5.1 | Vastapainon johteen ääniongelmia suhteessa hissikoriin | 26 |
| 5.2 | Mittalaitteen asettelu hissiin | 27 |
| 5.3 | Verrokkimittaus nopeudella $1.75 \frac{m}{s}$ | 28 |
| 5.4 | Verrokkimittaus nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$ | 29 |
| 5.5 | Sovelluksen kuvaaja nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$ verrokkimittauksessa | 29 |
| 5.6 | Ohjelmointirajapinnan JSON-tiedosto verrokkimittauksella | 30 |
| 5.7 | Pienen suuntausvirheen data nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$ | 31 |
| 5.8 | Sovelluksen kuvaaja nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$ pienellä suuntausvirheellä | 31 |
| 5.9 | Suuren suuntausvirheen data nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$ | 32 |
| 5.10 | Sovelluksen kuvaaja nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$ suurella suuntausvirheellä | 33 |
| 5.11 | Ohjelmointirajapinnan JSON-tiedosto suurella suuntausvirheellä | 34 |

TAULUKKOLUETTELO

| | | |
|-----|--|---|
| 2.1 | ISO 7645:n mukaiset johteiden dimensiot | 7 |
| 2.2 | ISO 7645:n mukaiset johdejatkoslevyjen dimensiot | 9 |

LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|--------|---|
| dB (A) | Desibeli, äänenvoimakkuuden ja melutason mittausyksikkö, joka on A-suodatettu |
| EVA | Hissin värinäanalyysi (engl. Elevator Vibration Analysis) |
| FFT | Nopea Fourier'n muunnos (engl. Fast Fourier Transform) |
| ISO | Kansainvälinen standardointiorganisaatio |
| JSON | Avoimen standardin tiedostomuoto tiedonvälitykseen (engl. JavaScript Object Notation) |
| PMT | Physical Measurement Technologies, Inc. |
| WHO | Maailman terveysjärjestö (engl. World Health Organisation) |

1. JOHDANTO

Teknologisen kehityksen myötä hissien ajomukavuus on parantunut ja hissien aiheuttama meteli ympäröivään rakennukseen on vähentynyt huomattavasti. Kuitenkin hissien toimilaitteiden lisääntyessä, ääni- ja värinäongelmien identifiointi vaikeutuu, kun ongelmien mahdolliset lähteet lisääntyvät. Mahdollisia ongelmataajuuksia varten joudutaan komponenttikohtaisesti laskemaan harmonisia ja lineaarisia taajuuksia, joten ongelmien identifiointi on hidasta ja kallista, kun ongelman löytäminen vaatii enemmän mittauksia ja työtunteja. Ongelmien identifiointi nopeutuu, jos yleisimmille ongelmille kehitetään helppokäyttöiset ja kaikille saatavissa olevat työkalut. Sopivilla työkaluilla voidaan nopeasti selvittää tai poissulkea erilaisia ongelmakokonaisuuksia.

Tämän työn tarkoituksena on kehittää ja esitellä verkkosovelluksen ohjelmointirajapinta KONE Oyj:lle, jolla identifioidaan hissien vastapainoa ohjaavien johteiden saumakohtien mahdollisia suuntausvirheitä. Johteiden saumakohtien suuntausongelmat voivat aiheuttaa hissikorin äkillisiä nykäyksiä, värinää ja äänentason nousuja hissikuilussa. Erityisesti äänentason äkillinen muutos on ongelmallinen, mikäli se kuuluu selkeästi hissikoriin ajonaikana tai hissikuilun ympärillä oleviin rakennuksen tiloihin. Lisäksi työssä esitellään hissien perustoiminta, johteiden rakenne ja yleisimmät syyt johteiden saumakohtaisista aiheutuville ääni- ja ajomukavuusongelmille.

Luvussa 2 käydään läpi hissien ja johteiden rakennetta sekä kuinka johteiden saumakohtien suuntausvirheet vaikuttavat hissien ajomukavuuteen. Kolmannessa luvussa esitellään käytetyt mittalaitteet, mittausdata sekä käytetyt aineistot. Luvussa kerrotaan myös kiihtyvyyssanturin tarkkuuteen liittyvistä ominaisuuksista ja virhelähteistä. Neljännessä luvussa esitellään kehitetyn verkkosovelluksen ohjelmointirajapinta, toteutetun algoritmin ja laskennan menetelmät, käyttötapaukset sekä yleinen toiminta. Viidennessä luvussa testataan toteutettua verkkosovellusta testitapauksella, jossa hissiin on keinotekoisesti aiheutettu vastapainon johteiden välisen saumakohtaisen suuntausvirhe. Tämän lisäksi luvussa tehdään havaintoja mittausdatasta, tarkastellaan verkkosovelluksen tuloksia ja kerrotaan mittaajan kokemuksia ajosta.

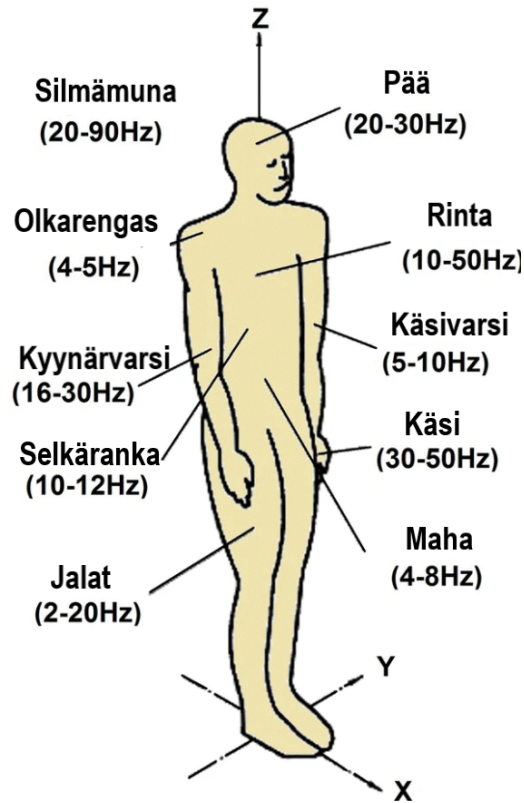
2. HISSIN RAKENNE JA ONGELMAN TAUSTA

Hissi on nostolaite, jolla siirretään taakkoja pystysuuntaisesti. Hissejä käytetään lukuisiin eri tarkoituksiin, kuten painavien taakkojen siirtoon kerrosten välillä, liikuttamaan ihmisvirtoja mahdollisimman tehokkaasti ja mahdollistamaan esteetön liikkuminen rakennusten kerrosten välillä, minkä vuoksi malleja on monia erilaisia. Erilaisista malleista huolimatta hissien perusrakenne pysyy samana. Erot mallien välillä koostuvat usein komponenttien ja toimilaitteiden koon ja laatuluokan muuttumisena. Hisseissä voi myös olla lisäominaisuuksia, jotka lisäävät toimilaitteiden määrää vakiovarustuksen lisäksi. Hissien valmistuksessa otetaan huomioon asiakkaan vaatimukset, jotka myös vaikuttavat hissien rakenteen monimutkaisuuteen. Näitä vaatimuksia ovat hissien nopeus, tilavuus, sulava liike, energiatehokkuus, massan nostokyky, äänitaso, esteettömyyden takaavat lisälaitteet, kuten ääniohjaus sekä visuaaliset mukavuuselementit.

2.1 Hissin ajomukavuus

Teknologisen kehityksen vuoksi hissien valmistuksessa korostuu hissien ajomukavuus. Siinä otetaan huomioon hissikoriin kohdistunut värinä, nykäykset ja hissisysteemissä tapahtuneet äänet. Ajomukavuuden parantamisella saavutetaan laadullisesti kestäviä energiatehokkaita ratkaisuja, joissa toimilaitteiden komponentit eivät rasitu yllättävistä nykäyksistä ja värinästä. [1]

Hissien käyttäjien näkökulmasta hissien värinä, värinä ja heiluminen voivat vaikuttaa ajomukavuuteen negatiivisesti. Ihmiskeho on herkkä matalille taajuuksille, sillä ihmisen keho ja elimet alkavat harmonisoimaan. Kuvassa 2.1 on esitetty ihmiskehon eri elinten resonanssitaajuuksia.



Kuva 2.1. Ihmiskehon resonanssitaajuudet [2, s. 378]

Kuvasta huomataan, että ihmiskeho reagoi vahvasti mataliin taajuuksiin, joten matalia ongelmataajuuksia on tärkeää vähentää. Yllättävät kolaukset ja liiallinen hissikorin tärinä voivat myös luoda pelokkuuden tunteita sekä epäluottamusta hissien toimintaan. Tämän takia on tärkeää, että hissi liikkuu sulavasti eikä pidä liian suurta ääntä.

Esiteltujen näkökulmien perusteella on tärkeää kiinnittää huomiota hissien mukavuuteen monesta eri näkökulmasta. Tämän takia hissien jokaisen komponentin oikea toiminta korostuu, ja täten myös ongelmallisten äänten ja tärinän tehokkaan identifioinnin merkitys kasvaa.

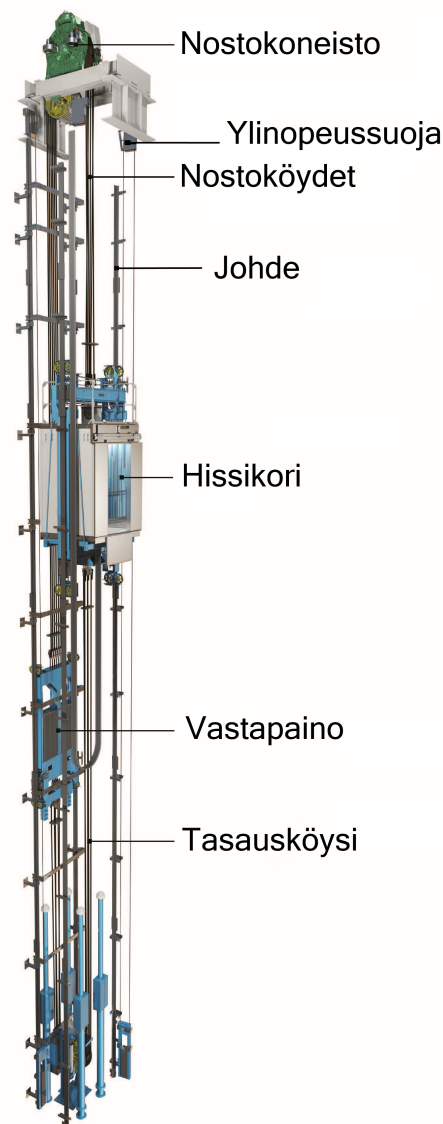
2.2 Rakennusakustiikka

Rakennuksen näkökulmasta on tärkeää kiinnittää huomiota hissien aiheuttamaan äänentason. Erityisesti moottorin asettelu ja eristäminen sekä johteiden saumakohtien ylittäminen sulavasti ovat tärkeitä ominaisuuksia. Moottorin liike tai sen komponenteista johtuva ääni ja liiallinen värähtely voivat aiheuttaa haitallista taustameteliä asuintiloihin. Myös hissikoria ja vastapainoa johteilla pitävät liukukenkäohjaimet voivat tömähtää suuntausvirheellisten johteiden välisiin saumakohtiin aiheuttaen suuria äänitason nousuja. Esimerkiksi rakennuksissa äänekäs hissi laskee huoneistojen arvoa, jos haitallinen ääni kuuluu huoneistoihin.

Myös maailman terveysjärjestön eli WHO (engl. World Health Organisation) määrittelee asuinrakennusten melutasoja. WHO suosittelee, että nukkumatiiloissa oleva jatkuva taustamelu ei saisi ylittää 30 dB (A):ä (Desibeli, äänenvoimakkuuden ja melutason mitausyksikkö, joka on A-suodatettu), eikä yksittäisten äänien melutaso saisi ylittää 45 dB (A):ä. Näillä melutasoilla varmistetaan tarpeeksi hyvät yöunet, joilla ihminen pysyy hyvinvoivana niin fyysisesti kuin henkisesti. [3, s. 9]

2.3 Hissin perusrakenne

Hissisysteemit koostuvat lukuisista mekaanisista komponenteista, hissikuilun rakenteellisista kokonaisuuksista sekä sähkö- ja logiikkayksiköistä. Tyypillisen hissikuilun rakenne ja komponentit on esitetty kuvassa 2.2.



Kuva 2.2. Hissikuilu ja tärkeimmät komponentit

Hissikori koostuu korista ja kehikosta, jotka on eristetty toisistaan jousilla. Hissikorin eristäminen kehikosta vaimentaa hissisysteemin liikkeessä tapahtuvaa tärinää ja ääniä, jolloin matkustaminen on mukavampaa. Hissikori kulkee johteita pitkin rulla- tai liukukenkäohjaimien avulla, jotta kori pysyy oikeassa asennossa ajon aikana. Vastapaino puolestaan on hissikuilussa sijaitseva massa, joka liikkuu päinvastaiseen suuntaan kuin hissikori. Tämä vähentää hissikoneiston tekemää työtä ja vähentää energiankulutusta. Vastapaino kulkee omia johteita pitkin samalla tavalla kuin hissikori.

Hissin nostokoneisto puolestaan liikuttaa nostoköysiä invertterin pulssinleveysmodulaation ohjauksen avulla, jotta hissien kiihdytys saadaan tasaiseksi. Nostokoneisto voi sijaita omassa konehuoneessaan tai modernien hissien tapauksissa suoraan hissikuilussa. Konehuoneettomat hissit ovat yleistymässä, sillä ne ovat energiatehokkaampia verrattuna konehuoneellisiin versioihin koneiston erilaisen asemoinnin vuoksi, jonka myötä koneistoon ei kohdistu vääntömomenttia [4].

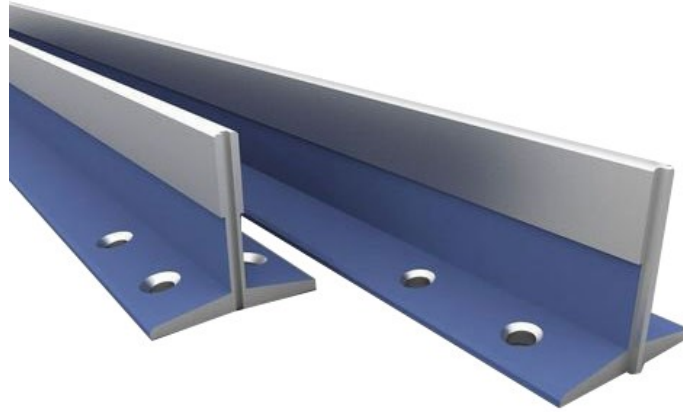
Nostoköydet liikuttavat hissikoria ja vastapainoa moottorin välityksellä. Köydet koostuvat teräksisistä säikeistä ja joko kuitu- tai teräsytimeistä. Usein käytetään myös taittopyöriä taljasuhteen saamiseksi moottorin ja taakkojen välille. Ne mahdollistavat suurempien taakkojen nostamisen.

Ylinopeussuoja on turvallisuuskomponentti mahdollisia virhetilanteita varten. Sen toiminta perustuu sensoriin, joka laukaisee hätäjarrun hissikorin vauhdin ylittäessä liian suuren nimellinopeuden. Tasausköydellä säilytetään hissikorin ja vastapainon välinen tasapaino.

Johteet ovat hissikorin ohjainkiskoja, joiden avulla hissi liikkuu tasaisesti pystysuuntaan. Johdesysteemi koostuu itse johteesta, niiden johdekiinnikkeistä sekä johdejatkolevyistä, joilla johteet kiinnitetään toisiinsa.

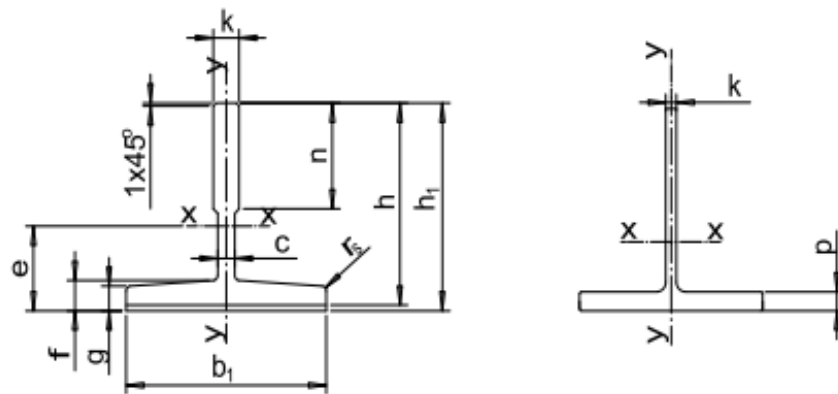
2.4 Johteiden rakenne

Hisseissä käytetään useita erilaisia johteita. Yleisin niistä on T-profiilin johde, joka on esitetty kuvassa 2.2.



Kuva 2.3. T-profiilinen johde

T-profiilin johteiden dimensiot vaihtelevat käyttökohteiden mukaan. Ne ovat määriteltä ISO 7465 -standardin [5] mukaan. Kuvassa 2.4 vasemmalla on esitetty T-profiilin dimensiot suurille johteille ja oikealla puolella pienille johteille.



Kuva 2.4. T-profiilisen johteen dimensiot [6]

Taulukossa 2.1 on esitetty standardin mukaiset mitat eri kokoisille johteille sekä niiden toleranssit johteiden kokojen mukaan. Johteita on käytössä myös taulukossa esitetyn standardin ulkopuolelta, mutta suurin osa käytössä olevista johteista on ISO 7645 -standardin mukaisia.

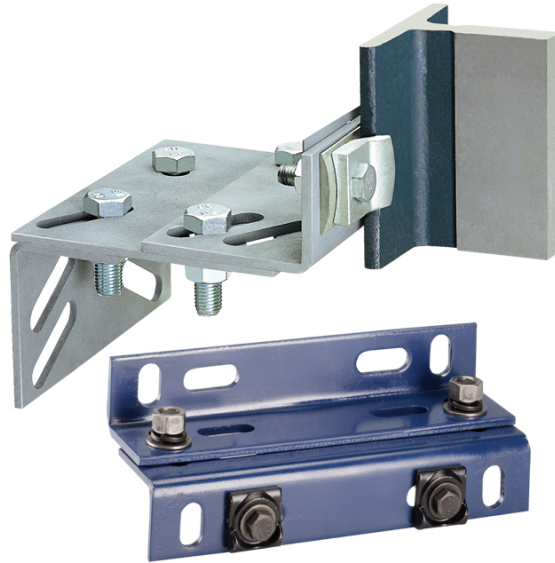
Taulukko 2.1. ISO 7645:n mukaiset johteiden dimensiot [5, s. 4–9]

| Dimensio | b_1 | h_1 | k | n | c | f | g | e | r_s | p |
|-------------------|-------|-------|------------|---------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| ISO-7465 | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| (T45/A) | 45 | 45 | 5 | - | - | - | - | 13,10 | 1 | 5 |
| T50/A | 50 | 50 | 5 | - | - | - | - | 14,30 | 1 | 5 |
| Toleranssit | ±1 | ±0,2 | ±0,15 | - | - | - | - | - | - | ±0,5 |
| T70/A | 70 | 65 | 9 | 34 | 6 | 8 | 6 | 20,34 | 1,5 | - |
| (T75/A) | 75 | 62 | 10 | 30 | 8 | 9 | 7 | 18,61 | 1,5 | - |
| T82/A | 82 | 68 | 9 | 34 | 7,5 | 8,25 | 6 | 19,98 | 3 | - |
| (T89/A) | 89 | 62 | 16 | 34 | 10 | 11,1 | 7,9 | 20,32 | 3 | - |
| (T90/A) | 90 | 75 | 16 | 42 | 10 | 10 | 8 | 26,12 | 4 | - |
| Toleranssit | ±1,5 | ±0,1 | +0,1 // 0 | +3 // 0 | - | ±0,75 | ±0,75 | - | - | - |
| (T75/B) | 75 | 62 | 10 | 30 | 8 | 9 | 7 | 18,61 | 3 | - |
| (T78/B) | 78 | 56 | 10 | 26 | 7 | 8,5 | 6 | 16,45 | 2,5 | - |
| T89/B | 89 | 62 | 16 | 34 | 10 | 11,1 | 7,9 | 20,32 | 3 | - |
| (T90/B) | 90 | 75 | 16 | 42 | 10 | 10 | 8 | 26,12 | 4 | - |
| (T114/B) | 114 | 89 | 16 | 38 | 9,5 | 11 | 8 | 28,65 | 4 | - |
| T125/B tai BE | 125 | 82 | 16 | 42 | 10 | 12 | 8 | 24,30 | 4 | - |
| (T127-1/B) tai BE | 127 | 89 | 16 | 45 | 10 | 11 | 8 | 27,70 | 4 | - |
| T127-2/B tai BE | 127 | 89 | 16 | 51 | 10 | 15,9 | 12,7 | 24,78 | 5 | - |
| T140-1/B tai BE | 140 | 108 | 19 | 51 | 12,7 | 15,9 | 12,7 | 32,36 | 5 | - |
| T140-2/B tai BE | 140 | 102 | 28,6 | 51 | 17,5 | 17,5 | 14,5 | 34,84 | 5 | - |
| T140-3/B tai BE | 140 | 127 | 31,75 | 57 | 19 | 25,4 | 17,5 | 44,18 | 5 | - |
| Toleranssit: B | ±1,5 | ±0,75 | +0,1 // 0 | +3 // 0 | - | ±0,75 | ±0,75 | - | - | - |
| Toleranssit: BE | ±1,5 | ±0,75 | +0,05 // 0 | +3 // 0 | - | ±0,75 | ±0,75 | - | - | - |

Taulukon johteet on nimetty standardin mukaisesti, eli T tarkoittaa johteen muotoa ja sen perässä oleva numero kertoo johteen leveyden. Viimeinen kirjain tai kirjainyhdistelmä kertoo johteen valmistusmenetelmästä. A-kirjaimella varustettu johde on valmistettu kylmävetämällä ja B-kirjaimella valmistettu koneistamalla. Kirjainyhdistelmällä BE puolestaan on korkean laadun johde, joka on valmistettu koneistamalla. Suluissa oleva johteen nimi on ei-suositeltava johteen malli. [5, s. 4]

2.5 Johteiden kiinnitys hissikuiluun

Johteet kiinnitetään hissikuiluun johdekiinnikkeillä. Ne kiinnitetään johteeseen käyttämällä aluslevyjä ja pultteja. Johdekiinnitteen kiinnitystapa on esitetty kuvassa 2.5.

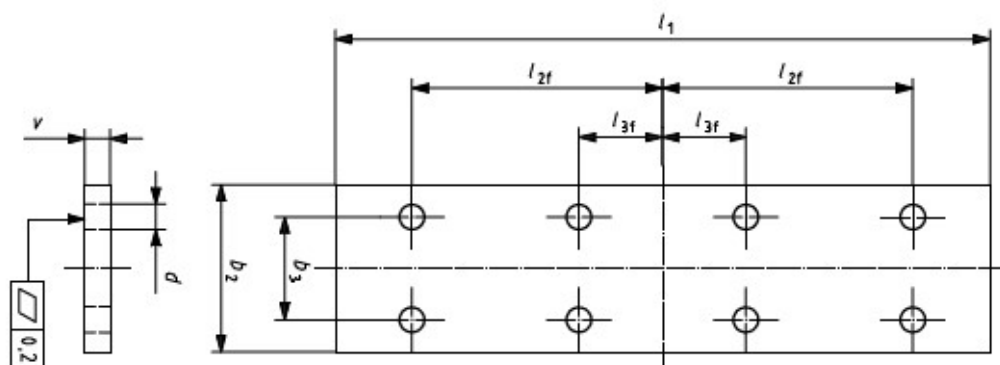


Kuva 2.5. Johdekiinnikkeiden kiinnitys johteeseen [7]

Johde on kiinni johdekiinnikkeessä lukitusmekanismilla, joka painaa johteen kiinnikkeeseen. Johdekiinnikkeen toinen pääty kiinnitetään hissikuiluun esimerkiksi pulttaamalla seinään.

2.6 Johteiden saumakohdat

Johteiden saumat kiinnitetään toisiinsa johdejatkoslevyllä. Näin standardin pituisista johteista saadaan yhtenäinen kappale, jota pitkin hissi pystyy liikkumaan sulavasti kuilussa. Kahden johteen päät kiinnitetään toisiinsa johdejatkoslevyissä olevien reikien avulla.



Kuva 2.6. Johdejatkoslevyn dimensiot [5, s. 15]

Johdejatkoslevyjen toleranssit reunan tasaisuudessa on ± 0.2 mm ja suurin karkeus tulee olla pienempi kuin $25 \mu\text{m}$. Johdejatkoslevyjen mitat ja toleranssit ovat määritelty ISO 7465 -standardissa [5]. Standardin mukaiset mitat on esitetty taulukossa 2.2.

Taulukko 2.2. ISO 7645:n mukaiset johdejatkoslevyjen dimensiot [5, s. 14]

| Dimensio | d | l_1 | l_{2f} | l_{3f} | b_2 | b_3 | V |
|-----------------|------|---------|----------|----------|-------|-------|---------|
| ISO-7465 | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| (T45/A) | 9 | 160 | 65 | 15 | 50 | 25 | 8 |
| T50/A | 9 | 200 | 75 | 25 | 50 | 25 | 8 |
| T70/A | 13 | 250 | 105 | 25 | 70 | 42 | 10 |
| (T75/A) | 13 | 250 | 105 | 25 | 70 | 42 | 10 |
| (T75/B) | 13 | 250 | 105 | 25 | 70 | 42 | 10 |
| (T78/B) | 13 | 250 | 105 | 25 | 70 | 42 | 10 |
| T82/A | 13 | 216 | 81 | 27 | 80 | 50,8 | 10 |
| (T89/A) T89/B | 13 | 305 | 114,3 | 38,1 | 90 | 57,2 | 13 |
| (T90/A) (T90/B) | 13 | 305 | 114,3 | 38,1 | 90 | 57,2 | 13 |
| (T114/B) | 17 | 305 | 114,3 | 38,1 | 120 | 70 | 18 |
| T125/B | 17 | 305 | 114,3 | 38,1 | 130 | 79,4 | 18 |
| T125/BE | 17 | 305 | 114,3 | 38,1 | 130 | 79,4 | 28 |
| (T127-1/B) | 17 | 305 | 114,3 | 38,1 | 130 | 79,4 | 18 |
| (T127-1/BE) | 17 | 305 | 114,3 | 38,1 | 130 | 79,4 | 28 |
| T127-2/B | 17 | 305 | 114,3 | 38,1 | 130 | 79,4 | 18 |
| T127-2/BE | 17 | 305 | 114,3 | 38,1 | 130 | 79,4 | 28 |
| T140-1/B | 21 | 380 | 152,4 | 31,8 | 140 | 92,1 | 28 |
| T140-1/BE | 21 | 380 | 152,4 | 31,8 | 140 | 92,1 | 38 |
| T140-2/B | 21 | 380 | 152,4 | 31,8 | 140 | 92,1 | 28 |
| T140-2/BE | 21 | 380 | 152,4 | 31,8 | 140 | 92,1 | 38 |
| T140-3/B | 21 | 380 | 152,4 | 31,8 | 140 | 92,1 | 38 |
| T140-3/BE | 21 | 380 | 152,4 | 31,8 | 140 | 92,1 | 48 |
| Toleranssit | - | +3 // 0 | ±0,2 | ±0,2 | - | ±0,2 | +3 // 0 |

Taulukon arvoista huomataan, että johdejatkoslevyt ovat rakenteeltaan kookkaita suhteessa johteiden kokoon, jotta ne pystyvät tarjoamaan tarvittavan rakenteellisen tuen ja pitämään johteet tasaisesti kiinni toisiinsa.

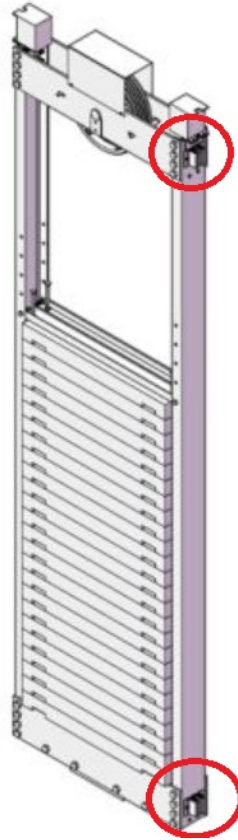
2.7 Saumakohdan ääniongelmat

Aiemmin esitettyjen johteiden ja siihen liittyvien johdejatkoslevyjen sekä johdekiinnikkeiden monimutkaisesta rakenteesta ja asennuksesta johtuen, niiden asentamisessa voi tapahtua helposti virheitä. Myös pitkään käytössä olleen hissien johteiden kiinnitykset voivat löystyä ja näin aiheuttaa suuntausvirheitä. Eräs saumakohtien ääniongelma voi johtua virheellisestä asennuksesta tai saumakohtien löystymisestä, jossa johde voi olla hieman vinossa suhteessa vastinkappaleeseen. Tämä on esitetty kuvassa 2.7.



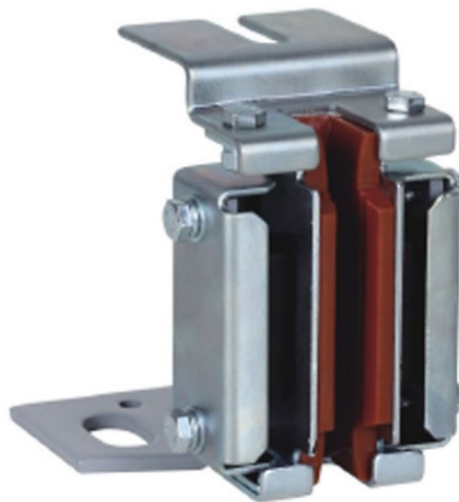
Kuva 2.7. Johdejatkoslevyn virheellinen asennus [8, s. 82]

Kuvan 2.7 tapauksessa hissikorin liukukenkä- tai rullaohjain joko osuu johteen reunaan tai putoaa johteen päälle aiheuttaen nykäyksen hissien liikkeeseen. Tällöin hissikori tai vastapaino pääsee liikkumaan hallitsemattomasti. Ilmiöstä aiheutuu usein selkeää äänentason muutos, joka voidaan havaita hissikuilussa. Äänitason muutos ei ainoastaan vaikuta hissien ajomukavuuteen ja matkustajien turvallisuuden tunteeseen, vaan myös rakennuksen tiloihin, jotka ovat hissinkuilun ympärillä. Hissikuilussa ääni pääsee liikkumaan vapaasti, aiheuttaen rakennuksessa meluhaittoja monessa eri kerroksessa ja tilassa. Vastapainossa liukukenkäohjaimet ovat aseteltu kuvan 2.8 mukaisesti.



Kuva 2.8. Liukukenkäohjaimien sijainnit vastapainossa, muokattu lähteestä [9]

Vastapainossa liukukenkä- ja rullaohjaimet on sijoitettu vastapainon kehon ylä- ja alaosaan. Tämän vuoksi vastapainon ylittäessä suuntausvirheellisen johteiden välisen saumakohdan, aiheutuu ohjaimista ääntä ja tärinää systeemiin. Vastapainoissa käytetään pääsääntöisesti liukukenkäohjaimia. Esimerkki liukukenkäohjaimesta on esitetty kuvassa 2.9.



Kuva 2.9. Esimerkki liukukenkäohjaimesta [10]

Osuessaan suuntausvirheelliseen saumakohtaan liukukenkäohjaimet vaimentavat heikosti iskua. Tämän takia vastapainon johteiden tulee olla asennettu oikein. Asennuksessa tapahtuu helposti pieniä virheitä, mikä tekee johteiden saumakohtien taajuusongelmien identifioimisesta haastavaa. Identifiointia vaikeuttaa entisestään muiden komponenttien mahdolliset harmoniset ja lineaariset taajuudet. Lisäksi yleisimmin käytetty mittaustapa vaikeuttaa identifioimista, sillä mittaukset suoritetaan hissikorissa käyttämällä triak-siaalista kiihtyvyyssanturia. Menetelmä on helppo ja nopea toteuttaa, mutta saumakohtien ääniongelmien identifioiminen muista ongelmista vaikeutuu. Saumakohtien suuntausvirheiden identifioinnin helpottamiseksi voidaan hyödyntää hissikorista mitattua kiihtyvyyttä ja äänentasaaja ajon aikana. Lisäksi hissien piirustuksista saatavia tietoja voidaan hyödyntää identifioinnin tarkentamiseksi. Tarkentavia tietoja ovat muun muassa johteiden saumakohtien sijainnit hissikuilussa ja vastapainon ohjaimien sijoittelu suhteessa johteiden saumakohtiin.

3. MITTAUSDATA JA AINEISTOT

Työssä käytetty data on saatu KONE Oyj:n testihissi Päärystä Hyvinkäältä. Mittausdatan saamiseksi hissistä on mitattu ensimmäiseksi verrokkimittaukset, jonka jälkeen hissikuilussa on keinotekoisesti aiheutettu vastapainon johteiden väliseen saumakohtaan suuntausvirhe. Keinotekoisesti aiheutetulla suuntausvirheellä simuloidaan johteiden välisen saumakohdan ääni- ja värähtelyongelmia. Saadulla mittausdatalla testataan kehitetyn identifiointisovelluksen ohjelmointirajapintaa.

3.1 Mittauslaite ja analysointisovellus

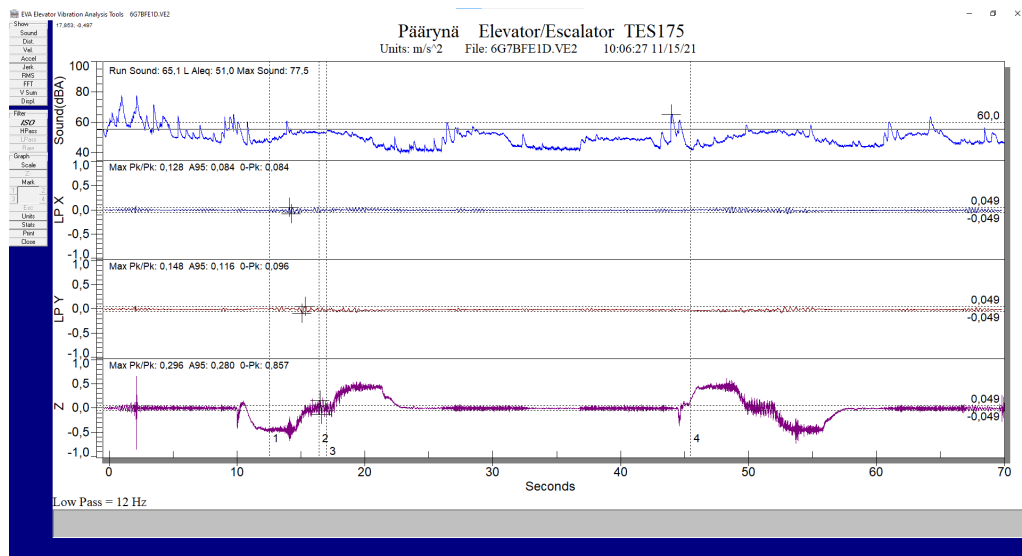
KONE Oyj käyttää ajomukavuuden mittaamiseen EVA-625-mittauslaitetta, joka on esitelty kuvassa 3.1. Lyhenne EVA tulee englannin kielen sanoista elevator vibration analysis ja sen valmistaja on Physical Measurement Technologies, Inc., lyhyemmin PMT. Se on laajasti käytetty ja standardoitu laite mittaamaan hissien ja rullaportaiden ominaisuuksia. [11]



Kuva 3.1. EVA-mittalaite [11]

EVA-mittauslaite systeemi koostuu laajakaistaisesta triaksiaalisesta kiihtyvyyden mittauksesta, jonka taajuusvaste ulottuu 0 Hertsiin. Triaksiaalisen kiihtyvyyksianturin saa irrotettua laitekotelosta tarkempaa komponenttikohtaista mittausta varten. Laitteessa on A-painotettu äänenpaineen tallennus, joka vastaa ihmisen kuulemaa äänenpainealuetta. [12]

PMT tarjoaa EVA-mittauslaitteelle mittausdatan analysointisovelluksen nimeltä EVA Vibration Analysis Tools Software. Sovellus on Windows-pohjainen ja se ottaa huomioon ISO18738 Human Response -standardin. Sillä voidaan analysoida kiihtyvyyttä, nopeutta, paikkaa, äänitasoa ja nykäyksiä. Kuvassa 3.2 on esitetty analysointisovelluksen käyttöliittymä. [12]



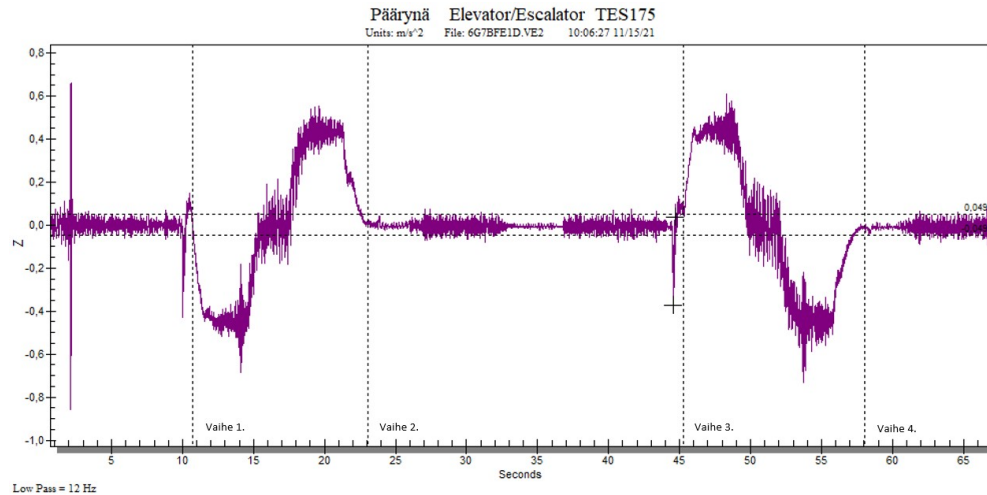
Kuva 3.2. EVA analysointisovellus

Sovelluksella voidaan analysoida dataa joko manuaalisesti tutkimalla käyriä tai käyttämällä valmiita työkaluja. Työkaluja ovat mm. kahden pisteen hidastumisen analyysi, keskimääräinen ja korkein äänitaso sekä FFT-analyysi eli Fast Forward Fourier -analyysi. Sovelluksessa on vaihtoehtona käyttää valmiita signaalien suodattimia tai asetuksista muuttettavia suodattimia. Tarkasteltavan datan voi myös tallentaa eri tiedostomuotoihin jatkokesittelyä varten.

3.2 Mittausdata ja EVA-analysointisovellus

Mittausdatan saamiseksi mittaukset on aloitettu Päärynä-hissin ylimmästä kerroksesta. Tämän jälkeen hissi ajettiin pohjakerrokseen pysähdyksiin. Seuraavaksi hissi ajettiin takaisin lähtöpisteeseen. Näin matkalta saadaan kaksinkertainen määrä dataa yhteen mittaukseen. Tämän lisäksi saadaan enemmän tietoa mittauksen laadusta ja mahdollisista virheistä. Tyypillinen mittausvirhe on EVA-mittauslaitteen paikan siirtyminen mittauksen aikana. EVA-mittauslaite kalibroi itsensä jokaisen mittauksen alussa paikkaan mihin se on asetettu. Tämän takia mittaus siirtyy liikkeen suuntaan, jos mittauslaite siirtyy pois

aloituspisteestä. Siksi takia on oltava varovainen, ettei liikuta mittalaitetta kalibroinnin jälkeen. Kuvassa 3.3 on Päärynä-hissistä saatu mittausdatan pystysuuntainen suodattamaton kiihtyvyysskäyrä.



Kuva 3.3. Mittausdatan kiihtyvyysskäyrä

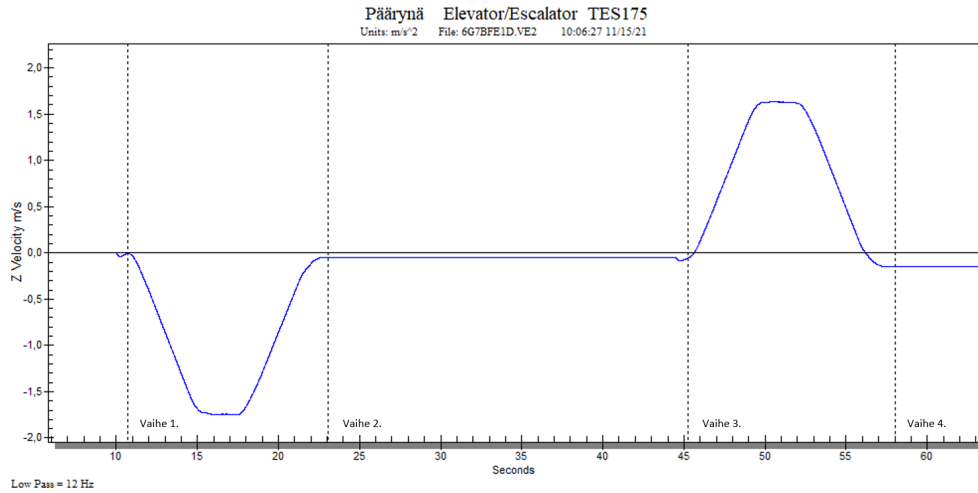
Kuvasta on katkoviivoilla ja numeroin eroteltu mittauksen eri vaiheita. Ensimmäisen katkoviivan kohdalla hissi lähtee liikkeelle alaspäin. Vaiheessa 2 hissi on päässyt haluttuun kerrokseen ja on pysähdyksissä. Kolmannessa vaiheessa hissi alkaa liikkumaan takaisin ylöspäin. Lopulta vaiheessa 4 hissi on päässyt takaisin aloituspisteeseen ja on pysähdyksissä.

Mittausdatan laadusta huomataan, että ajon aikana kiihtyvyysskäyrä heiluu kiihtyvyyden nolla lähistöllä, kun hissi on paikoillaan tai hissien nopeus on suurimmillaan. Esitetty kiihtyvyysskäyrä on suodattamatonta dataa, jolloin siinä herkästi esiintyy tärinää ja kohinaa. Mikäli kohina tai tietyt signaalien taajuudet halutaan suodattaa pois, sovelluksesta löytyy mahdollisuudet esimerkiksi alipäästösuotimelle tai kohinansuodatukselle.

Kiihtyvyyden lisäksi mittauksen analysointiin tarvitaan hissien nopeus tietyllä kiihtyvyyden hetkellä. Nopeus saadaan kiihtyvyysskäyrästä integroimalla sitä. Integroimismenetelmiä on monia ja yksinkertaisin niistä on esitetty seuraavassa kaavassa

$$v(t) = \int a(t)dt + C_1. \quad (3.1)$$

Kaavassa $v(t)$ on nopeus tietyllä ajanhetkellä t . Kiihtyvyyttä tietyllä ajanhetkellä kaavassa kuvaa $a(t)$ ja C_1 on integroimisvakio. Integroitaessa diskreettiä mittausdataa menetetään hieman dataa, joka johtaa kiihtyvyysskäyrän tarkkuuden heikkenemiseen. Toisaalta EVA-mittauslaite ottaa näytteitä 256 kappaletta sekunnissa, joten virheen vaikutus on lopulta pieni. Kiihtyvyydestä saatu nopeuskäyrä on esitetty kuvassa 3.4.



Kuva 3.4. Mittausdatan nopeuskäyrä

Kuvasta huomataan, että nopeus on siirtynyt arvoon $-0.05 \frac{m}{s}$ ennen ensimmäistä vaihetta. Tämä johtuu siitä, että mittauslaite on siirtynyt mittauksen aloituksesta ja asettanut pysähtyneen hissien nopeuden kyseiseen arvoon. Ongelma voidaan korjata käsittelemällä signaalia ja asettamalla kiihtyvyyden pisteet nolliin mittauksen aloitushetkestä vaiheeseen 1 asti. Nopeuskäyrästä havaitaan pisteet, joissa hissi kiihdyttää, hidastaa, liikkuu tasaisesti tai on paikoillaan. Paikkakäyrä saadaan integroimalla nopeuskäyrää. Paikka tietyllä ajan hetkellä saadaan kaavan (3.2) mukaisesti

$$x(t) = \int v(t)dt + C_2. \quad (3.2)$$

Kaavassa 3.2 $x(t)$ on paikka tietyllä ajanhetkellä, $v(t)$ nopeus tietyllä ajanhetkellä ja C_2 on integroimisvakio. Muita tehokkaita ja tarkkoja integroimismenetelmiä ovat muun muassa puolisuunnikassääntö ja Simpsonin sääntö. Puolisuunnikassäännössä sovelletaan datan ajanhetkien pisteiden välille sääntöä kaavan (3.3) mukaisesti

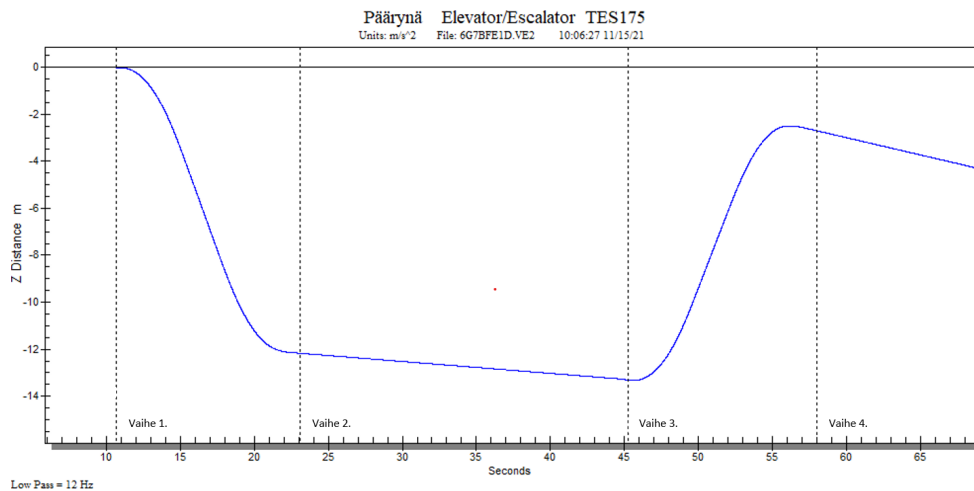
$$\int_a^b f(x)dx \approx (b - a) \frac{f(a) + f(b)}{2}. \quad (3.3)$$

Puolisuunnikassäännössä pisteiden a ja b sekä funktion $f(x)$ väliin jäävä pinta-ala määritetään. Menetelmä on tarkka ja nopea tapa kiihtyvyyden ja nopeuden integroimiseen. Työssä toteutetun identifiointisovelluksen integroimismenetelmänä käytetään puolisuunnikassääntöä. Simpsonin säännössä puolestaan approksimoidaan integraalia pisteiden välillä ottamalla huomioon välin keskipiste. Simpsonin sääntö on esitetty kaavassa 3.4.

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{6} \left[f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right] \quad (3.4)$$

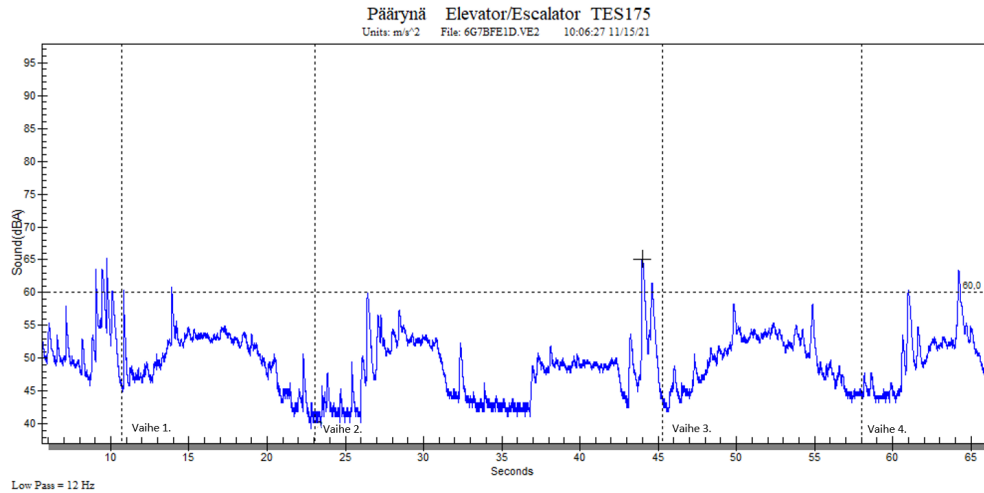
Sääntö on tunnettu Simpsonin yksi-kolmanteen sääntönä, jossa a ja b ovat pisteitä, joiden väliä approksimoidaan. Kaavassa $f(x)$, missä x on funktion piste, jota integroidaan. Menetelmä on tarkempi, mutta hitaampi kuin puolisuunnikas sääntö, johtuen lisääntyneistä laskuoperaatioista.

EVA-analysointisovelluksella on vaikeaa analysoida mittausdataa, jossa kiihtyvyyssignaaliin on päässyt virhettä. Sovellus ei itse erota onko signaali siirtynyt ja laskee nopeus- ja paikkakäyrät suoraan mitatusta datasta. Esimerkki mittausdatan paikkakäyrästä on esitetty kuvassa 3.5, jossa kiihtyvyyssignaali on siirtynyt.



Kuva 3.5. Mittausdatan paikkakäyrä

Kuvasta huomataan, että hissien sijainti muuttuu, vaikka kori on paikoillaan. Tämä johtuu nopeuskäyrän siirtymästä $-0.05 \frac{m}{s}$ arvoon hissien ollessa pysähtyneissä. Tällöin kuvaajan mukaan hissi liikkuu jatkuvasti alaspäin vaikka hissi on paikallaan. Ongelma voidaan korjata muokkaamalla nopeuskäyrä oikeanlaiseksi ja tämän jälkeen integroimalla se. Paikkakäyrästä huomataan hissikorin sijainti tietyllä ajanhetkellä, jota voidaan käyttää johteiden ääniongelmien identifiointiin yhdessä äänikäyrän kanssa. Testimittauksen aikainen äänikäyrä on esitetty kuvassa 3.6.



Kuva 3.6. Mittausdatan äänikäyrä

Kuvaajassa vaakasuuntainen katkoviiva kuvaa 60 dB (A) äänitasoa. Sen yli menevät piikit äänikäyrässä kuvaavat liian äänekkäitä ääniä. Tässä tapauksessa piikit johtuvat ovien avautumisesta ja sulkeutumisesta, mutta ne voivat olla hissikulussa tapahtuvia ääniä. Eräs näistä äänistä voi olla vastapainon ohjaimien osuminen suuntausvirheelliseen joh-teiden saumakohtaan. Äänikäyrällä voidaan helposti analysoida hissien ajomukavuusomi-naisuuksia ajon aikana ja sitä, täyttääkö hissi sille määritetyt vaatimukset.

3.3 Mittausanturin tarkkuus

Kiihtyvyyssanturit ovat herkkiä erilaisille virheille, joita ovat esimerkiksi valkoinen kohina ja värinä, signaalin siirtymä, herkkyys, epälineaarisuus ja anturin kallistuminen. [13, s. 6] Hissien ajomittausten tuloksia tarkasteltaessa tulee ottaa nämä anturien tarkkuus- ja herkkyysominaisuudet huomioon. Hissisysteemiä tarkasteltaessa suurimmat virheet aiheutuvat sensorin kulman kääntymisestä, matalataajuuksisesta värinästä ja kalibroinnin jälkeisestä anturin paikan siirtymisestä.

Valkoinen kohina johtuu termomekaanisista reaktioista, jännitteen vaihteluista ja muista sähkölaitteista anturin läheisyydessä. Valkoinen kohina aiheuttaa satunnaista muutosta mittausdataan ja voi siten aiheuttaa pientä virhettä mittaustulokseen.

Signaalin siirtymään anturissa voi vaikuttaa lämpömekaaninen rasitus juotosprosessin aikana, lämpötilan vaihtelu ja ikääntyminen. [13, s. 8] Signaalin siirtymä aiheuttaa mittaustuloksen tarkkuuden heikkenemistä, joka voi aiheuttaa signaalin jatkokäsittelyssä suuria virheitä. Esimerkiksi kuvassa 3.4 signaali on siirtynyt ja laskettaessa nopeutta arvon ovat siirtyneet todellisista arvoista. Tällöin mittausdataa käsiteltäessä joudutaan korjaamaan virheet manuaalisesti.

Mittausanturin tarkkuusvirheiltä voidaan välttyä käyttämällä kalibroituja ja iältään uusia

antureita. Myös anturin tarkkuutta on hyvä seurata aika ajoin. Mittauksen aikana tapahtuvilta virheiltilta voidaan välttyä varmistamalla mittausanturin pysyminen sijainnissa, johon se on alustettu.

3.4 Muut aineistot

Vastapainon ja hissikorin ohjaimien tarkan ohittamiskohdan sijaintien selvittämiseksi hissikuilussa tarvitaan tietoa johteiden pituudesta ja kenkäohjaimien suhteelliset sijainnit ensimmäisen johteen alareunaan nähden. Johteiden standardipituus on pääasiassa 5 m tai modernisointiprojekteissa 2.5 m. Poikkeuksiakin on, kuten se, että hissikuilun yläpäässä käytetään usein lyhyempiä paloja, jotta johteet saadaan mahtumaan hissikuiluun.

Nämä tiedot voidaan saada kahdella eri tavalla, joko hakemalla tiedot suoraan KONE Oyj:n tietokannoista, mikäli ne on saatavilla, tai syöttämällä tiedot manuaalisesti Excel-sapluunapohjaan, joka voidaan ladata sovellukseen.

4. ÄÄNIONGELMIEN IDENTIFIOINTISOVELLUS

Johteiden saumakohtien ääniongelmien identifiointisovellus toteutetaan verkkosovelluksena. Työ keskittyy backendin ohjelmointirajapinnan ohjelmoimiseen ja frontend toteutetaan KONE Oyj:n puolesta. Backend tarkoittaa palvelimen puoleista ohjelmakoodia, eli ohjelmistokehitystä. Se keskittyy ohjelmiston logiikkaan ja kehitykseen, joka ei näy käyttäjälle. Frontend puolestaan on ohjelmiston osa, joka näkyy käyttäjälle ja kommunikoi backendin kanssa välittämällä käyttäjän syötteitä. Sovelluksen backend toteutetaan käyttämällä Anaconda, Python 3.8.8 -jakelupakettia. Frontend puolestaan toteutetaan käyttämällä Javascript-ohjelmointikieltä ja Angular 12 -ohjelmistokehystä.

Sovellus piirtää kuvaajiin mittausdatan, siitä lasketun nopeuden ja hissikorin paikan sekä äänentason paikan kuvaajana. Sovellus analysoi käyttäjän lataamista tiedostoista onko hississä ääniongelmia johteissa ja näiden johteiden saumakohtien sijainnit suhteessa hissien sijaintiin hissikuilussa. Sovellukseen voi ladata kaksi tiedostoa, jotka sisältävät hissikuilun dimensiot ja mittausdataa hissistä.

4.1 Sovelluksen vaatimukset ja toiminnallisuus

Sovelluksen toiminnallisuuden vaatimukset riippuvat käyttäjän tarjoamasta datan määrästä. Kun käyttäjä tarjoaa ainoastaan hissikuilun dimension tiedot, sovelluksen vaatimuksena on kertoa käyttäjälle vastapainon ja hissikorin ohjainten sijainnit, jossa ne ohittavat johteen saumakohtaan. Jos sovellukseen ladataan mittausdataa, joka sisältää äänentason ja pystysuuntaisen kiihtyvyyden, palauttaa sovellus kuvaajan, jossa on esitetty kiihtyvyyden, nopeus-, paikka- sekä äänentasonkäyrä. Kuvaajassa on esitetty myös äänentaso paikan funktiona, johon on merkitty pisteet, milloin vastapainon ylä- tai alaohjaimet ohittavat johteiden välisen saumakohtaan.

Sovellus käsittelee kiihtyvyyssdatan algoritmeilla, millä saadaan selville ajanhetket, milloin hissi on liikkeessä. Ajanhetkien ollessa tiedossa voidaan normalisoida kiihtyvyyssdata asettamalla hissien kiihtyvyys nolnaan pisteissä, joissa tiedetään hissien olevan pysähdyksissä. Näin vältetään mahdollisilta virheiltä tai siirtymiltä mittaushetkinä, jolloin hissi ei liiku. Tarkkaa johteiden saumakohtien vertailua varten tarvitaan paikkakäyrä. Se saadaan integroimalla kiihtyvyysskäyrä kahteen kertaan tietyn ajanhetken suhteen käyttämällä puolisuunnikkasääntöä.

Sovellus palauttaa käyttäjälle tiedot saumakohtien sijainneista ja mahdollisista ääniongelmista saumakohtissa. Lisäksi sovellus palauttaa kuvaajan, joka sisältää kiihtyvyy-, nopeus-, paikka- ja äänitasokäyrän sekä analyysin mahdollisista ongelmista, jossa äänitaso on piirretty hissikorin paikan kuvaajana.

4.2 Kiihtyvyydsdatan käsittely

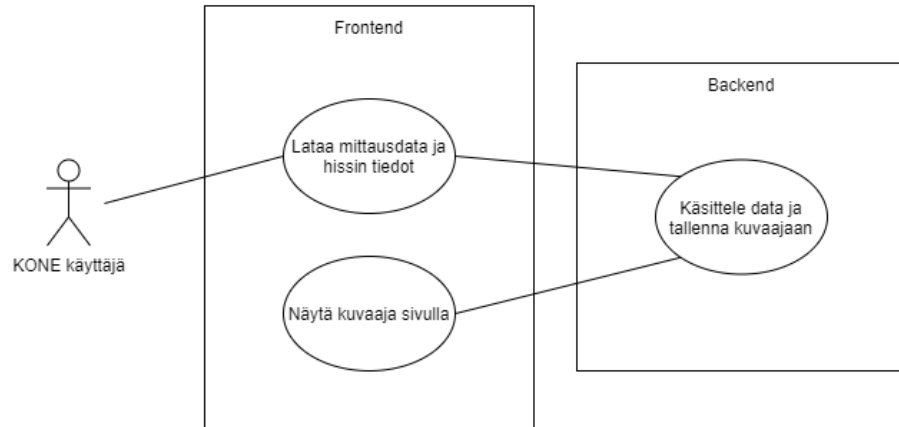
Kiihtyvyydsdataa pitää käsitellä mahdollisten mittausdatan häiriöiden normalisoimiseksi, jotta hissien paikkakäyrästä saadaan mahdollisimman tarkka. Tällöin äänikäyrä saadaan sovitettua tarkasti paikkakäyrään.

Datan käsittelyä varten tarvitaan tieto, milloin hissi liikkuu ja milloin se on paikoillaan. Tieto hissien liikkeestä saadaan toteuttamalla algoritmi, joka tunnistaa kiihtyvyydsdatasta tarkat pisteet hissien liikkumisen alkamiselle ja loppumiselle. Tämä voidaan toteuttaa vertaamalla pisteitä tietyllä välillä siten, että kiihtyvyyden peräkkäisten pisteiden arvot ovat suurempia tai pienempiä kuin nolla riippuen liikkeen suunnasta. Tällä menetelmällä voidaan varmistua siitä, että algoritmi ei huomioi korin tärinää, joka aiheutuu esimerkiksi ovien sulkeutumisesta. Kun datan peräkkäiset pisteet ovat positiivisia, hissi liikkuu ylöspäin, kun taas negatiivisilla hissi liikkuu alaspäin. Hissien suurin nopeus saadaan selville, kun kiihtyvyys on uudestaan nolla. Tämän jälkeen selvitetään hidastumisen pisteet samalla tavalla kuin kiihtymisessä. Ajon päättymisaika saadaan selville, kun kiihtyvyys on uudestaan nolla. Saatua dataväliä tarkistetaan ottamalla siitä keskiarvo ja varmistamalla, että saatua tulosta on lähellä nollaa. Näin varmistetaan, että mittausdatassa ei tapahdu siirtymistä ja tarvittaessa voidaan normalisoida saatua dataväliä ja mitatussa datassa olevaa häiriötä.

Algoritmeilla saatujen pisteiden avulla saadaan tieto ajanhetkistä, jolloin hissi on paikoillaan. Datapisteet, joissa hissien tiedetään olevan paikoillaan, voidaan kiihtyvyys alustaa arvoon nolla. Tällä tavalla saadaan häiriötekijät nollattua pois signaalista. Mahdollisia häiriötekijöitä voivat olla ovien liike, ihmisen kävelyliike hissiin sisälle tai ulos, sekä vahingossa EVA-mittauslaitteeseen koskeminen.

4.3 Käyttötapaukset

Ohjelmistokehityksessä käyttötapaukset kuvaavat toimintojen ja toiminnallisuuksien aktorien ja järjestelmän välillä. Tämän työn näkökulmassa aktori on sovelluksen käyttäjä, joka käyttää sovelluksen käyttöliittymää eli frontendiä. Kehitetyn sovelluksen käyttötapaukset on esitetty kuvassa 4.1.

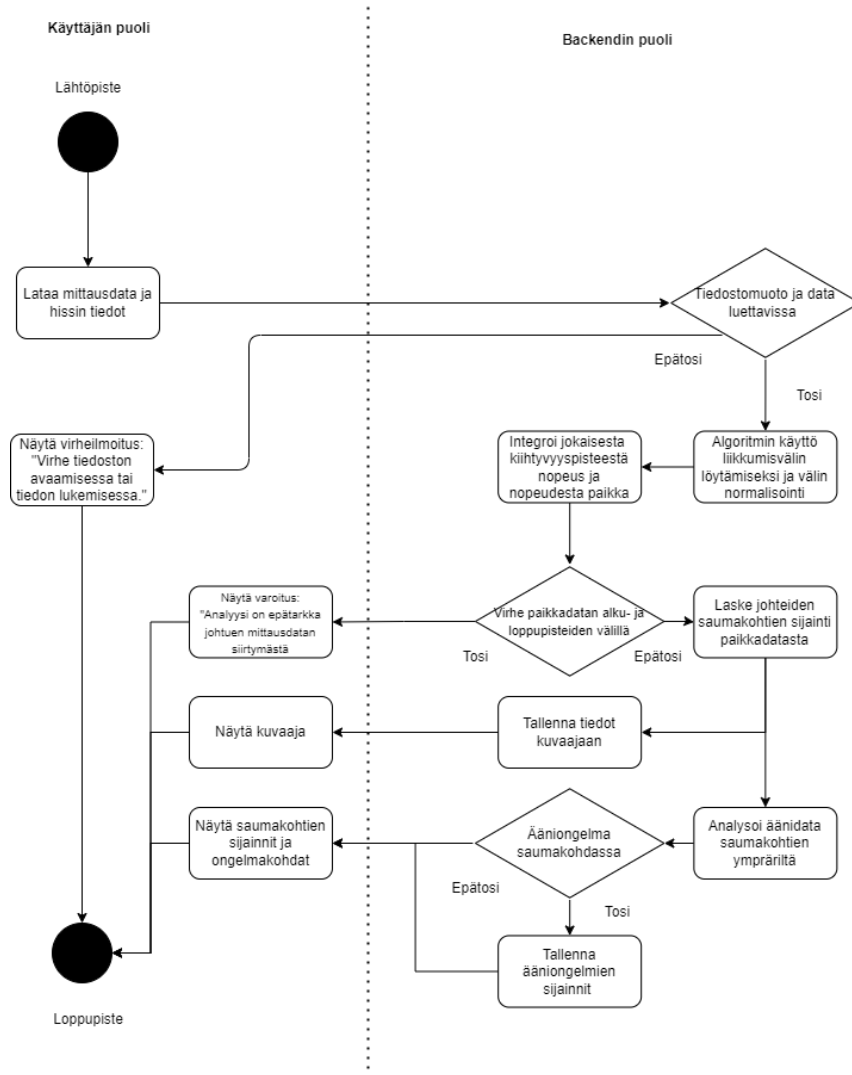


Kuva 4.1. Käyttötapauskaavio

Kaaviossa KONE käyttäjä voi olla kuka tahansa KONE Oyj:n työntekijä tai KONE:en virtuaaliseen erillisverkkoon pääsevä alihankkija. Mittausdata sisältää hissin mittauksesta saatua kiihtyvyy- ja äänidataa. Käyttöliittymä puolestaan kommunikoi backendin logiikan kanssa ja backend käsittelee syötetyn data, mikäli virhetilanteita ei ilmene. Tämän jälkeen backend palauttaa frontendille kuvaajan, jonka frontend näyttää käyttöliittymässään.

4.4 Toimintakaavio

Toimintakaavio kuvaa ohjelmiston eri toimintojen virtaa. Siinä käydään läpi sovelluksen eri osa-alueet, kuten käyttäjä ja muut sovelluskokonaisuudet. Kuvassa 4.2 on esitetty kehitetyn identifiointisovelluksen toimintakaavio.



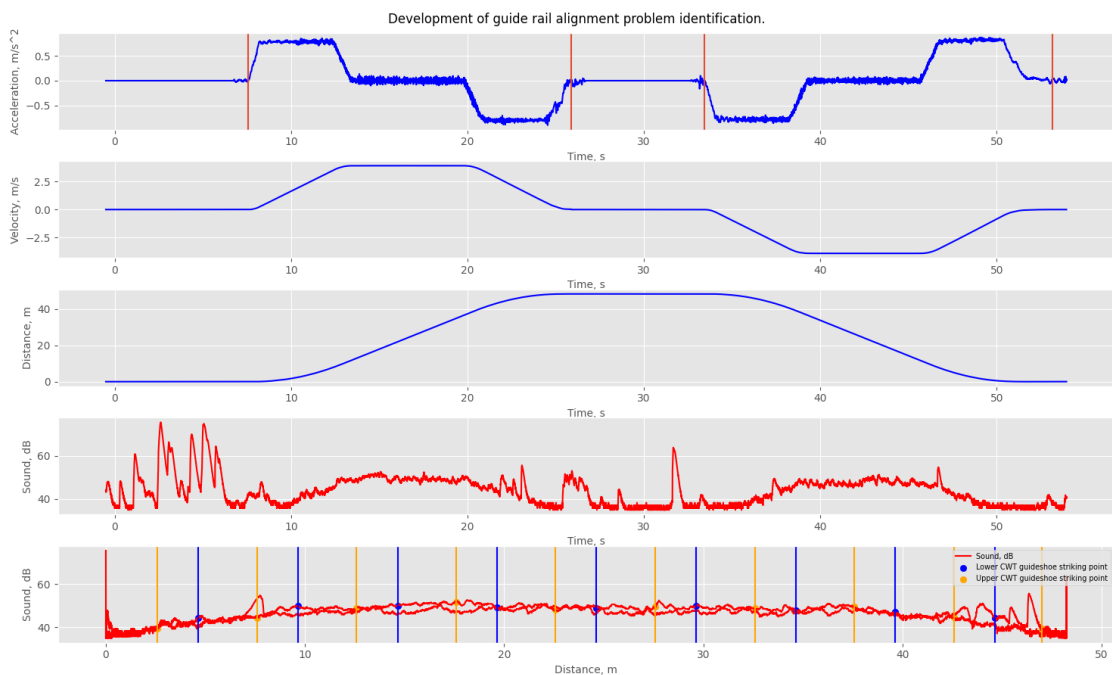
Kuva 4.2. Toimintakaavio

Toiminnan virta alkaa, kun käyttäjä lataa mittausdatan ja hissin tiedot käyttöliittymään. Tämän jälkeen ohjelma tarkistaa ovatko tiedostomuodot hyväksyttäviä ja onko tiedostojen sisältämä mittausdata oikeassa muodossa. Mikäli ehto ei toteudu, sovellus ilmoittaa käyttäjälle, että on tapahtunut virhe tiedoston tai sen sisältämän tiedon lukemisessa. Jos tiedostoissa oleva data on käyttökelpoista, data käsitellään algoritmeilla. Algoritmin avulla etsitään mittausdatasta väli, jossa hissi on liikkeessä ja normalisoidaan kyseinen väli mahdollisten mittausvirheiden ja datan siirtymän eliminoimiseksi. Seuraavaksi integroidaan kiihtyvyyssiteitä, jotta saadaan hissin nopeus- ja paikkakäyrät. Tämän jälkeen tarkistetaan mittausdata virheiden varalta vertaamalla hissin paikkadatan alku- ja lopussa. Mikäli pisteet eivät ole lähellä toisiaan, eli 10 cm sisällä toisistaan, näytetään käyttöliittymässä varoitusilmoitus. Siinä näytetään käyttäjälle ilmoitus analyysin epätarkkuudesta. Jos virhe on hyväksyttävä, lasketaan johteiden saumakohtien sijainnit hissin tietoja ja paikkadatan hyödyntämällä. Tämän jälkeen tallennetaan käyttäjälle näytettävään kuvaajaan kiihtyvyyssiteet, nopeus-, paikka-, äänikäyrät ja äänikäyrä paikkakäyrän funk-

tiona. Kuvaajaan on piirretty saumakohtien sijainnit analyysin visuaalisen tulkinnan helpottamiseksi. Tämän jälkeen analysoidaan vielä äänidata saumakohtien ympäriltä ja tarkistetaan, nouseeko äänitaso suuremmaksi kuin keskimäärin ajon aikana. Mikäli näin on, tallennetaan ääniongelmisten saumakohtien sijainnit JSON-tiedostoon (engl.JavaScript Object Notation joka on avoimen standardin tiedostomuoto tiedonvälitykseen). Lopuksi käyttöliittymässä näytetään saumakohtien sijainnit sekä mahdolliset ääniongelmisen saumakohtat.

4.5 Ohjelmointirajapinnan ulostulo

Identifiointisovelluksen ohjelmointirajapinta palauttaa frontendille kuvaajan, tiedot saumakohtien sijainneista ja analyysin mahdollisista suuntausvirheistä ja äänitason nousuista ajonaikana. Esimerkki identifiointisovelluksen kuvaajasta on esitetty kuvassa 4.3.



Kuva 4.3. Esimerkki sovelluksen kuvaajasta

Kuvassa on esimerkkinä käytetty Valas-hissistä saatua mittausdataa. Hissi on testihissi korkeanousuisille hissityypeille ja se nousee 48 m korkeuteen. Kuvaajassa on ensiksi esitetty hissien kiihtyvyydet ja hissien liikkeen aloitus- ja lopetuspisteet oransseilla viivoilla. Seuraavaksi kuvaajassa on esitetty nopeus. Nopeuden jälkeen esillä on hissikorin paikka ja äänitaso. Viimeisenä kuvaajassa on esillä äänitaso paikan funktiona, mihin on sinisillä viivoilla merkitty vastapainon alempi liukukenkäohjain ja oranssilla ylempi liukukenkäohjain. Tarkan tiedon liukukenkäohjaimien johteen saumakohtien ylittämissijainneista löytyy ohjelmointirajapinnan JSON-tiedostosta. Esimerkki JSON-tiedoston rakenteesta on esitetty kuvassa 4.4.

```

"guide_rail_joints": [
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 5 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 2.02 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 5 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 0.3 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 4 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 2.7 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 4 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 4.42 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 3 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 5.2 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 3 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 6.92 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 2 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 7.7 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 2 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 9.42 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 1 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 10.2 meters"
],
"joints_with_problem": []

```

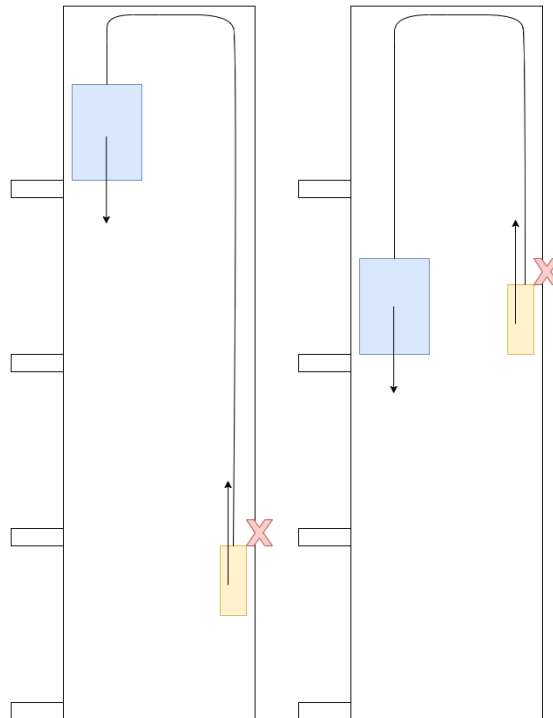
Kuva 4.4. Ohjelmointirajapinnan JSON-tiedoston rakenne

JSON-tiedostoon on tallennettu avaimeen nimeltä `Guide_rail_joints` tieto ylemmän ja alemman liukukenkäohjaimen vastapainon johteiden välisten saumakohtien ylittämissijainnit hissikorin sijainnista katsottuna. Avain nimeltä `Joints_with_problem` sisältää tiedon virheellisistä johteista, mikäli identifiointisovelluksen automaattinen analyysi löytää johteen saumakohdan läheisyydestä äänitason selkeää nousua. Oheisessa mittauksessa, josta esimerkki JSON-tiedostosta on saatu, ei löytynyt saumakohdista suuntausvirheitä, joten se on tyhjä.

5. SOVELLUKSEN TOIMIVUUDEN VALIDOINTI

Johteiden saumakohtien ääniongelmien identifioimissovelluksen testaaminen suoritettiin Hyvinkäällä Päärynä-hissillä, joka on laajasti tuotetun tuoteperheen testi- ja harjoitteluhissi. Hissin johteet ovat 2.5 m mittaisia ja ne ovat mallia T89/B. Vastapainon ala- ja yläliukukenkäohjainten etäisyys toisistaan on 2.25 m, mikä tulee ottaa huomioon tuloksien tulkinnassa. Hissistä otettiin useita mittauksia erilaisilla saumakohtien suuntausvirheillä. Testiajoista saadut mittausdatat käsiteltiin tämän jälkeen kehitetyllä identifiointisovelluksella.

Identifiointisovellus keskittyy analysoimaan vastapainon johteiden saumakohtien suuntausvirheitä. Tästä johtuen identifiointia tehdessä vastapainon johteisiin liittyvissä ongelmissa ääniongelmien sijaitsevat hissikuilussa eri tasoilla kuin hissikori ja siinä oleva mitauslaite. Tätä ääniongelmien sijaintia havainnollistaa kuva 5.1.



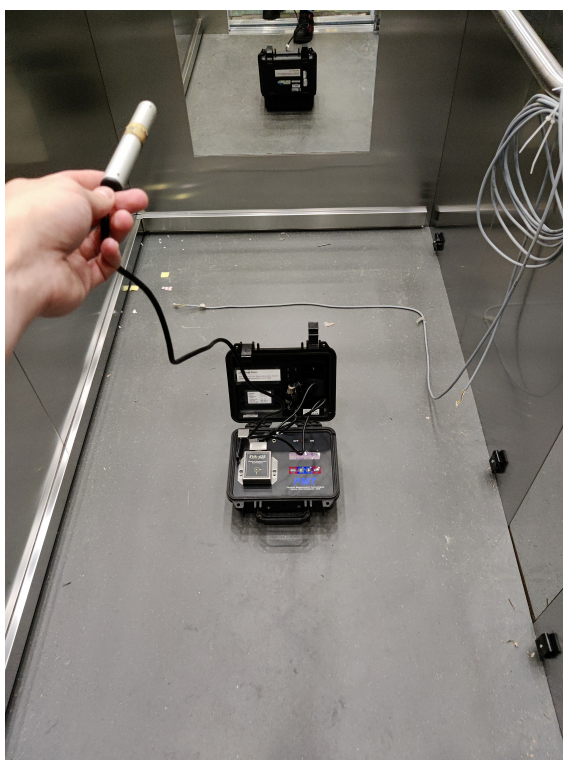
Kuva 5.1. Vastapainon johteen ääniongelma suhteessa hissikoriin

Kuvassa sinisellä on kuvattu hissikori, keltaisella vastapaino ja punaisella rastilla johte-

den saumakohdan suuntausvirhettä. Nuolet osoittavat kappaleiden liikesuunnan. Vasemmassa olevassa hissikuilussa hissikori liikkuu ylhäältä alas ja vastapaino osuu suuntausvirheelliseen saumakohtaan hissikuilun alaosassa. Tässä tapauksessa äänen kulkeminen hissikoriin vie enemmän aikaa kuin kuvassa oikealla olevassa hissikuilussa. Tässä tapauksessa hissikori ja vastapaino ovat samalla sijainnilla hissikorissa ja ääni johteiden saumakohdan suuntausvirheestä liikkuu suoraan hissikoriin.

5.1 Mittausympäristö

Mittaustilanteessa EVA-mittauslaite asetettiin keskelle hissikoria. Mittauksia tehdessä mitaaja oli hissikorissa mittauslaitteen kanssa ja piteli laitteen mikrofonia noin 1.5 m korkeudella hissikorin lattiasta selkä ovelle päin. Mittaukset suoritettiin ylimmästä kerroksesta alimpaan, josta vielä takaisin ylimpään kerrokseen. Mitaaja keräsi itse mahdollisia havaintoja mittaustilanteen aikana. Kuvassa 5.2 on esitetty, kuinka mittauslaite on asetettu hissiin mittauksien aikana.



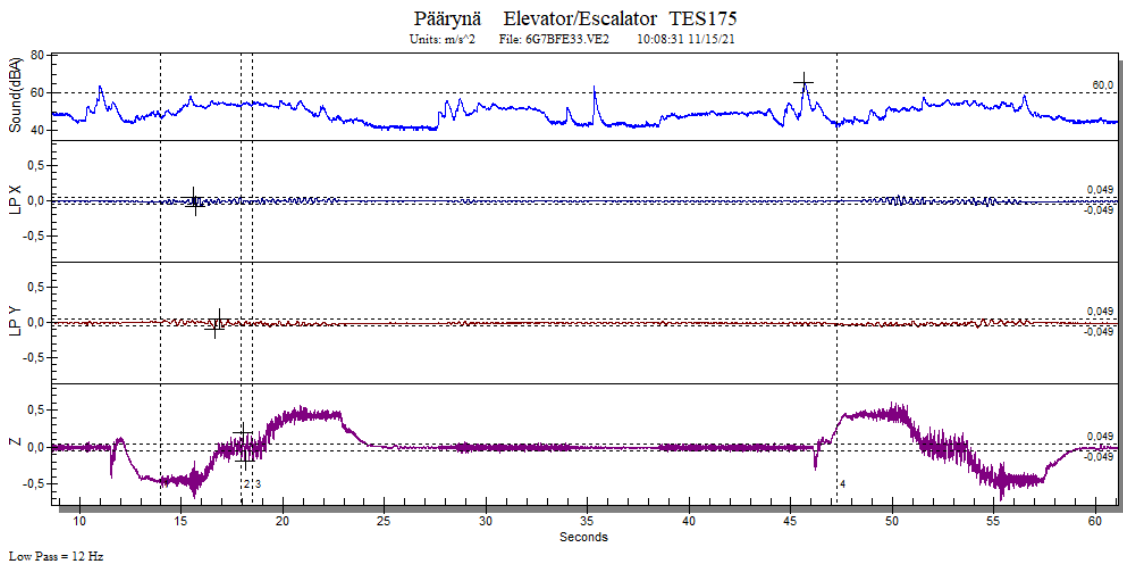
Kuva 5.2. Mittalaitteen asettelu hissiin

Mittauksia varten väännettiin yhtä johteiden välistä saumakohtaa keinotekoisesti, jotta ongelmaa pystyttiin simuloimaan. Mittauksia suoritettiin yhteensä 18, kolme kertaa jokaisesta mittausskenaarioita kohden. Ensimmäiseksi suoritettiin verrokkimittaukset nopeuksilla $1.0 \frac{m}{s}$ ja $1.75 \frac{m}{s}$. Tämän jälkeen aiheutettiin toiseksi ylimpään johteiden väliseen saumakohtaan suuntausvirhe siten, että sormella kokeiltaessa tuntui selkeää korkeusero johteiden välillä. Johteiden välinen korkeusero oli noin 1.0 mm. Saadulla suuntausvirheellä

suoritettiin mittaukset verrokkimittauksissa käytetyillä nopeuksilla kolme kertaa. Tämän jälkeen johteiden väliselle saumakohdalle aiheutettiin suurempi suuntausvirhe, sillä mittauksen aikana mittaaja ei huomannut merkittävää eroa verrokkimittauksiin. Suuremmalla suuntausvirheellä mittaukset suoritettiin kuten aikaisemmissa mittauksissa. Suuremmalla suuntausvirheellä johteiden välinen korkeusero asetettiin 4.0 mm:iin. Näiden mittauksen aikana mittaaja huomasi äänitason nousua ja hissikorin tärinää suuntausvirheellisen saumakohdan ylittämishetkellä.

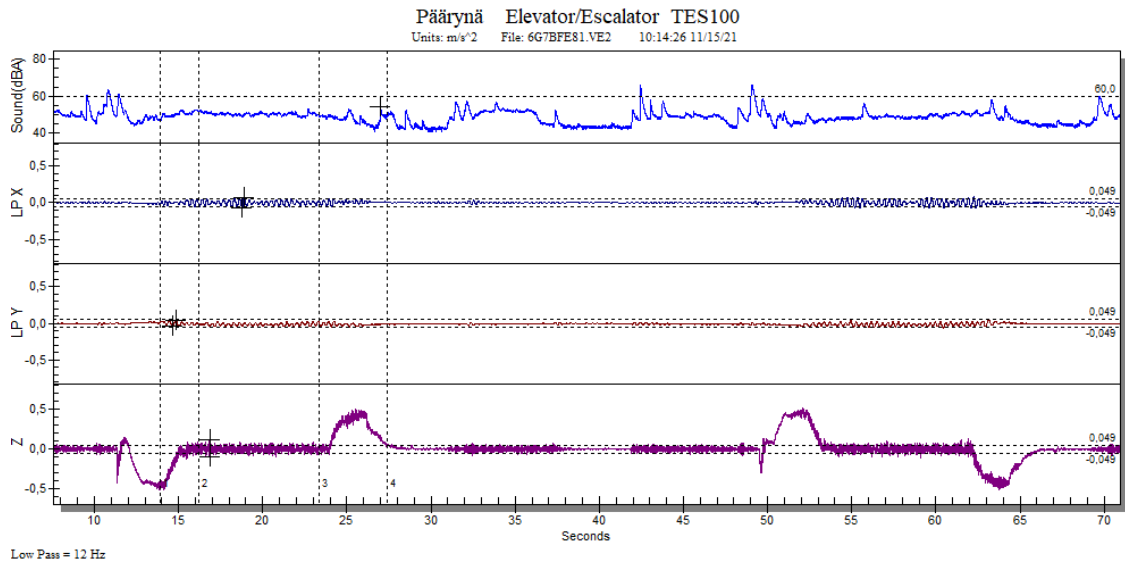
5.2 Tulokset ja havainnot

Verrokkimittauksia tehdessä hissikoriin ei kuulunut ylimääräisiä ääniä ja ajo oli tasainen. Alla kuvassa 5.3 on esitetty hissien verrokkimittauksesta saatu data nopeudella $1.75 \frac{m}{s}$.



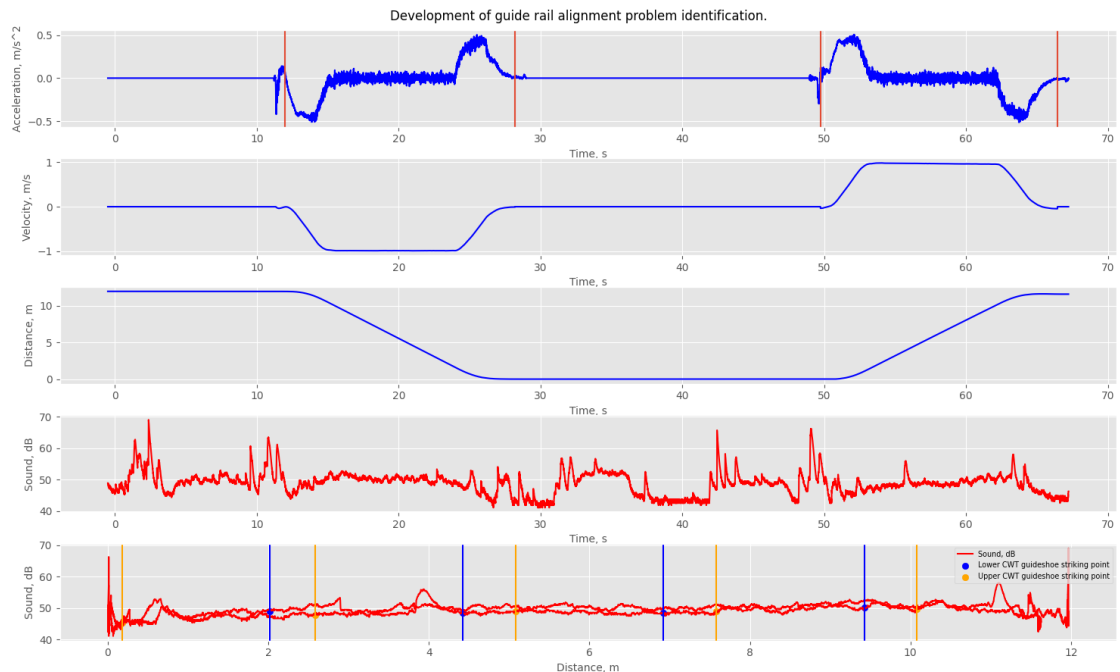
Kuva 5.3. Verrokkimittaus nopeudella $1.75 \frac{m}{s}$

Kuvaajista voidaan huomata, että ajon aikana äänitaso pysyy tasaisena, eikä selkeitä äänitason muutoksia ole havaittavissa. Hissin kiihtyvyyden liikkeessä huomataan ensimmäisenä vierintäilmiö, jossa hissi ennen liikkeelle lähtöä tippuu hieman alas, mutta palaa nopeasti takaisin alkuperäiseen sijaintiin. Tämä ilmiö aiheutuu siitä, että nostokoneistoon ei ole muodostunut tarpeeksi pitomomenttia estämään hissikoria liikkumasta massan suuntaan, kun jarru päästetään irti. Vertailun kohteena kuvassa 5.4 on esitetty $1.0 \frac{m}{s}$ nopeudella verrokkimittaus.



Kuva 5.4. Verrokkimittaus nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$

Kuvasta huomataan, että maksiminopeudella liikuttava aika pitenee huomattavasti, mutta pystysuuntainen värinän amplitudi on myös pienempi kuin suuremmalla nopeudella liikuttaessa. Myös äänentasossa huomataan eroja. Hitaammin liikkuva hissi on hiljaisempi kuin nopeammin liikkuva. Koska verrokkimittauksissa ei ollut merkittäviä eroja, esitellään identifiointisovelluksen kuvaaja hissin nopeudella $1.0 \frac{m}{s}$ kuvassa 5.5. Suuntausvirheellisissä mittaustapauksissa analysoidaan identifiointisovelluksen kuvaajaa hissin nopeudella $1.0 \frac{m}{s}$, sillä pidemmällä ajoajalla on selkeämpää tarkastella mittaustapauksia.



Kuva 5.5. Sovelluksen analyysi nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$ verrokkimittauksessa

Identifiointisovelluksesta saadussa kuvaajassa on esillä normalisoitu kiihtyvyyssäyrä, jossa pisteet hissien ollessa paikoillaan on alustettu noltaan häiriöiden minimoimiseksi. Siinä on esitetty myös nopeuskäyrä, mikä on integroitu kiihtyvyydestä. Paikkakäyrä on saatu edelleen nopeudesta integroimalla ja muuttamalla hissien lähtöpiste ylimpään kerrokseen, sillä mittaus suoritettiin ylimmästä kerroksesta alimpaan päin. Tämän jälkeen kuvaajassa on esitetty äänitasonkäyrä ajan funktiona, jotta äänitasoja pystytään vertaamaan paikkakäyrään. Viimeisenä kuvaajassa on esitetty äänitaso paikan funktiona, mihin on piirretty pystysuuntaisin viivoin pisteet, joissa vastapainon liukukenkäohjaimet ylittävät johteen saumakohtien. Sininen viiva kuvaa alemmaa liukuohjainta vastapainossa, kun taas oranssi ylempää liukuohjainta. Hissien sijainti liikkeelle lähtiessä suhteessa pohjakerrokseen oli 11.97 m. Pohjakerroksen kohdalla hissien sijainti on mittausdatan mukaan 0.01 m, joten hissien liikkeessä laskennassa ei ole tapahtunut merkittävää virhettä. Hissien sijainti mittauksen lopussa puolestaan oli 11.63 m, joten ylöspäin mitattaessa on tapahtunut 0.34 m siirtymä hissikorin sijainnissa alaspäin kuilussa. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että algoritmi hissien liikkeen tunnistamiseksi on ottanut hissien liikkeen aloituspisteeksi vierintäilmiöstä johtuvan vierinnän alaspäin. Tästä johtuen nopeus lähtöhetkellä asettuu hieman matalampaan nopeuteen kuin se todellisuudessa on. Sovelluksesta ohjelmointirajapintaan saatu JSON-tiedosto verrokkimittaukselle on esitetty kuvassa 5.6.

```

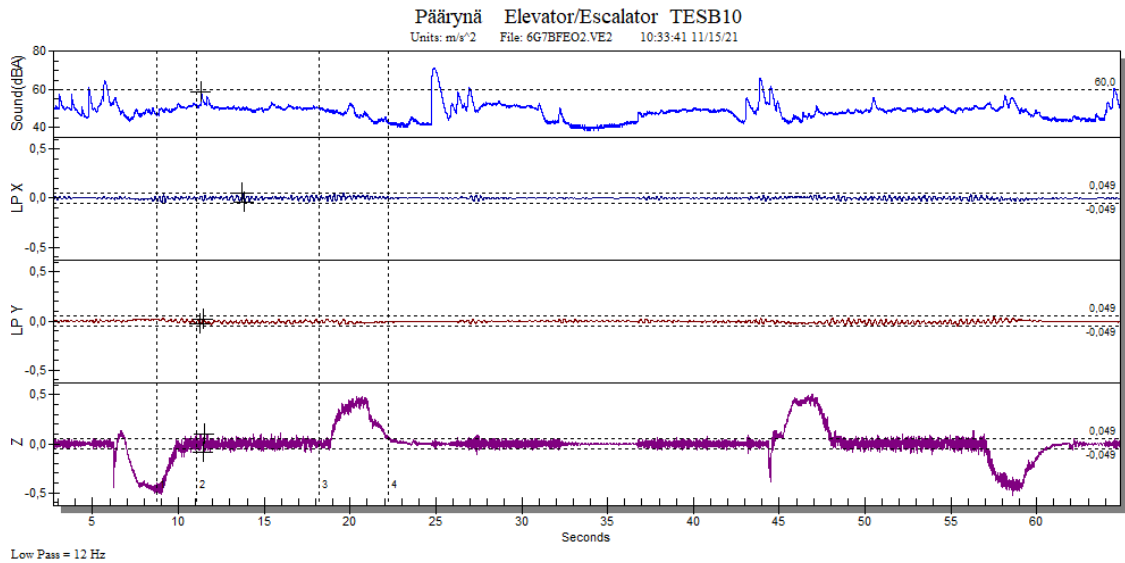
"guide_rail_joints": [
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 5 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 2.02 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 5 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 0.3 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 4 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 2.7 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 4 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 4.42 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 3 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 5.2 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 3 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 6.92 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 2 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 7.7 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 2 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 9.42 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 1 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 10.2 meters"
],
"joints_with_problem": []

```

Kuva 5.6. Ohjelmointirajapinnan JSON-tiedosto verrokkimittauksella

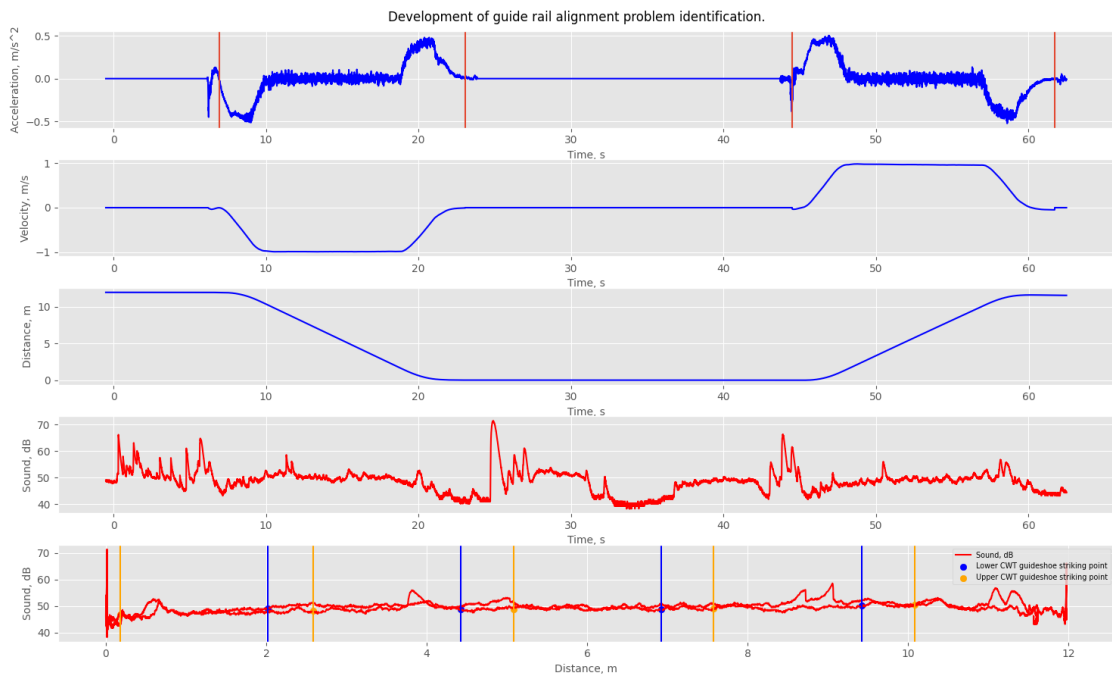
JSON-tiedostossa on tiedot liukukenkäohjainten vastapainon johteiden saumakohtien ylittämässä pisteistä. Kyseessä on verrokkimittaus, joten tiedostossa saumakohtien ongelmia vastaava avain tulee olla tyhjä.

Lievällä saumakohtien suuntausvirheellä mittauksissa huomattiin heikko ääni hissien ollessa lähellä pohjakerrosta. Toisaalta ajon aikana mittauksen on vaikea kohdentaa äänilähteen sijaintia. Lievän suuntausvirheen mittauksen aikana pohjakerroksessa siirreltiin tavaroita, joten pohjakerroksen kohdalla pitäisi näkyä selkeitä piikkejä äänikäyrässä. EVA-mittauslaitteen data on esitetty kuvassa 5.7.



Kuva 5.7. Pienen suuntausvirheen data nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$

Kuvasta huomataan, että äänikäyrä on lähes samanlainen kuin kuvassa 5.4. Suurin poikkeama on hissien ollessa pohjakerroksessa. Äänipoikkeamat johtuvat pohjakerroksessa tavaroiden siirtämisestä mittauksen aikana. Muutoin EVA-mittausdata on molemmissa samankaltaiset, eikä poikkeamia näy. Data analysoidaan identifiointisovelluksella, jonka kuvaaja on esitetty kuvassa 5.8.

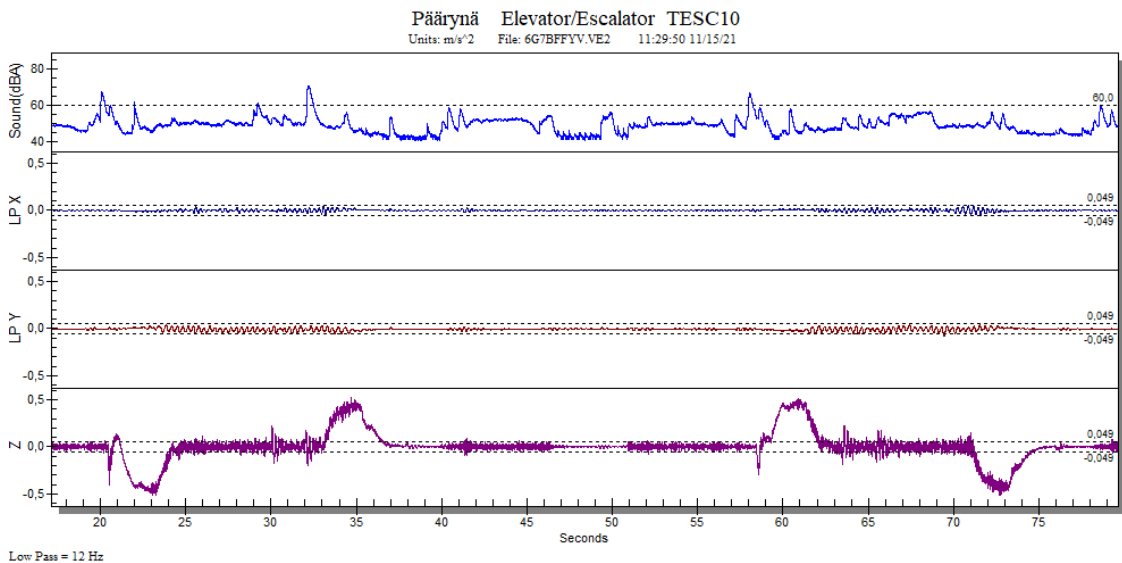


Kuva 5.8. Sovelluksen analyysi nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$ pienellä suuntausvirheellä

Identifiointisovelluksen viimeisintä kuvaajaa katsomalla johteiden saumakohtissa ei näy äänitason nousuja, joten keinotekoisesti aiheutettu lievä suuntausvirhe ei kuulu hissikoriin. Äänikäyrästä huomataan pieniä äänitason hissikorin sijainneissa 3.8 m ja noin 9 m

kohdilla, mutta nämä johtuvat sovelluksen mukaan muista kuin johteiden saumakohdista. Hissikorin sijainti lähtöhetkellä on 11.97 m pohjakerrokseen nähden ja mittauksen lopussa 11.62 m. Pohjakerroksessa hissini sijainti on siirtynyt nollassa 0.02 m. Virhe alku- ja loppupisteen välillä on 0.35 m. Virhe johtuu jälleen vierintäilmiön hissini vierimisestä alaspäin. Virhe on suuri, mutta tuloksia pystytään analysoimaan silti tarkasti alasuuntaan ajosta, vaikka suuntausvirhettä ei pystytty huomaamaan mittausdatasta. Lievällä suuntausvirheellä saatu JSON-tiedosto on samanlainen kuin verrokkimittauksessa.

Suuremmalla suuntausvirheellä mittauksissa huomattiin selkeä ääni hissikuilussa ja hissikorin tärinä vaaka- ja pystysuunnissa. EVA-mittausdata on esitetty kuvassa 5.9.



Kuva 5.9. Suuren suuntausvirheen data nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$

Mittausdatasta huomataan ajanhetkillä 32 s ja 64 s selkeä äänitason nousu. Kyseisillä ajanhetkillä kiihtyvyyssä huomataan amplitudin kasvamista kahdessa kohdassa. Tämä kiihtyvyyden värähtely johtuu vastapainon ylemmän ja alemman liukuohjaimien suuntausvirheellisen saumakohdan ylittämisestä. Siinä aiheutuu hissikoriin nykäys, joka voidaan huomata hissini äkillisenä tärinänä pystysuunnassa. Identifiointisovelluksella analysoitu mittausdata suuremman suuntausvirheen tapauksessa on esitelty kuvassa 5.10.



Kuva 5.10. Sovelluksen analyysi nopeudella $1.00 \frac{m}{s}$ suurella suuntausvirheellä

Kuvaajan kiihtyvyysskäyrästä huomataan johteiden saumakohdan suuntausvirheestä johtuva värinän lisääntyminen, kun vastapainon ohjaimet ylittävät viallisen saumakohdan. Äänikäyrässä huomataan myös äänentason nousu lähellä lisääntyntä värinää. Äänikäyrä nousee nopeasti korkeaksi, kun vastapaino ohittaa suuntausvirheellisen saumakohdan ja laskee hitaasti reilun metrin matkalta takaisin normaalitasoon. Kuvaajasta huomataan, että äänikäyrä nousee lähellä oranssia viivaa, joka kuvaa ylempää liukukenkäohjainta, joten hissi on ollut liikkeessä alaspäin. Analyysissä tulee ottaa huomioon hissikuilun akustiikka, jonka myötä ääni havaitaan pienellä viiveellä hissikorissa. Hissikorin sijainti lähtöhetkellä suhteessa pohjakerrokseen on 12.02 m. Pohjakerroksen kohdalla hissikori on sijainnissa 0.01 m, kun taas loppuhetkellä hissikori on sijainnissa 12.02 m. Hissikori on alku- ja loppupisteissä samalla tasolla, joten laskennassa ei tapahdu virhettä. Viimeisessä kuvaajassa huomataan selkeä äänitason nousu, kun hissikori on 2–3 m korkeudella suhteessa pohjakerrokseen. Tässä kohdassa vastapainon liukukenkäohjaimet ylittävät toiseksi ylimmän johteiden välisen saumakohdan, joka on pohjakerroksesta katsottuna neljäs saumakohdan eli sama saumakohta, johon keinotekoisesti aiheutettiin suuntausvirhe. Sovelluksesta saatu JSON-tiedosto on esitetty kuvassa 5.11.

```

"guide_rail_joints": [
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 5 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 2.02 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 5 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 0.3 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 4 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 2.7 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 4 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 4.42 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 3 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 5.2 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 3 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 6.92 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 2 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 7.7 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 2 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 9.42 meters",
  "The counterweight upper guide shoe passing the guide rail joint point number 1 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 10.2 meters",
  "The counterweight lower guide shoe passing the guide rail joint point number 1 when viewed from first floor. Passing point in shaft relative to cabin: 11.92 meters"
],
"joints_with_problem": [
  "There is a problem with joint no 4 when upper guide shoe or guide roller is passing it.\n"
]

```

Kuva 5.11. Ohjelmointirajapinnan JSON-tiedosto suurella suuntausvirheellä

Kuvasta 5.11 huomataan, että identifiointisovellus löytää suuntausvirheellisen saumakohtan. Saumakohta on pohjakerroksesta katsottuna neljäs. Kyseiseen saumakohtaan aiheutettiin keinotekoisesti virhe.

Identifiointisovellus havaitsee testiympäristössä aiheutetun suuntausvirheen, jos siitä kuuluu selkeästi ääni. Myös pystysuuntainen lisääntynyt tärinä havaitaan kiihtyvyyssäyrästä visuaalisesti. Sovellus toimii testitapauksessa olevan hissien kanssa yleisesti hyvin, vaikkakin vierintäilmiö aiheuttaa useimmissa tapauksissa virhettä mitattaessa hissien ajoa ylöspäin. Alaspäin mitattaessa virhe on ollut niin pieni, että tuloksia tarkasteltaessa se on riittävä tekemään identifioinnin saumakohtan suuntausvirheestä. Äänikäyrä on vaikea saada synkronoitua paikkakäyrän suhteen oikein hissikuilun akustiikasta johtuen, sillä ääni tapahtuu eri päässä hissikuilua kuin missä hissikori sijaitsee.

Kehitettävää identifiointisovelluksessa on automaattinen analyysi pystysuuntaisista nykyisistä ja niiden synkronoimisesta hissikuilun äänentason nousuihin. Myös sovelluksen laskentatarkkuutta voidaan parantaa, etenkin hissien lähdössä liikkeelle ilmenevästä vetäytymisilmiössä. Sovellusta tulee jatkossa testata eri hisstityypeillä, jotta algoritmi ja analyysi saadaan toimimaan eri hisstityypeillä. Muuta kehitettävää sovelluksessa on käytäjäystävällisyyden kehittäminen ja automaattinen mittausdatan hakeminen suoraan hisseistä.

6. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella ja kehittää KONE Oyj:lle hissien johteiden välisten saumakohtien suuntausvirheiden identifiointisovellus, jotta saumakohtien ääniongelmien identifiointi helpottuu. Tavoitteena oli toteuttaa identifiointisovellukseen ohjelmointirajapinta, joka laskee kiihtyvyydatasta nopeuden ja paikan jokaisella mittauspisteellä. Ohjelmointirajapinta piirtää äänentason paikan funktiona, johon on piirretty vastapainon liukukenkäohjaimien pisteet, joissa ne ylittävät johteiden saumakohtia.

Työssä tutustuttiin hissien perusrakenteeseen ja tärkeimpiin toimilaitteisiin, joita ovat hissikori, vastapaino, -köydet, nostokoneisto ja johteet. Johteita pitkin kulkevat hissikori ja vastapaino. Tarkemmin tutustuttiin johteiden rakenteeseen ja siihen, mistä johteiden saumakohtien suuntausvirheet voivat johtua ja kuinka niitä voidaan ehkäistä. Työssä kerrottiin myös matkustajan ja rakennuksen tilojen näkökulmasta kuinka ääniongelmat vaikuttavat ajomukavuuteen ja rakennuksessa oleskeluun.

Hissejä mitataan laajasti käyttämällä EVA-625-mittauslaitetta, joka on suunniteltu hissien ja rullaportaiden ajomukavuusominaisuuksien mittaamiseen. Mittauksia tehdessä mittausdataan tulee kuitenkin herkästi virhettä johtuen hissien liiallisesta tärinästä, mittalaitteen mahdollisesta siirtymisestä mittauksen aikana ja muista mittausanturille ominaisista häiriöistä. Tämän lisäksi mittalaitteelle tarjottu analysointityökalu tarjoaa rajalliset mahdollisuudet muokata mitattua dataa. Tämän takia työssä kehitetään KONE Oyj:lle oma sovellus tehokkaampaa ongelmien identifioimista varten.

Kehitetyn identifiointisovelluksen ohjelmointirajapinta käsittelee käyttäjän antaman mittausdatan ja tiedot hissistä. Se palauttaa käyttäjälle kuvaajan, joka sisältää käsitellyn kiihtyvyy-, nopeus-, paikka- ja äänentasonkäyrät sekä äänen paikan funktiona, johon on piirretty liukukenkäohjaimien pisteet, joissa ne ohittavat vastapainon johteen saumakohtia. Lisäksi ohjelmointirajapinta palauttaa JSON-muodossa tiedon, missä sijainnissa liukukenkäohjain ylittää tietyn vastapainon johteiden välisen saumakohtia ja mahdollisen tiedon suuntausvirheellisestä saumakohtia.

Identifiointisovelluksen ohjelmointirajapintaa testattiin Hyvinkäällä hissillä, johon aiheutettiin keinotekoisesti vastapainon johteiden saumakohtaan suuntausvirhe. Mittauksia tehtiin kolme kertaa nopeuksilla $1.0 \frac{m}{s}$ ja $1.75 \frac{m}{s}$ jokaiselle mittauspisteelle. Mittauspisteitä olivat verrokkimittaukset, lievällä suuntausvirheellä ja suurella suuntausvirheellä tehdyt

mittaukset. Verrokkimittaukset ja pienen suuntausvirheen mittaukset muistuttivat paljon toisiaan, eikä identifiointisovellus löytänyt lievää suuntausvirhettä. Suuren suuntausvirheen mittauksissa puolestaan sovellus löysi suuntausvirheellisen saumakohdan.

Kehitetty ohjelmointirajapinta havaitsee hyvin suuria suuntausvirheitä, mutta pienien suuntausvirheiden identifioiminen on heikkoa. Toisaalta, jos mittausdatasta on vaikea löytää suuntausvirheitä, niin sitä ei myöskään havaita hissikorissa. Aiheutunut ääniongelma voi kuitenkin kuulua ympäröivään rakennukseen, joten tarkka suuntausvirheiden identifioiminen on tärkeää. Sovellusta on testattu yhdellä johdetyypillä ja jatkokehityksen kannalta sitä tulee testata eri hissityypeillä. Jatkokehityskohteita identifiointisovelluksesta löytyy laskentatarkkuuden, käyttäjäkokemuksen parantamisesta ja hissikorin äkillisten liikkeiden synkronoisesta äänentason nousuun.

LÄHTEET

- [1] Y. Kamijo, Y. Iwata, and H. Takada, "Estimation of parameters affecting ride comfort in elevator", eng, *Transactions of the JSME (in Japanese)*, vol. 86, no. 881, pp. 19-19-00407, 2020, ISSN: 2187-9761.
- [2] K. Szydło, P. Wolszczak, R. Longwic, G. Litak, M. Dziubiński, and A. Drozd, *Assessment of Lift Passenger Comfort by the Hilbert–Huang Transform*, Saataavissa: <https://doi.org/10.1007/s42417-019-00184-3>, Viitattu: 2021-10-13, 2020.
- [3] B. Berglund, T. Lindvall, D. H. Schwela, W. H. O. Occupational ja E. H. Team, *Guidelines for community noise*. World Health Organization, 1999, s. i-20, Viitattu: 2021-10-5. s. i-20.
- [4] G. Loiodice ja A. Loiodice, *Machineroomless elevator with belt and/or chain traction*, eng ; fre ; ger. European Patent Office, 2004.
- [5] "ISO 7465:2007(E)," Suomen standardisoimisliitto, tekninen raportti.
- [6] *Harris companies Standard Machined Guide Rails*, Saataavissa: https://www.harriscompanies.com/product/standard-machined-guide-rails/?__cf_chl_managed_tk__=pmd_N0pxZ0zgKI30e_VN3cnFSC7kZjGhVFRvTaAT21s.1NE-1633340337-0-gqNtZGzNAuWjcnBszRLR, Viitattu: 2021-10-4.
- [7] *AFD Home -> Components*, Saataavissa: <https://www.afdind.com/components/>, Viitattu: 2021-10-13.
- [8] *ELEVATOR GUIDE RAILS INSTALLATION AND ALIGNMENT by Asray Sanayi Ve Ticaret Ltd. Sti.* Saataavissa: https://www.elevatorworld.com/pdf/ed_book_chapters/ed_focus/Chapter_7.pdf, Viitattu: 2021-10-16.
- [9] *Neoteric Home -> Product -> Shaft parts -> Counter weight*, Saataavissa: <http://www.neoteri.com/product379/detail838.html>, Viitattu: 2021-12-18.
- [10] *novaelevator Home -> Transportation -> Elevator and Funicular Car -> Passenger Elevator*, Saataavissa: <https://novaelevator.en.made-in-china.com/product/bCDEhKyPAWVm/China-Counterweight-Guide-Shoe-Parts-for-Building-Elevator.html>, Viitattu: 2021-12-18.
- [11] *PMT, Physical Measurement Technologies, Inc. EVA-625*, Saataavissa: <https://www.pmtvib.com/eva-625>, Viitattu: 2021-10-4.
- [12] *EVA-625 Data Sheet*, Saataavissa: https://3213367d-1675-4e49-b5a3-6e23f2aed647.filesusr.com/ugd/4f07f4_5b53270706ef4add8b0ce2cdd5b599e5.pdf, Viitattu: 2021-10-17.
- [13] *ST Precise and accurate tilt sensing in industrial applications*, Saataavissa: https://www.st.com/resource/en/application_note/dm00729932-

precise-and-accurate-tilt-sensing-in-industrial-applications-stmicroelectronics.pdf, Viitattu: 2021-9-11.