

TEKNIikka JA LIIKENNE

Sähkötekniikka

Sähkövoimatekniikka

INSINÖÖRITYÖ

**HISSIN AJOKÄYRÄN
RAJA-ARVOJEN MÄÄRITTÄMINEN**

**Työn tekijä: Sami Kannela
Työn ohjaaja: Jari Ijäs
Työn ohjaaja: Jukka Vinnari**

Työ hyväksytty: 30.9.2009

**Jari Ijäs
lehtori**

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Sami Kannela	
Työn nimi: Hissin ajokäyrän raja-arvojen määrittäminen	
Päivämäärä: 30.9.2009	Sivumäärä: 46 s. + 4 liitettä
Koulutusohjelma: Sähkötekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka
Työn ohjaaja: lehtori Jari Ijäs, Metropolia	
Työn ohjaaja: tekninen asiantuntija Jukka Vinnari, Inspecta Tarkastus Oy	
<p>Inspecta Tarkastus Oy:ssä hissien ajomukavuuden arviointi on vaatinut jokaisen hissien kohdalla erikseen tarkempaa analysointia. Tässä insinööriyössä valittiin mittalaite hissien ajokäyrän mittaamiseen ja määriteltiin alustavat raja-arvot hissien ajomukavuudelle.</p> <p>Työn tarkoituksena on antaa hyvä pohja tulevalle hissien ajomukavuudelle eli lähinnä tärinöitä ja äänenpaineentasa arvioivalle palvelulle. Hissitarkastajat pystyvät raja-arvojen avulla helpommin arvioimaan hissien ajomukavuutta.</p> <p>Työssä käsitellään ensin hissien ajokäyrän mittaamiseen soveltuvan mittalaitteen suunnittelua. Aluksi mittalaitteen valintaa käsitellään alustavasti sen kokoamisen kannalta, sitten vertaillaan mukavuusmittareita. Pääpaino työssä on hissien ajokäyrän raja-arvojen määrittämisellä, joita käsitellään tutkimusten ja työn tekijän empiirisen tiedon pohjalta.</p> <p>Työn tuloksena saatiin määriteltyä alustavat hissien ajomukavuuden raja-arvot, joita voidaan jo sellaisenaan hyödyntää hissien ajomukavuutta arvioitaessa.</p>	
Avainsanat: hissien ajokäyrä, raja-arvot, kehon tärinä, hissien ajomukavuus, äänenpainetaso	

ABSTRACT

Name: Sami Kannela	
Title: Limits for elevator ride comfort	
Date: 30.9.2009	Number of pages: 46
Department: Electrical Engineering	Study Programme: Electrical Power Engineering
Instructor: Lecturer Jari Ijäs	
Supervisor: Technical Specialist Jukka Vinnari, Inspecta Tarkastus Oy	
<p>In Inspecta Tarkastus Oy the evaluation of elevator ride comfort has traditionally required a close analysis of each and every separate elevator. The purpose of this study was to provide a solid basis for the future ride comfort evaluation service which focuses in particular on vibration and sound levels. The aim was to provide the inspectors with a method for evaluating elevator ride comfort without a time-consuming separate analysis.</p> <p>In this study a measurement instrument for elevator ride quality was selected and the parameters for elevator ride comfort were specified. This study was carried out for Inspecta Tarkastus Oy.</p> <p>Different measurement instruments were first compared with each other and also looked at from the point of view of planning. A central matter under consideration was to specify the parameters for elevator ride comfort based on current research as well as empirical knowledge.</p> <p>This study was successful in determining the parameters for elevator ride comfort. These parameters will be particularly useful for allowing relatively fast evaluation of elevator ride comfort.</p>	
Keywords: Lift ride quality, elevator, ride comfort, whole-body vibration, sound level	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	YLEISTÄ HISSEISTÄ	2
3	MITATTAVAT SUUREET	4
3.1	Kiihtyvyys	4
3.1.1	<i>Tasaisesti kiihtyvä liike</i>	4
3.1.2	<i>Hetkellinen kiihtyvyys</i>	5
3.2	Tärinä	6
3.2.1	<i>Tärinän tyypit</i>	6
3.2.2	<i>Tärinäsuureet</i>	7
3.3	Ääni	7
3.3.1	<i>Äänen fysiikkaa</i>	8
3.3.2	<i>Äänen intensiteetti</i>	8
4	STANDARDIT	11
4.1	ISO 2631-1	11
4.2	ISO 8041	12
4.3	IEC 61672-1	12
4.4	ISO 18738	12
4.4.1	<i>Mittauspaikat ja mittauksen suoritus</i>	13
4.4.2	<i>Mittauksen arvostelu</i>	15
5	MITTALAITE	18
5.1	Kiihtyvyyssanturi	18
5.2	Tiedonkeruulaite ja ohjelmisto	21
5.3	Mikrofoni	21
5.3.1	<i>Mikrofonin toimintaperiaate</i>	21
5.3.2	<i>Mikrofonin suuntakuviot</i>	23

6	MITTALAITTEEN VALINTA	25
6.1	Kiihtyvyyssanturit	25
6.1.1	<i>Brüel & Kjær ja 4515-B-002</i>	25
6.1.2	<i>VTI Technologies ja CMA3000-A01</i>	26
6.2	Tiedonkeruulaitteet ja ohjelmistot	26
6.2.1	<i>SVAN 958</i>	27
6.2.2	<i>RION DA-20</i>	27
6.3	Mikrofonit	28
6.3.1	<i>Brüel & Kjær Type 4961</i>	28
6.3.2	<i>G.R.A.S Type 40AD</i>	29
6.4	Mittavälineiden valinta	29
6.5	Mukavuusmittarit	30
6.5.1	<i>EVA-625</i>	30
6.5.2	<i>LiftPC</i>	32
6.6	Mukavuusmittarin valinta	33
7	HISSIN AJOKÄYRÄN RAJA-ARVOJEN MÄÄRITTÄMINEN	34
7.1	Mukavuusvaatimukset	34
7.1.1	<i>Tärinät</i>	34
7.1.2	<i>Äänet</i>	37
7.1.3	<i>Kiihtyvyys</i>	38
7.1.4	<i>Nykäisy</i>	39
7.1.5	<i>Esteettisyys</i>	39
7.2	Hissin ajokäyrän raja-arvot	40
7.2.1	<i>Tärinät</i>	40
7.2.2	<i>Äänet</i>	41
7.2.3	<i>Kiihtyvyys</i>	42
7.2.4	<i>Nykäisy</i>	42
7.2.5	<i>Nopeus</i>	42
7.3	Tulokset	43
8	YHTEENVETO	44
	VIITELUETTELO	45
	LIITTEET	
	LIITE 1	Uusi hissi ja vanha hissi
	LIITE 2	Hissisanastoa
	LIITE 3	Raportti esimerkki
	LIITE 4	Mittaustulosten graafinen esitys

1 JOHDANTO

Hissin ajomukavuuden arviointi on hyvin subjektiivinen tapahtuma. Selkeästi ollaan menossa siihen suuntaan, että hissien ajomukavuutta arvioidaan kriittisemmin kuin aikaisemmin eli ihmisten mukavuusvaatimukset kasvavat tekniikan kehityksen myötä. Vielä ei hissejä myydä ajomukavuuden mukaan, vaan suoritusarvot ovat asiakkaalle tärkeämpiä, mutta suunta näyttää vahvasti menevän kohti ajomukavuuden merkityksen kasvua.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli määritellä hissien ajokäyrän alustavat raja-arvot, joita käytetään referenssinä uusille hisseille tehtävien ajokäyrien analysoinnissa. Hissien ajokäyrään kuuluvat värähtelyt, äänet, kiihtyvyydet ja nykiminen. Raja-arvoja voidaan käyttää pohjana tulevalle tuotteelle, jonka avulla arvioidaan hissien ajomukavuutta. Tarkoituksena oli myös suunnitella mittalaitte kyseiseen tarkoitukseen ja vertailla jo olemassa olevia laitteita.

Työn alussa kerrotaan lyhyesti hissien historiasta nykypäivään. Kerrotaan myös hissien toimintaperiaatteesta pääkohdat. Tämän jälkeen käydään yleisesti läpi hissien ajokäyrässä mitattavia suureita.

Seuraavaksi kerrotaan lyhyesti standardeista, vain hissien ajomukavuutta käsittelevää standardia ISO 18378, jota tarkastellaan laajemmin. Mittalaitteelle asetettuja vaatimuksia käsitellään standardien ISO 8401 ja ISO 18738 pohjalta. Ihmisen reagoimista värähtelyyn käsitellään standardin ISO 2631 perusteella sekä muutamien tutkimusten kautta. Äänien suhteen standardi SFS-EN 61672-1 määrittelee taajuuksien painotusta ihmiskorvalle sopivaksi sekä äänen mittauslaitteiston vaatimukset.

Mittalaitteeseen perehdytään ensin hieman standardien pohjalta ja käydään mittalaitteen osat pääperiaatteiltaan läpi. Tämän jälkeen pohditaan sopivan mittalaitteen valintaa, ensin sen suunnittelun kannalta ja sitten tätä tarkoitusta varten tehtyjen laitteiden vertailulla.

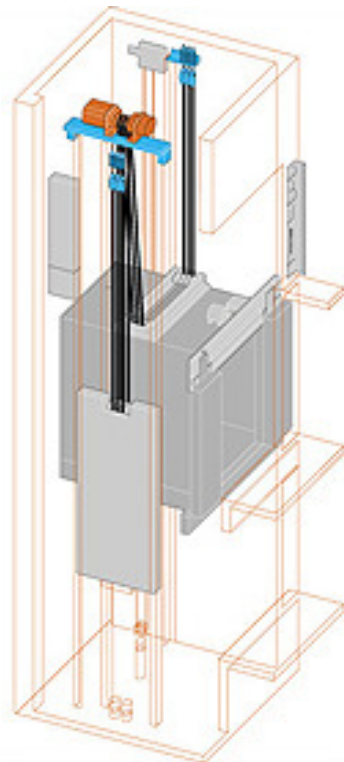
Lopuksi määritellään tutkitun materiaalin perusteella raja-arvot ajokäyrälle ja käsitellään yksitellen kunkin ajokäyrän osa-alueen raja-arvot erikseen nykypäivän mukavuusvaatimukset huomioon ottaen.

2 YLEISTÄ HISSEISTÄ

Primitiivisiä hissejä on maailmassa ollut jo 200-luvulta, kun Arkhimedes rakensi sellaisen. Ensimmäinen nykyaikainen hissi keksittiin jo vuonna 1853 Elisha Graves Otisin toimesta. Otisin hissi oli ensimmäinen turvallinen hissi, sillä se sisälsi tarraimen. Tarrain estää hissikorin vapaan putoamisen kannattinköysien katketessa. Tämän keksinnön jälkeen hissit tulivat erittäin suosituiksi ja vähitellen siirryttiin massatuotantoon. Ensimmäisen sähkökäyttöisen hissinn keksi Werner von Siemens vuonna 1880. [12; 13.]

Hissin ideana on kuljettaa ihmisiä tai tavaroita kerrosten välillä. Hissikori ja vastapaino liikkuvat vertikaalisesti johteiden ohjaamina. Sähkömoottori ohjaa korin kulkua kannattimien ja vetopyörän avulla. Vastapainon tarkoituksena on vähentää korin nostamiseen tarvittavaa tehoa. (Liite 2)

Sähkökäyttöisissä hisseissä koneistot on sijoitettu pääsääntöisesti hissikuilun yläpuolelle, mutta löytyy myös kuilun alle tai sivuille sijoitettuja koneistoja. Hissikuilun yläpuolelle sijoitetut koneistot ovat suosittuja, koska siinä säästytään taittopyörien käytöltä. Näinä päivinä hissien koneistot ovat pienentyneet ja suurin osa uusista henkilöhissein onkin konehuoneettomia eli koneisto on sijoitettu hissikuiluun, kuten kuvassa 1 nähdään.



Kuva 1. Konehuoneettoman hissinn periaatekuva [6]

Konehuoneeton hissi säästää kustannuksissa, kun erillistä konehuonetta ei tarvitse rakentaa. Huonona puolena hissien käyttäjien kannalta voidaan pitää koneistosta mahdollisesti aiheutuvaa ääntä, kun äänieristyksenä ovat vain hissikorin seinät.

Pääsääntöisesti korin kannattimina käytetään perinteisiä teräsköysiä tai uudenlaisia kumipäällysteisiä hihnoja. Hihnojen hyvänä puolena teräsköysiin verrattuna voidaan pitää hissien äänettömämpää kulkua.

3 MITATTAVAT SUUREET

Standardin ISO 18738 mittalaitteelle asettamien vaatimusten pohjalta voidaan määrittää hissikyydin laatua mittaavat suureet. Kolme raja-arvojen suhteen tärkeää mitattavaa suuretta ovat kiihtyvyys, värinä ja ääni. Nopeus mitataan referenssin ominaisuudessa ja sille ei määritellä raja-arvoa, joten sitä ei käydä tässä läpi.

3.1 Kiihtyvyys

Kiihtyvyys (tunnus a) tarkoittaa jonkin kappaleen muutosnopeutta jossain tiettyssä ajassa. Kiihtyvyyden yksikkönä käytetään SI-järjestelmän mukaan m/s^2 eli se on matkan toinen derivaatta ajan suhteen. Kiihtyvyys on vektorisuure eli sillä on aina suunta ja suuruus. Jos kiihtyvyyden etumerkki ja suunta ovat samat kuin nopeuden, vauhti kasvaa, ja jos etumerkki tai suunta on vastakkaiset, vauhti hidastuu. Koska nopeuskin on vektorisuure, johon suunta oleellisesti liittyy, katsotaan fysiikassa kiihtyvyydeksi myös kappaleen suunnan muutos.

Mekaniikassa kiihtyvyys perustuu Newtonin toiseen lakiin (1).

$$F = m * a \quad , \quad (1)$$

jossa

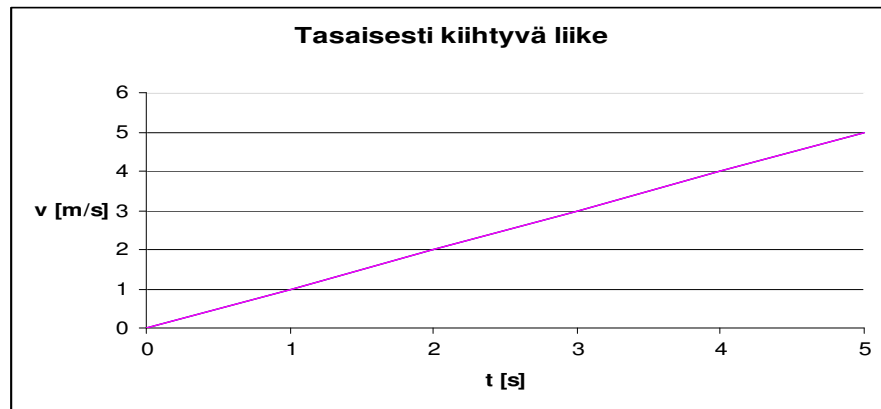
F = voima

m = massa

a = kiihtyvyys.

3.1.1 Tasaisesti kiihtyvä liike

Nopeuden muuttuessa esimerkiksi joka sekunti yhtä paljon, kutsutaan tätä tasaisesti kiihtyväksi liikkeeksi. Siis ajan suhteen muuttuva nopeuden kuvaaja on suora (kuva 2).



Kuva 2. Tasaisesti kiihtyvä liike

Tasaisesti kiihtyvä liike voidaan laskea kaavan 2 mukaisesti.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} , \quad (2)$$

jossa

Δv = nopeuden muutos

Δt = ajan muutos.

Kiihtyvyys a on siis suoran kulmakerroin.

3.1.2 Hetkellinen kiihtyvyys

Kun nopeuden muutosta mitataan hyvin pienellä aikavälillä, voidaan puhua hetkellisestä kiihtyvyydestä. Tätä käytetään esimerkiksi kiihtyvyyden tehollisarvon a_{rms} laskemiseen. Kiihtyvyyden tehollisarvo määritellään kaavalla 3.

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} , \quad (3)$$

jossa

a = hetkellinen kiihtyvyys

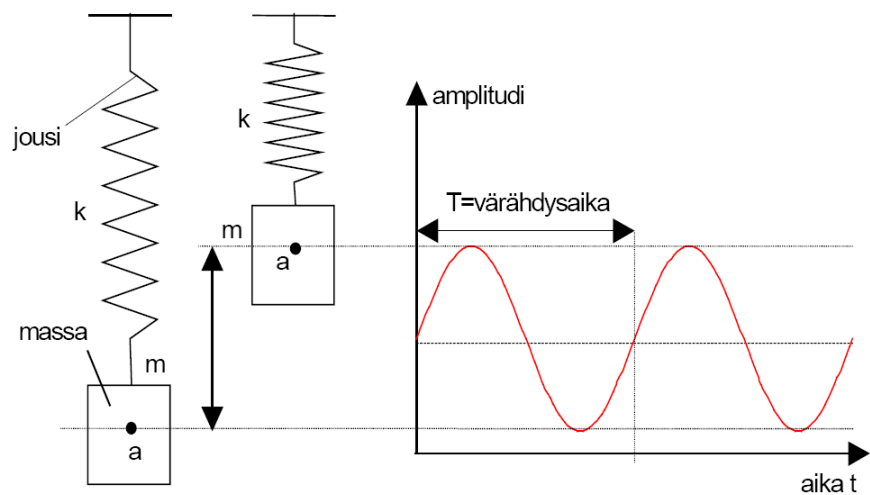
T = mittausjakson pituus

t = aika.

3.2 Tärinä

Tärinä on mekaanista värähtelyä eli liikettä tasapainoaseman ympärillä. Tärinä voi olla jaksollista tai sattumanvaraista. Joissakin laitteissa värähtely on toivottua, kuten kaiuttimissa tai ääniraudassa. Ylipäätään laitteissa, joissa toivotaan äänen aikaansaamista. Kuitenkin useimmiten mekaanisissa laitteissa tärinää ei toivota esiintyvän, sillä se on käytännössä kokonaan hukattua energiaa. Esimerkiksi pyörivissä laitteissa esiintyvä tärinä enteilee mahdollista epätasapainoa.

Periaatteessa kaikki värähtelevät laitteet ovat jousi-massasysteemejä, sillä mikään laite ei ole täysin jäykkä. Kuvassa 3 on esitetty yksinkertainen esimerkki jousi-massasysteemistä.



Kuva 3. Jousi-massasysteemin pisteen a esittäminen aikatasossa

3.2.1 Tärinän tyypit

On olemassa kahdenlaista värähtelyä: vapaata värähtelyä sekä pakotettua värähtelyä. Vapaata värähtelyä esiintyy, kun sammutetaan jokin mekaaninen systeemi ja annetaan sen värähdellä vapaasti. Tätä voidaan kuvata vaikka ääniraudan avulla eli lyödään sitä kerran ja annetaan sen soida. Tällöin äänirauta värähtelee kerran tai useammin omalla taajuudellaan ja loppuu itsestään. Tätä omaa taajuutta kutsutaan ominaisvärähtelytaajuudeksi.

Pakotettu värähtely on kyseessä silloin, kun jokin voima tai liike lisätään mekaaniseen systeemiin. Esimerkiksi voidaan ottaa pesukone, joka tärisee lin-

gotessaan, johtuen epätasapainosta. Toinen hyvä esimerkki on kerrostalo, mikä tärisee maanjäristyksen aikana. Pakotetun värähtelyn taajuus riippuu mekaaniseen systeemiin lisätyn voiman tai liikkeen taajuudesta sekä itse mekaanisen systeemin ominaisuuksista, kuten kokoluokasta.

3.2.2 Tärinäsuureet

Tärinässä tarkastellaan yleisesti siirtymää, nopeutta tai kiihtyvyyttä. Taulukossa 1 on esitetty mitattavat suureet yksiköineen.

Taulukko 1. Euroopassa käytettävät yleisimmät tärinäsuureet

Mitattava suure	Lyhenne	Yksikkö
Siirtymä	s	μm (= 1/1000 mm)
Nopeus	v	mm/s
Kiihtyvyys	a	m/s^2 tai $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Tärinän kiihtyvyyden yksikkönä käytetään yleisesti myös maan vetovoiman kiihtyvyyttä g. Hissin ajomukavuuden arvioinnissa ihmisen koko kehon tärinää mitattaessa standardin mukainen suure on kiihtyvyys ja yksikkönä m/s^2 .

3.3 Ääni

Ääni on mekaanista aaltoliikettä, joka etenee väliaineessa. Väliaineen olemuoto voi olla kiinteä, kaasumainen, nestemäinen tai plasma. Ääni voidaan havaita kuuloaistimuksena, tuntoaistimuksena tai mittaamalla. Matalat äänet voidaan tuntea värähtelynä. Äänen tieteellistä tutkimusta kutsutaan akustikaksi. Kaasuissa, plasmassa ja nesteissä etenee vain pitkittäinen ääniaalto, kun kiinteissä aineissa etenee sekä pitkittäinen että poikittainen.

3.3.1 Äänen fysiikkaa

Äänen taajuuden yksikkö on hertsi [Hz]. Taajuus on ääniaaltojen värähtelyjen lukumäärä sekunnissa. Mitä nopeammin värähtelyjä tapahtuu, sitä korkeampana ääni kuullaan. Ihmiskorva erottaa yleensä 16 - 20 000 Hz:n taajuudella kulkevia ääniaaltoja. Vanhemmiten ihmiseltä usein häviävät kuuloalueesta korkeimmat taajuudet.

Ääni etenee ilmassa noin 343 m/s, vedessä noin 1482 m/s ja esimerkiksi teräksessä noin 5100 m/s. Äänen nopeus riippuu väliaineen laadusta, paineesta ja lämpötilasta.

Äänivärähtelyt koostuvat yleensä monista osavärähtelyistä. Esimerkiksi musikaalinen ääni sisältää äänenkorkeuden määräävän perusaallon sekä joukon yliaaltoja, joiden taajuudet ovat perusaallon kerrannaisia antaen äänelle sen värin.

Äänen aallonpituus voidaan laskea kaavalla 4.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad , \quad (4)$$

jossa

λ = äänen aallonpituus

c = äänen etenemisnopeus

f = äänen taajuus.

3.3.2 Äänen intensiteetti

Äänen edetessä se merkitsee samalla tietyn tehon P siirtymistä. Tehon siirtymässä tietyn poikkipinnan A kautta, kutsutaan kyseistä suuretta äänen intensiteetiksi I ja yksikkönä on W/m^2 . Koska äänen intensiteetti vaihtelee useiden kymmenen potenssien alueella, samoin kuin korvan kuulokykykin, käytetään yleisesti desibeliasteikkoa, joka on logaritminen. Puhutaan äänen intensiteettitasosta L , jonka yksikkö on dB. Asteikon ollessa lineaarisen sijasta logaritminen, pystytään käsittelemään niin isoja kuin pieniäkin lukuja. Kuvassa 4 on esitetty desibelitalukko arkielämän äänille.

DESIBELIASTEIKKO ARKIELÄMÄN ÄÄNILLE

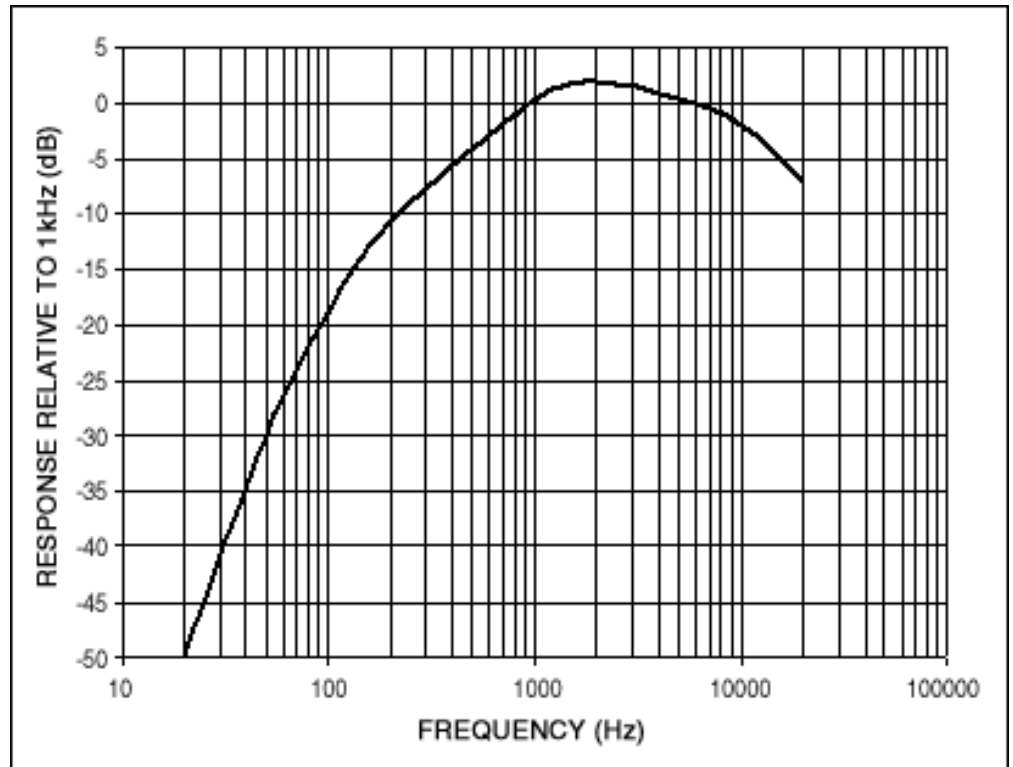
0 dB	kuulokynnys
10 dB	lehtien havina
20 dB	tyhjän studion kohinat
30 dB	kodin pohjahäly
40 dB	konserttialissa hiljaisin pianissimo
50 dB	hiljainen keskustelu
60 dB	kovaääninen keskustelu
70 dB	radion kuuntelu- voimakkuus, keskim.
85 dB	diskon meluraja
100 dB	telakka, kova melu katupora
130 dB	kipuraja
yli 130 dB kuulolle vaarallinen melu	

Kuva 4. Desibeliasteikko arkielämän äänille [2]

Äänen intensiteettitaso L kuvataan desibeliasteikolla kaavan 5 mukaisesti.

$$L = 10dB * \log \frac{I}{I_0} \quad (5)$$

Eli äänen intensiteettiä I verrataan referenssitason I_0 , jonka suuruus on 10^{-12} W/m^2 , joka vastaa ihmisen kuulokynnystä 100 Hz:n taajuudella.



Kuva 5. A-painotteinen käyrä [10]

Äänenpainetasoa mitattaessa käytetään yleisesti A-painotusta, mikä on lähellä ihmisen korvan kuuloaluetta.

4 STANDARDIT

Standardit ovat osaltaan hyvin tärkeitä, sillä ne määrittelevät käytettävät yksiköt mahdollisine painotuksineen ja yhteneväisen tavan mitata ja tulkita asioita. Näin voidaan mitata hissikyydin laatua eri mittalaitteilla ja saada keskenään vertailukelpoisia tuloksia. Ilman standardeja tuloksien tulkitseminen ainakin asiakkaan näkökulmasta olisi mahdotonta. Annettavasta raportista olisi mahdoton tulkita hissikyydin laatua, jos kaikki valmistajat käyttäisivät eri yksiköitä mitattavissa suureissa tai painottaisivat esimerkiksi taajuuksia itsensä kannalta edullisimmalla tavalla. Yhtenäinen mittaustapa ja analysointi antaa hissien valmistajille selkeät pelisäännöt.

Standardeja ISO 2631-1, ISO 8041 ja IEC 61672-1 käydään tässä vain lyhyesti läpi, kun taas hissikyydin laadun mittauksen mittalaitteiston vaatimukset sekä käytettävät suureet määrittävää standardia ISO 18738 selkeästi laajemmin.

4.1 ISO 2631-1

ISO 2631-1 määrittelee ihmisen altistumisen koko kehon tärinälle. Se jakaa ihmiseen kohdistuvan tärinän kolmeen eri tapaan: terveys, mukavuus ja tärinän havainnointi sekä matkapahoinvointi. Standardi määrittelee terveydelle, mukavuudelle ja havainnoinnille taajuusalueeksi 0,5 - 80 Hz ja matkapahoinvoinnille 0,1 - 0,5 Hz. Mukavuus ja havainnointi ovat oleellisin osuus hissikyytiä ajatellen. [17.]

Standardi määrittelee istuvan, seisovan sekä makaavan ihmisen altistumista koko kehon tärinälle. Se määrittelee mittaustavan sekä alueeseen kuulumattomien taajuuksien poistoon käytetyt suodattimet. Mittaus on standardin mukaan suoritettava jokaisen akselin suunnassa juuri siitä pisteestä, mihin tärinä kohdistuu. Seisovan ihmisen kohdalla se on kontaktipinta eli lattia. [17.]

4.2 ISO 8041

ISO 8041 määrittelee mittauslaitteet koko kehon tärinälle ja käsitärinälle. Standardi mukailee hyvin pitkälle standardin ISO 2631-1 laskukaavoja ja taajuuspainotuksia. Tärinän mittaukseen soveltuvan anturin minimivaatimuksia ei ole, vaan standardi antaa vain suositukset. Nämä on tarkoitettu terveyden tutkimiseen kohdistuvien tärinäantureiden vähimmäisvaatimuksiksi. Standardi määrittää horisontaalisen tärinän huipputaajuusvasteeksi 1,6 Hz ja vertikaalisen tärinän huipputaajuusvasteeksi 5 Hz. Näillä taajuuspainotuksilla analysoidaan hissien ajokäyrän tärinöitä. [18.]

4.3 IEC 61672-1

IEC 61672-1 määrittelee mittauslaitteiston vaatimukset ja taajuuspainotukset äänen tason mittaamiselle. Se korvaa standardin IEC 60651. IEC 61672-1 jakaa mikrofonit luokkaan 1 ja luokkaan 2. Erot näiden välillä ovat pääosin toleransseissa ja lämpötilan kestossa. Hissien äänenpainetasoa mittaamiseen käytetään luokan 2 mikrofonia. [19.]

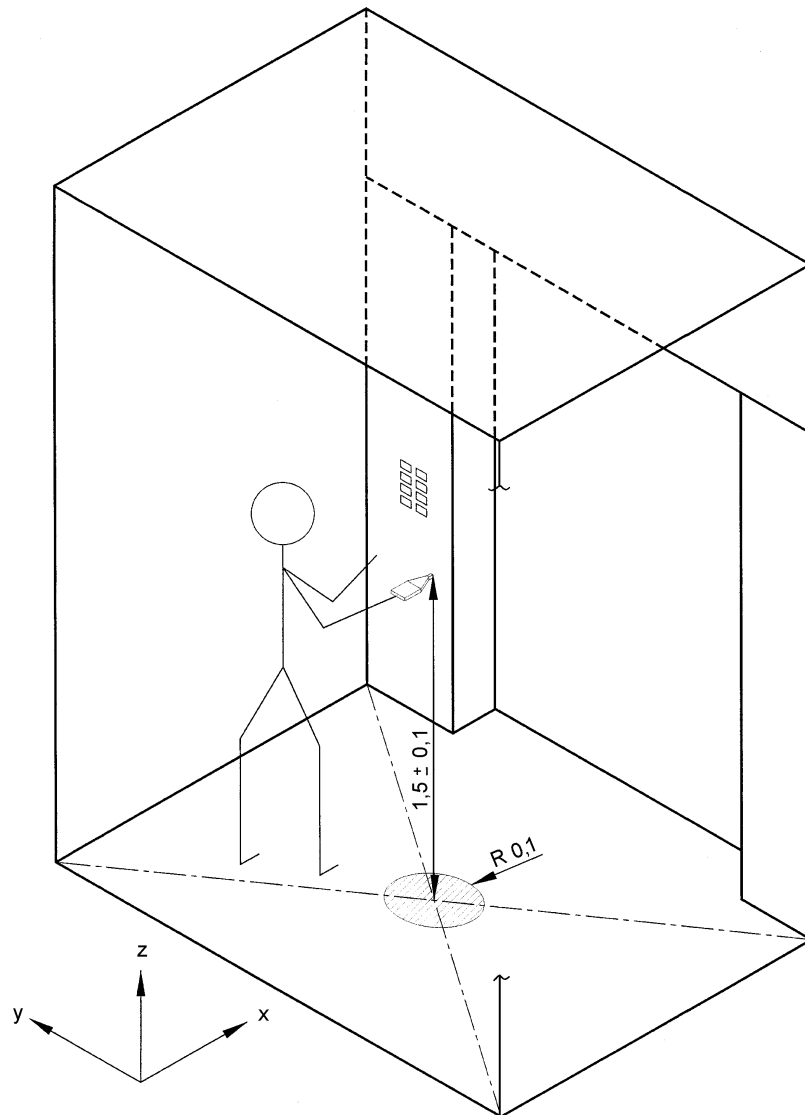
4.4 ISO 18738

Standardi ISO 18738 määrittelee mittauslaitteet standardin ISO 8041:n pohjalta hissikyydin laadun mittauksille. Se myös määrittelee tarkat mittauspaikat ja sen, miten mittaus suoritetaan. Tämä on tärkein standardi hissien ajokäyrän mittaamiseen tarkoitetuille mittalaitteille ja tulosten analysoinnille. Se on laadittu aiemmin tekstissä mainittujen standardien pohjalta soveltaen hissialaan sopivaksi, koska mitään standardia ei hissien ajomukavuuden mittaukselle ollut. Tarvetta oli uudelle standardille, koska aiemmin hissivalmistajat saattoivat mitata eri menetelmillä ja silti kaikki olivat oikeita tuloksia, mutteivät vertailukelpoisia. [20.]

Ensimmäinen versio standardista ISO 18738 on vuodelta 2003 ja tällä hetkellä ollaan valmistelemassa päivitystä, josta onkin jo luonnos valmiina. ISO 18738 ei määrittele, onko hissikyydin laatu hyvä tai huono, koska hissiala on alati kehittyvä ja se vaatisi standardin päivittämistä jopa vuosittain. Se antaa vain yhteneväisen tavan mitata ja analysoida hissikyydin laatua.

4.4.1 Mittauspaikat ja mittauksen suoritus

Standardissa määritellään mittalaitteiden paikat sekä mittauksen suoritus. Kuvassa 6 on esitetty standardin määrittelemät mittauspaikat sekä se, miten suunnat esiintyvät hissikoriin nähden.



Kuva 6. Mittausantureiden paikat ja suunnat [20; SFS:n luvalla]

Mittalaite täytyy standardin mukaan asettaa keskelle lattiaa vastaamaan hississä seisovaa ihmistä. Kiihtyvyyttä mittaavan anturin tulee sijaita 10 cm:n säteellä hissikorin keskustasta. Äänen painetta mittaavan mikrofoniin tulee sijaita suoraan kiihtyvyyttä mittaavan anturin yläpuolella $1,5 \pm 0,1$ m:n korkeudella. X-akselin tulee olla suoraan hissikorin ovelle päin ja Y-akselin sivulta sivulle. Z-akseli on hissikoriin nähden pystysuuntainen.

Standardi määrittelee myös hissien lattiaan kohdistuvan vähimmäispaineen mittauksen aikana. Vähintään pitää painetta olla yhdessä kosketuspisteessä yli 60 kPa, mikä arviolta vastaa ihmisjalan painetta. Tällä tavalla vältetään myös lattian mahdollinen ylimääräinen värinä ja mittaustulokset vastaavat paremmin realistista tilannetta. Maksimissaan hissikorissa ei kuitenkaan tule olla mittauksen aikana kuin kaksi henkilöä. Paineen suuruuden voi laskea esimerkiksi näin: Oletetaan ihmisen seisovan hississä ja hänen painostaan 90 % on kantapäillä. Molempien kantapäiden lattiakosketuksen ympärysmitta C on 0,25 m. Seuraavien kaavojen avulla voidaan laskea lattiaan yhteen pisteeseen kohdistuva pinta-ala A .

$$C = \pi * d \quad (6)$$

$$A = \pi * r^2, \quad (7)$$

missä

C = ympärysmitta

d = halkaisija

r = säde

A = pinta-ala (yhteen pisteeseen kohdistuva)

Voidaan laskea järjestyksessä kaavojen mukaan tai yhdistää kaavat, jolloin saadaan laskettua pinta-ala suoraan.

$$A = \pi * \left(\frac{C}{2\pi}\right)^2 = 3,14 * \left(\frac{0,25m}{2 * 3,14}\right)^2 = 0,00497m^2 \quad (8)$$

Ihmisen paino siis on 90 % kantapäillä ja 10 % päkiällä. Oletetaan, että ihmisen massa on 68 kg, silloin yhteen pisteeseen kohdistuva maksimimassa voidaan laskea kaavalla.

$$m_1 = \frac{0,9 * m}{2} = \frac{0,9 * 68kg}{2} = 30,6kg \quad (9)$$

Näiden arvojen avulla saadaan laskettua yhteen pisteeseen kohdistuva keskimääräinen paine p seuraavalla kaavalla.

$$p = \frac{m_1 g}{A} = \frac{30,6 * 9,80665 m / s^2}{0,00497 m^2} = 60400 Pa > 60 kPa , \quad (10)$$

jossa g on maan vetovoima.

4.4.2 Mittauksen arvostelu

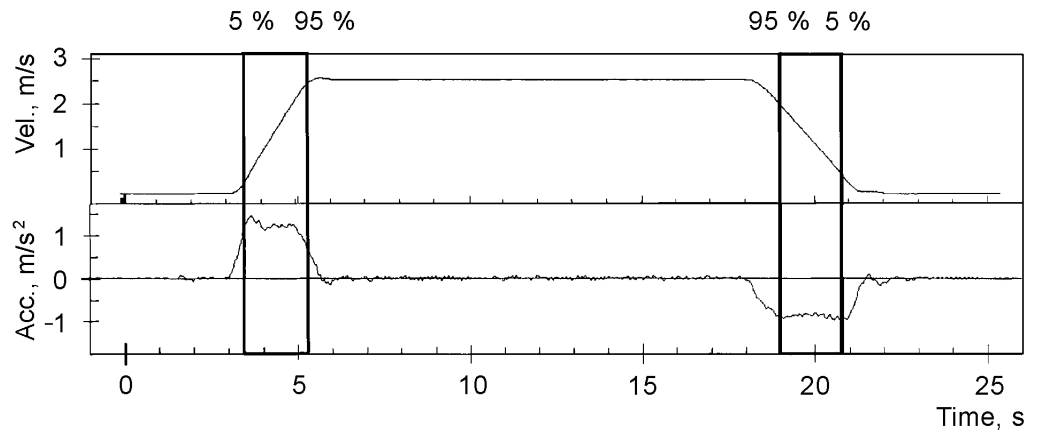
Mittauksen laskennalliset raja-alueet standardi jakaa neljään eri osaan:

- Raja 0 vähintään 0,5 sekuntia ennen ovien sulkeutumisen alkamista.
- Raja 1 500 mm hissien liikkeelle lähdön jälkeen aloitettavasta kerroksesta.
- Raja 2 500 mm ennen hissien pysähtymistä viimeiseen kerrokseen.
- Raja 3 vähintään 0,5 sekuntia ovien avautumisen jälkeen.

Rajat 0 ja 3 sisältävät hissien liikkeelle lähdön ja pysähtymisen, jotta voidaan varmistaa tuloksen paikkansapitävyys matkan laskemisessa kiihtyvyyden signaalista.

Standardissa määritellään myös tarkoin, mitä kaikkea täytyy raportissa olla hissikyydin laatua arvioitaessa. Raportin tulee sisältää kiihtyvyys, hidastus, nykäisy, värinät, nopeus ja äänet.

Kiihtyvyyden ja hidastuksen laskentaan alkuperäisestä signaalista käytetään 10 Hz:n alipäästösuodinta. Raportissa tulee esiintyä kiihtyvyyden ja hidastuksen maksimiarvo sekä A95 painotettu arvo. A95 kiihtyvyys lasketaan 5 prosentista 95 prosenttiin maksiminopeuden signaalista ensimmäiseltä puolikkaalta rajojen 0 ja 3 väliltä. Hidastuvuus lasketaan 95 prosentista 5 prosenttiin maksiminopeuden signaalista toiselta puolikkaalta rajojen 0 ja 3 väliltä. Kuvassa 7 on havainnollistettu A95 painotuksen laskentaa.



Kuva 7. A95 kiihdytyksen ja hidastuksen laskenta [20; SFS:n luvalla]

Kiihdytyksen ja hidastuksen aluissa sekä loppuissa tapahtuva nykäisy eli kiihtyvyyden muutosnopeus, ilmoitetaan vain maksimiarvona. Yksikkönä käytetään m/s^3 ja se mitataan vertikaalisesti eli z-akselin suuntaisesti rajojen 0 ja 3 väliltä. Laskenta tapahtuu kiihtyvyyden signaalista, mikä on käsitelty 10 Hz:n alipäästösuotimella.

Tärinät ilmoitetaan jokaisen kolmen akselin suhteen erikseen. Horisontaaliset (X, Y) ja vertikaalinen (Z) erotetaan lopullisessa analyysissä omiksi arvoikseen, johtuen ihmisen reagoinnin eroista horisontaaliseen ja vertikaaliseen tärinään. Suurena on kiihtyvyys ja yksikkönä käytetään m/s^2 tai galileota ($1 \text{ Gal} = 0,01 \text{ m/s}^2$). Tärinät määritetään kiihtyvyyden painotetusta signaalista.

Horisontaalisista eli x- ja y-akselin suuntaisista tärinöistä standardin mukaan ilmoitetaan sekä huipusta huippuun maksimi arvo että huipusta huippuun A95 painotettu arvo. Nämä lasketaan jo aiemmin määritettyjen rajojen 1 ja 2 väliltä. Myös käsittelemättömän mittausdatan huipusta huippuun arvot ilmoitetaan.

Vertikaalisista eli z-akselin suuntaisista tärinöistä standardin mukaan täytyy ilmoittaa huipusta huippuun maksimi arvo ja huipusta huippuun A95 painotettu arvo. Horisontaalisien tärinöiden laskennasta poiketen, nämä arvot lasketaan rajojen 0 ja 3 väliltä. Myös vertikaalisen tärinän käsittelemättömän mittausdatan huipusta huippuun arvot ilmoitetaan.

Nopeudesta standardi määrittelee ilmoittamaan maksimi arvon sekä V95 painotetun arvon. V95 lasketaan tiettyjen rajojen väliltä. Nämä rajat ovat kiihdytyksessä alkaen 95 %:n kohdalta nopeuden maksimi arvosta loppuen

1 s tämän jälkeen. Hidastuksessa alkaen 1 s ennen 95 %:n kohtaa nopeuden maksimi arvosta. Nopeus määritellään joko erikseen mittaamalla tai integroimalla kiihtyvyyden 10 Hz:n alipäästösuotimella käsitelty signaali.

Äänistä standardin mukaan tulee ilmoittaa äänen paineen maksimi-arvo sekä A-painotettu ekvivalentti jatkuva äänenpainetaso L_{Aeq} nopealla aikavakiolla rajojen 1 ja 2 väliltä. Ekvivalentti jatkuva äänenpainetaso L_{Aeq} lasketaan kaavan 11 mukaisesti.

$$L_{Aeq} = 10 \log^* \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} * \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_A^2}{p_0^2} \right) dt \right] \quad (11)$$

jossa

p_0 = äänenpaineen referenssitaso = 20 μ Pa

p_A = A-painotettu äänenpainee

t_1 = mittauksen alku

t_2 = mittauksen loppu.

5 MITTALAITE

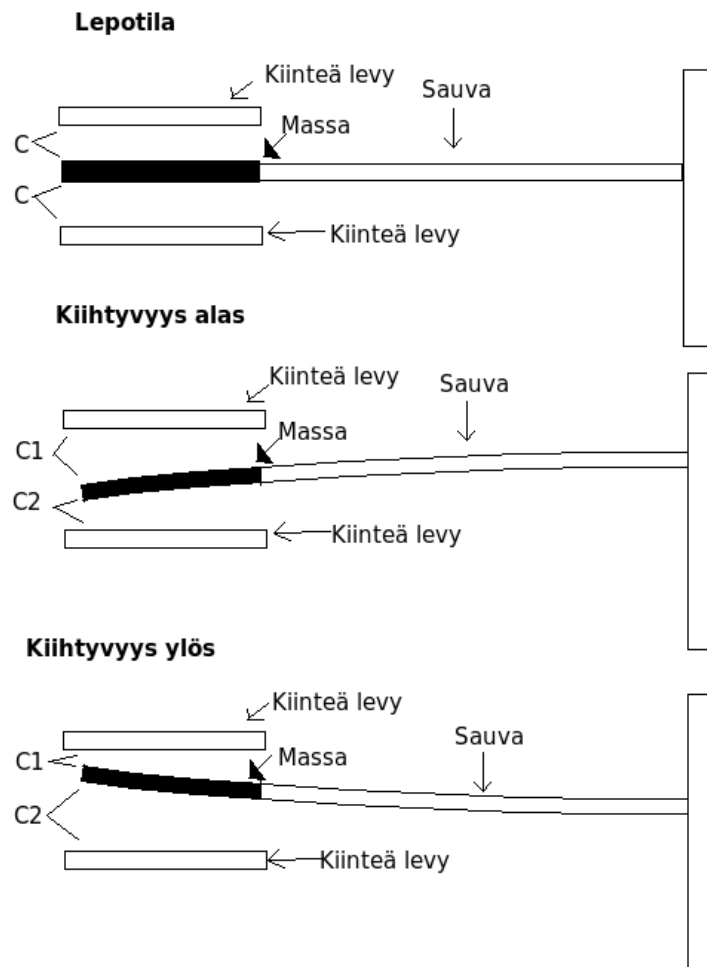
Standardin ISO 18738 mukaan hissien ajokäyrän mittaamiseen tarkoitetuilta mittavälineiltä edellytetään kolmeen suuntaan kiihtyvyyttä mittaavia antureita, äänen painetta mittaavaa anturia sekä tietoa keräävää, tallentavaa ja käsittelevää laitetta. Kiihtyvyyttä mitataan kiihtyvyyssanturin avulla ja tietoa kerätään sekä tallennetaan tiedonkeruulaitteilla. Tietojen käsittelyyn käytetään siihen soveltuvaa analysointiohjelman ja äänen paineen mittaus suoritetaan tarkoitukseen sopivan mikrofonin avulla.

5.1 Kiihtyvyyssanturi

Kiihtyvyyssanturia käytetään tänä päivänä monissa paikoissa, kuten teollisuudessa, puhelimissa, autoissa, kameroissa, roboteissa, urheiluvälineissä ja kelloissa. Sen käyttö on yleistynyt viime vuosina huomattavasti, ja koko ajan keksitään uusia käyttötarkoituksia.

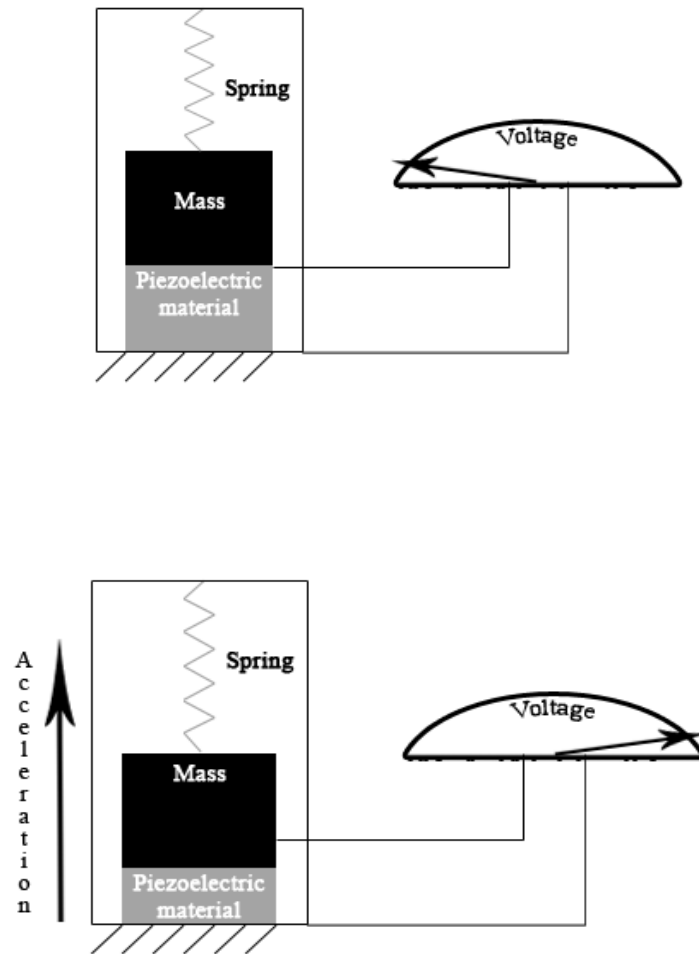
Kiihtyvyyssanturin toimintaperiaate on sängen yksinkertainen. Yleisesti anturissa on massa, johon liikkeestä kohdistuva voima mitataan. Sen toiminta perustuu Newtonin toiseen lakiin (1). Anturi täytyy kalibroida maan vetovoiman suhteen, muuten se näyttää $9,81 \text{ m/s}^2$ kiihtyvyyttä ylöspäin. Anturi mittaa voimien vaikutusta kolmen eri akselin suhteen. Akselit ovat X, Y ja Z. Antureita voidaan valmistaa käyttötarkoituksen mukaan mittaamaan joko yhden, kahden tai kolmen akselin suuntaan.

Kiihtyvyyssantureita voidaan valmistaa toimimaan usealla eri tekniikalla. Hyvin yleisesti käytetään kapasitiivisia kiihtyvyyssantureita niiden luotettavuuden ja edullisuuden vuoksi. Kapasitiivinen anturi voidaan tehdä siten, että kahden elektrodilevyn väliin laitetaan piisauva, jonka päähän on kiinnitetty lisämassa voimistamaan kiihtyvyyden aiheuttamaa sauvan taipumaa. Kiihtyvyyden muutos saa siis sauvan taipumaan lähemmäksi toista elektrodilevyä. Tästä aiheutuva kapasitanssin muutos voidaan mitata ja muuttaa jännitetiedoksi. Kuvassa 8 on havainnollistettu kapasitiivisen kiihtyvyyssanturin toimintaperiaate.



Kuva 8. Kapasitiivisen kiihtyvyyssanturin toimintaperiaate

Pietsosähköisessä kiihtyvyyssanturissa mittaus perustuu aineen ominaisuuteen luoda jännite päidensä välille puristuessaan kokoon. Tämä jännite on suoraan verrannollinen aineeseen vaikuttavaan voimaan. Pietsosähköiset aineet ovat sähköä johtamattomia kiteitä, keraameja tai polymeereja. Kuvassa 9 on esitetty pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin toimintaperiaate.



Kuva 9. Pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin toimintaperiaate

Kiihdytyksen tapahtuessa ylöspäin massa painaa pietsosähköisen materiaalin kasaan, jolloin materiaalin päihin syntyy jännite. Tämä jännite osoittaa voiman suuruuden.

Edellä mainitut kaksi tekniikkaa ovat yleisimmin käytetyt. On olemassa myös monia muita tapoja tehdä kiihtyvyyssanturi, kuten magneettikenttään tai kaasussa lämpötilan muutoksiin reagoivia.

5.2 Tiedonkeruulaite ja ohjelmisto

Tiedonkeruulaitteet ovat elektronisia laitteita, joilla voidaan mitata ja tallentaa mittatietoja antureilta. Tiedonkeruulaitteet ovat myös mitatun datan ja eri mitaustilanteita varten laadittujen mittausasetusten säilytyspaikka ja siirtoväline jatkokäsittelyä varten.

Dataloggereita eli tiedonkeruulaitteita on olemassa monia erilaisia. Karkeasti tiedonkeruulaitteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään; toisissa on sisäiset anturit ja toisissa käytetään ulkoisia antureita. Koko riippuu usein tallennuskapasiteetista sekä kanavien määrästä. Yleensä tiedonkeruulaitteet ovat kannettavia ja toimivat akuilla.

Tiedonkeruulaitteet sisältävät mikroprosessorin, sisäisen muistin ja ainakin jonkinlaisen ohjelmiston. Toisissa ohjelmisto on vain toiminnan kannalta oleellinen ja toisissa sillä voidaan näyttää ja analysoida kerättyä tietoa.

Tiedonkeruulaitteilla voidaan lukea melkein mitä tahansa signaalia, kuten jännitteitä, virtaa, lämpötilaa, kosteutta tai vaikkapa kierroslukua. Signaali voi olla niin analogista kuin digitaaliskin.

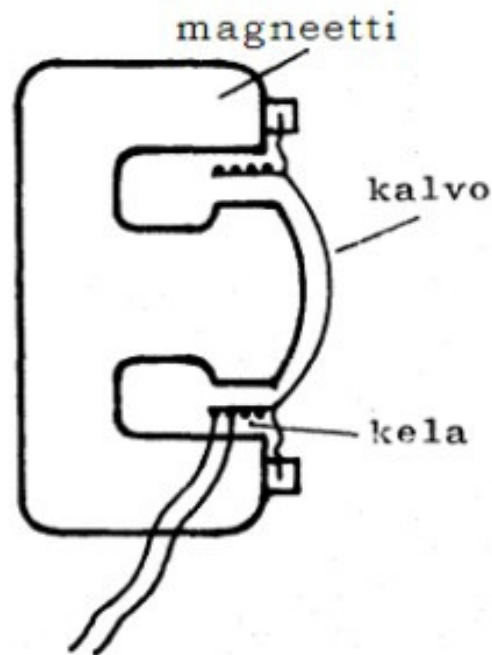
5.3 Mikrofoni

Mikrofoni on sähköakustinen muunnin, jonka tehtävänä on muuttaa äänen värähtelyt sähköiseksi värähtelyksi. Mikrofonien käyttötarkoituksia on lukemattomia, ja niiden perusteella ne myös yleensä jaotellaan. Kuitenkin sähköisen toimintaperiaatteen ja suuntakuvion mukaan jaottelu on täsmällisempää. [3; 5.]

5.3.1 Mikrofonin toimintaperiaate

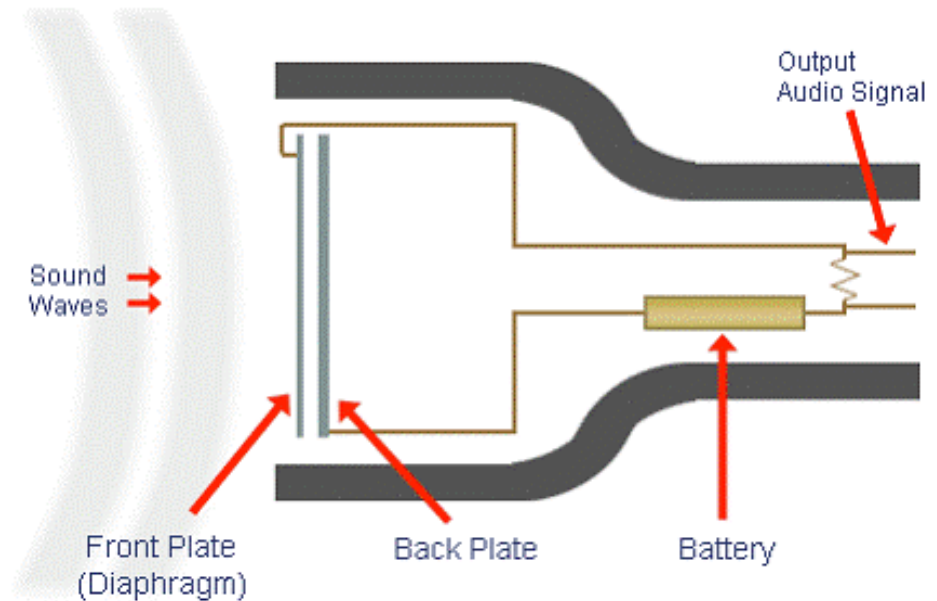
Toimintaperiaatteita on useita, mutta yleisimmin käytetyt ovat dynaamiset mikrofonit ja kondensaattorimikrofonit. Nämä tuottavat laadullisesti hyvää ääntä, eivätkä ole kohtuuttoman kalliita valmistaa. Dynaaminen mikrofoni on kuitenkin yleisemmin käytetty paremman hinta-laatusuhteensa vuoksi.

Dynaamisen mikrofonin toimintaperiaate perustuu kelaan kiinnitettyyn mikrofonikalvoon, joka liikkuu magneettikentässä. Ilman liike saa kalvon värähtelemään, mikä saa kelan liikkumaan magneettikentässä, jolloin kelan päihin indusoituu värähtelyä vastaava jännite. Kuvassa 10 on havainnollistettu dynaamisen mikrofonin toimintaperiaate.



Kuva 10. Dynaamisen mikrofonin toimintaperiaate [3]

Kondensaattorimikrofoni on rakenteeltaan hieman monimutkaisempi kuin dynaaminen mikrofoni. Kondensaattorimikrofonissa on ohut sähköä johtava kalvo, joka on asennettu metallilevyn lähelle. Tämä yhdistelmä toimii kondensaattorina, joka varataan ulkoisen virtalähteen avulla. Ilman liike saa kalvon värähtelemään ja silloin muuttuu myös kalvon ja metallilevyn etäisyys. Nämä etäisyyden muutokset aiheuttavat kondensaattorin sähkövarauksen muutoksia, jotka vastaavat äänen paineen muutoksia. Kuvassa 11 on esitetty kondensaattorimikrofonin toimintaperiaate.



Kuva 11. Kondensaattorimikrofonin toimintaperiaate [4]

Kondensaattorimikrofoneja käytetään usein äänimittauksissa niiden hyvän taajuusvasteen vuoksi.

5.3.2 Mikrofonin suuntakuviot

Suuntakuviot (kuva 12) ovat toinen oleellinen asia taajuusvasteen lisäksi mikrofonin käyttötarkoitusta ajatellen. Ne kertovat kuinka herkkä mikrofoni on mistäkin suunnasta. Suuntakuviot mikrofoneihin rakennetaan muuttamalla kalvon suhdetta runkoon nähden.

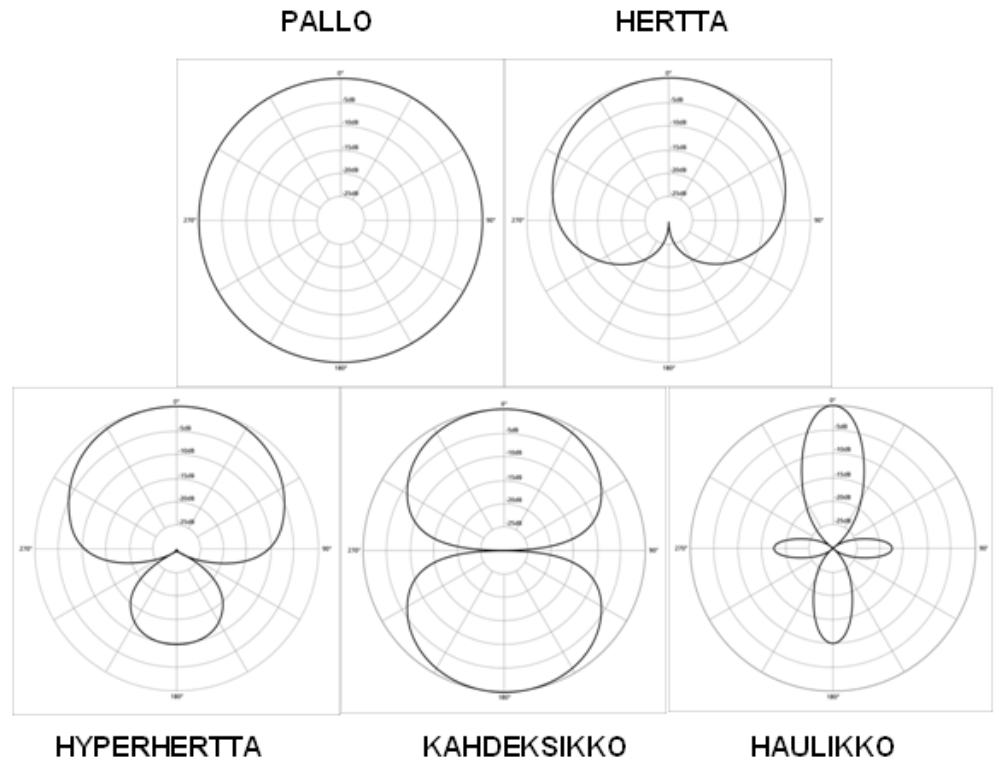
Pallon muotoinen suuntakuvio poimii äänet joka suunnalta yhtä voimakkaasti. Se on äänimittauksissa hyvin yleisesti käytetty.

Hertta on eteenpäin suuntautunut kuvio eli se poimii edestä ja sivuilta tulevat äänet voimakkaammin, mutta takaa tulevat äänet heikosti.

Hyperhertta poimii ääniä muuten samaa kaavaa hertan kanssa noudattaen, mutta suoraan takaa tulevat äänet hieman voimakkaammin.

Kahdeksikon muotoinen suuntakuvio poimii äänet yhtä hyvin niin edestäpäin kuin takaapäinkin, mutta sivuilta tulevat äänet heikommin.

Haulikko on erittäin voimakkaasti eteenpäin suuntaava kuvio. Se poimii myös takaapäin tulevat äänet kohtuullisella voimakkuudella. Sopii käytettäväksi esimerkiksi haastatteluissa.



Kuva 12. Mikrofonin yleisimmät suuntakuviot [5]

6 MITTALAITTEEN VALINTA

Mittalaitteen valinta perustuu jo olemassa olevien, hissien ajokäyrän mittamiseen tarkoitettujen mittalaitteiden vertailuun tai sellaisen suunnitteluun. Ymmärtääkseen mittalaitteita paremmin on ensin hyvä lähteä tutkimaan jo olemassa olevia mittalaitteita. Tämän jälkeen pystyy paremmin suunnittelemaan sellaisen, jos tarvetta siihen ilmenee. Suunnittelun osuutta on käyty läpi lyhyesti mittalaitteeseen tarvittavien mittavälineiden vertailun myötä. Mittavälineitä eli kiihtyvyyssantureita, tiedonkeruulaitteita ja mikrofoneja vertailaan hyvin pintapuolisesti, sillä suunnitteluun varattu aika ei ollut riittävä. Aikataulun pettäminen johtui siitä syystä, että mittalaitetta lähdettiin suunnittelemaan ennen kuin tutustuttiin kaupallisiin versioihin. Täten päädyttiin vain alustaviin valintoihin ja keskityttiin jo olemassa olevien mittalaitteiden vertailuun.

6.1 Kiihtyvyyssanturit

Kiihtyvyyssanturin valinnassa ainoana konkreettisena vaihtoehtona voitiin pitää kolmeakselista kiihtyvyyssanturia. Sen luotettavuus ja toimintarajat ovat tänä päivänä huippuluokkaa. Myös häiriön sietokyky on kasvanut huomattavasti. Luonnollisesti kiihtyvyyssantureita löytyy niin hyviä kuin huonojakin. Asiaan perehtymättömien on turhien ostosten ja testausten välttämiseksi hyvä valita isojen ja tunnettujen yritysten katalogista sopivat vaihtoehdot ja vertailla niitä keskenään. Mahdolliset arvostelut mahdollisimman monesta luotettavasta ja puolueettomasta lähteestä auttavat valitsemaan sopivat yritykset ja tätä kautta myös itse kiihtyvyyssanturit.

6.1.1 *Brüel & Kjær ja 4515-B-002*

Brüel & Kjær on yksi suurimmista värinän ja äänen mittausratkaisuihin erikoistuneista yrityksistä. Sillä on pitkä historia muun muassa kiihtyvyyssanturien kehitystyöstä. Kiihtyvyyssantureita Brüel & Kjærilla on useita, ja tähän valittiin kolmeakselinen 4515-B-002. Se on pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi ja Brüel & Kjær käyttää sitä eräässä värinää mittaavassa mittalaitteessaan koko kehon värinän mittaukseen, joten se soveltuu käyttötarkoitukseen hyvin. Sen taajuusvaste on 0,25 - 900 Hz, mikä on ehkä hieman suuri mitattavien taa-

juuksien ollessa 0 - 80 Hz. 4515-B-002 pakataan tukevaan kuoreen, jonka voi sitten itse päällystää tarkoitukseen sopivalla tavalla. 4515-B-002 kuluttaa käytössä virtaa 10 mA, joten sitä voidaan käyttää kenttälaitteessa. [7.]

6.1.2 VTI Technologies ja CMA3000-A01

VTI Technologies on kotimainen ja maailman johtava piipohjaisten kapasitiivisten kiihtyvyyss- ja paineantureiden suunnittelija ja valmistaja. VTI:llä on erittäin hyvä maine kiihtyvyyssanturien valmistajana ja sen tukipalvelut ovat hyvät. CMA3000-A01 on analoginen kolmeakselinen kiihtyvyyssanturi ja sen virran kulutus on erittäin pieni, vain 180 μ A. Kooltaan se on tällä hetkellä pienin kolmeakselinen kiihtyvyyssanturi. Mittausalueiltaan ja herkkyydeltään CMA3000-A01 soveltuu hissien ajomukavuutta mittaavaan laitteeseen hyvin. Sen taajuusvaste on 0 - 200 Hz eli se sopii tähän tarkoitukseen. [1.]

6.2 Tiedonkeruulaitteet ja ohjelmistot

Tiedonkeruulaitteille oleelliset valinnan perusteet ovat kanavien määrä sekä ohjelmiston sopivuus tarkoitukseen. Mukavuusmittarin tärkeimpiin asioihin kuuluu ohjelmisto, jolla voidaan analysoida mitattua dataa standardien mukaisesti. Tämän vuoksi ohjelmiston rungon tulee olla tarpeeksi kattava ja muokattavuuden hyvä.

Kanavia on oltava vähintään neljä, sillä kiihtyvyyden mittaukset vaativat kolme ja äänet yhden. Näytteenottotaajuuden tulisi olla vähintään 160 Hz eli kaksi kertaa suurempi kuin mitattavan taajuusalueen suurimman taajuuden. Kun kanavien määrä on pieni, saadaan tiedonkeruulaitteen koko pidettyä suhteellisen pienenä, mutta tällöin myös tallennettavan tietomäärän suuruus on rajallisempi. Helppokäyttöisyys on myös yksi edellytys, sillä käyttöaste tulee olemaan sen verran pieni. Ei ole tarkoituksenmukaista opetella mittalaitteen käyttöä ennen jokaista mittausta aina uudestaan.

Tiedonkeruulaitteita on tarjolla todella paljon. Harva kuitenkin täytti asetetut vaatimukset, joten vertailuun valitut tiedonkeruulaitteet oli helppoa löytää. Vertailuun valitut olivat Svantekin SVAN 958 ja Rionin RION DA-20.

6.2.1 SVAN 958

SVAN 958 on ohjelmistoltaan todella laaja, mutta se vaikuttaa erittäin hankalalta käyttää. Kanavia siinä on neljä ja koko on suhteellisen pieni. SVAN 958 on painoltaan puoli kiloa eli sopiva kannettavaksi laitteeksi. Tiedonkeruulaitteeksi se vaikuttaa kentällä helppokäyttöiseltä (kuva 13) ja sen tietoliikenne ominaisuudet ovat monipuoliset. USB- ja RS232- sarjaportit ovat vakiona. Taajuusalue on 0,5 - 20000 Hz ja näytteenottotaajuus 48000 Hz. Toiminta-aika normaaleilla pattereilla on vähintään 10 tuntia. [21.]



Kuva 13. SVAN 958 [21]

6.2.2 RION DA-20

RION DA-20 on ominaisuuksiltaan todella lähellä tavoiteltua. Siinä on neljä kanavaa sekä vain äänelle tarkoitettu lisäkanava. Jokaiselta kanavalta voidaan mitata 0,5 - 20000 Hz:n taajuusalueelta. Näytteenottotaajuudeksi voidaan valita joko 2,4 tai 2,56 kertaa taajuusalueen ylin taajuus. Ohjelmisto on kattava tärinöiden sekä äänien analysointiin. Muokattavuus ei ole kylläkään helppoa nykyiselle ohjelmistolle, mutta mahdollista kyllä. RION DA-20 on mukavasti käteen sopiva ja erittäin kevyt, alle puoli kiloa. Sitä on helppo käyttää kentällä, sillä näppäimet ovat hyvin sijoitettu ja ne ovat loogisia. Käynnistysnappi on vihreä ja pysäytysnappi punainen. Tämän lisäksi ne on

merkitty vielä erikseen kaukosäätimistä tutuilla merkinnöillä eli käynnistysnappi on merkitty kolmiolla ja pysäytysnappi neliöllä (kuva 14). Toiminta-aika riippuu käytettävien kanavien määrästä ja näytteenottotaajuuden suuruudesta. Vähintään toiminta-aika kuitenkin on 5 tuntia. RION DA-20 vaikuttaa kai-kin puolin erittäin laadukkaalta tuotteelta. [22.]



Kuva 14. RION DA-20 [22]

6.3 Mikrofonit

Mikrofonien valinnassa käytettiin apuna kontakteja musiikkialalta. Tällä tavoin vertailuun saatiin helposti valittua kaksi mikrofonia. Suuntakuvioltaan mikrofoniin tulee olla pallo, jotta kaikkialta tulevat äänet tallentuvat yhtä herkästi. Dynaaminen alue tulee olla ainakin 30 -90 dB välillä. Vertailuun valittiin jo aiemmin mainitun Brüel & Kjærin valmistama mittamikrofoni malli 4961 ja malli 40AD valmistajana G.R.A.S.

6.3.1 Brüel & Kjær Type 4961

Brüel & Kjær on alansa ehdottomia huippuja äänen painetta mittaavissa laitteissa. Dynaaminen mittausalue on 30 dB – 120 dB ja herkkyys on erittäin

hyvä. Standardi vaatii vähintään luokan 2 vaatimukset täyttävää mikrofonia. Malli 4961 täyttää luokan 1 vaatimukset. Mikrofonin tarkkuus on todella hyvä kaikista suunnista. Ylimääräisten äänien suodattaminen toimii mallikkaasti, joten sitä voidaan käyttää vaativimmissakin olosuhteissa. Taajuusvasteeltaan se on hyvä koko mittausalueella. Korkeilla taajuuksilla tapahtuu hieman enemmän vaimennusta. 4961 on laadultaan erittäin hyvä. [30.]

6.3.2 *G.R.A.S Type 40AD*

40AD:n dynaaminen mittausalue 16 dB – 148 dB eli hieman laajempi kuin tarvittava. Mikrofonin herkkyys ja tarkkuus ovat selvästi keskitason yläpuolella. 40AD on taajuusvasteeltaan koko mittausalueelta hyvä ja mahdollisten häiriöäänien suodatus toimii kelvollisesti. Mikrofonin on kaikin puolin keskitasoa parempi mittamikrofonin. [14.]

6.4 Mittavälineiden valinta

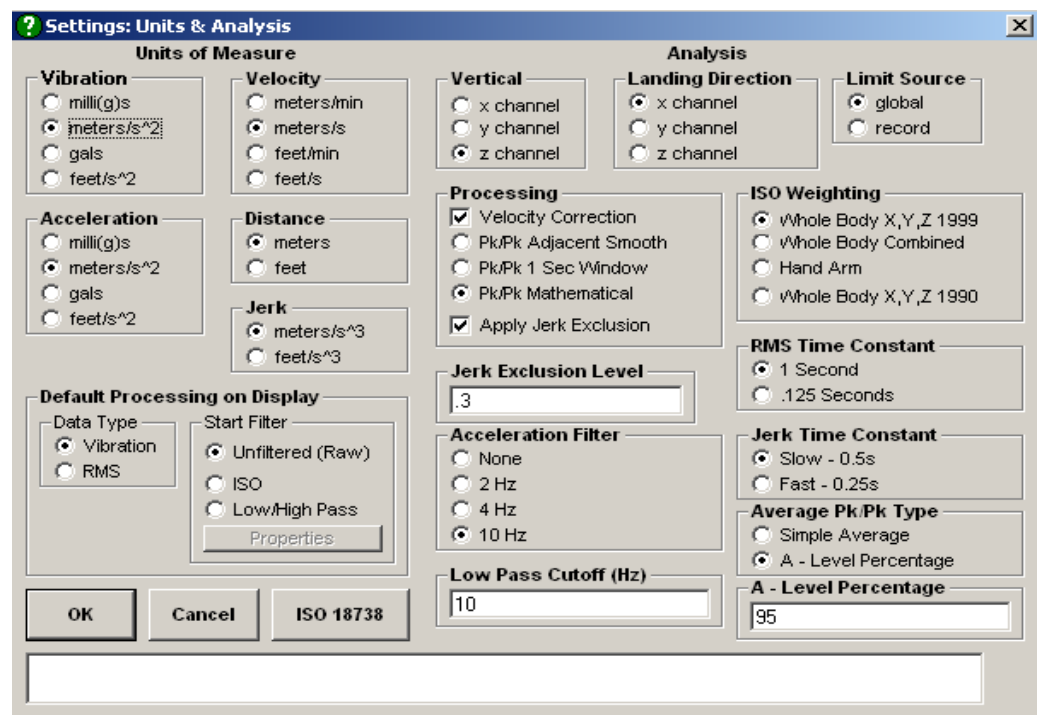
Mittalaitteen suunnittelu standardin mukaiseksi vaatii paljon aikaa ja tutkimuksia. Alustavan tutkimisen perusteella mittalaitteen rakennuspalikoiksi valittiin VTI:n CMA3000-A01 kiihtyvyyssanturi, sillä tukitoiminnot olisivat lähellä ja VTI:llä oltiin halukkaita auttamaan omalta osaltaan anturin soveltamisessa mittalaitteeseen. Mittalaitteen suunnittelussa asiantuntijan apu on erittäin tärkeää varsinkin selvittäessä kiihtyvyyssanturin yhteensopivuutta tiedonkeruulaitteeseen. Tiedonkeruulaitteeksi valittiin RION DA-20, koska sen ominaisuudet ovat suoraan hyvin lähellä mittalaitteelta vaadittuja ominaisuuksia. Siinä ei ole turhia kanavia, se on kevyt, ja ohjelmisto on kohtuullisesti muokattavissa ja varsin monipuolinen. Ennen kaikkea RION DA-20 on erittäin helppokäyttöinen. Mikrofonin valinnassa vaikuttivat hyvin paljon käyttäjien arvostelut sekä tunnettu valmistaja. Brüel & Kjærin 4961 on näistä kahdesta hyvästä mikrofonista parempi ja soveltuu hyvin mukavuusmittarin mikrofoniksi hyvän tarkkuutensa vuoksi. Mittalaitteen suunnitteluun kireäköllä aikataululla ei asiaan paremmin perehtymättömän kannata ryhtyä, sillä ohjelmiston uudelleen muokkaaminen standardien mukaiseksi saattaa tuottaa aikataulun suhteen vaikeuksia.

6.5 Mukavuusmittarit

Valmiita hissien ajomukavuutta mittaavia laitteita on markkinoilla hyvin rajallinen määrä. Perinpohjaisen etsinnän jälkeen niitä löytyi kolme sopivaa mallia, mitkä ovat vain tätä tarkoitusta varten valmistettu. Kahdella niistä historia ulottuu aina 1990-luvun puolelle ja kolmas omaa parin vuoden historian. Thomas Instruments valmistaa VMS-200E:tä ja PMT (Physical Measurements Technologies Inc.) EVA-625:tä. Nämä kaksi ovat hyvin samanlaisia niin ulkonäöltään kuin ohjelmistonsakin puolesta. Henning GmbH valmistaa LiftPC:tä. Vertailuun otettiin kaksi eri aikakausien mittalaitetta eli EVA-625 ja LiftPC.

6.5.1 EVA-625

Mukavuusmittari EVA-625 oli syntyessään markkinoiden ainut hissikyödin laatua standardien mukaan mittaava laite. EVA-625:n fyysinen olemus ei ole muuttunut vuosien saatossa juuri ollenkaan ja elektroniikka on hyvin pitkälle samaa kuin 10 vuotta sitten. Ohjelmistoa sen sijaan on päivitetty ahkerasti ja huolella. Sitä on helppo käyttää ja sen ominaisuudet ovat kattavat. Kuvassa 15 nähdään EVA-625:n ohjelmiston valikko, josta voi suoraan valita ISO 18738:n mukaiset yksiköt ja painotukset.



Kuva 15. ISO 18738:n määrittelemät yksiköt ja painotukset EVA-625:ssä

EVA-625 on ulkomuodoltaan paksun ja pienen salkun muotoinen (kuva 16). Siinä on kätevä kantokahva sekä kova kuori suojaamassa.



Kuva 16. EVA-625 [8]

Kooltaan EVA-625 on isohko, mutta pitää sisällään kaiken tarvittavan hissien ajomukavuuden mittaamiseen. Kiihtyvyyssanturit on sijoitettu avattavan kannen alle, kuten mikrofonikin sekä langallinen kaukolaukaisu. Kannen alta paljastuu myös pieni näyttö ja neljä nappulaa, joiden avulla mittalaitetta käytetään.

EVA-625:n tiedonsiirto hoidetaan sarjaportin kautta, mikä ei enää tänä päivänä ole kovinkaan yleistä. Sarjaporttiliitäntää ei enää uusista kannettavista löydy, joten tiedonsiirtoa varten on ostettava erillinen USB/DB9-adapteri sekä ohjelma.

6.5.2 LiftPC

LiftPC edustaa modernimpaa mittalaitetta. Tiedonsiirto on nopeaa ja vaivatonta Bluetoothin tai USB:n kautta. Mitattavan datan voi analysoida jo suoraan paikan päällä. Tästä on etua, jos mittalaitetta käytetään vian etsintään.

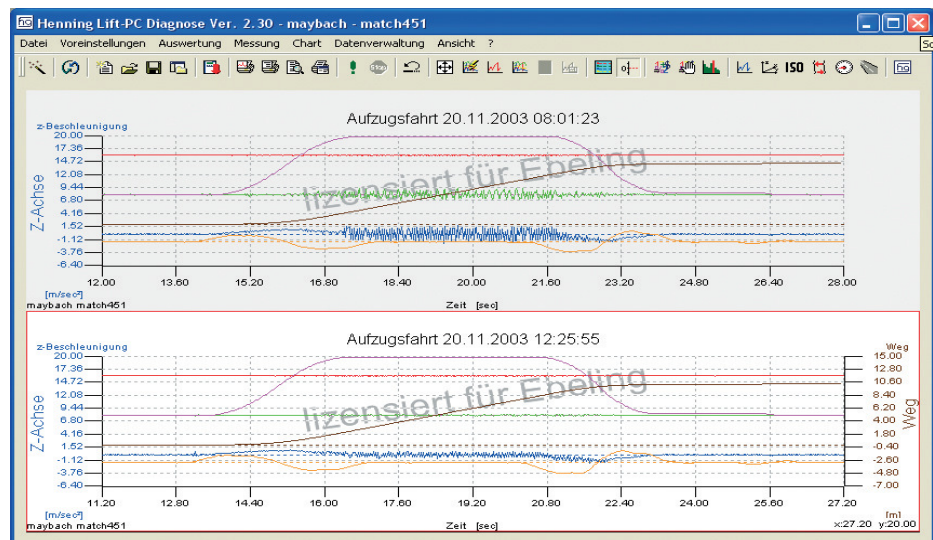
LiftPC on koottu erillisistä anturiyksiköistä sekä kannettavasta tietokoneesta. Kiihtyvyyssanturi on laitettu pieneen kuutioon, jota voi näppärästi siirrellä tarpeen mukaan. Lisäksi on erillinen äänimittari, mistä näkee jo suoraan äänen voimakkuuden. Tietokoneeseen voidaan liittää Bluetooth-yksikkö, jos halutaan seurata värinöitä tietokoneelta reaaliajassa. On myös olemassa pieni tiedonkeruulaite, jonka avulla mittaustieto saadaan talletettua ja purettua myöhemmin koneelle. Näillä pystytään jo mittaamaan hissikyödin laatua, mutta kaikkien yksiköiden käsitteleminen on hieman hankalaa. Kuvassa 17 näemme LiftPC:n peruspaketin, jolla voidaan mitata hissien ajomukavuuden värinöitä, muttei ääniä. Mikrofoni on saatavana lisälaitteen ominaisuudessa.



Kuva 17. LiftPC [9]

LiftPC on käyttötarkoitukseltaan monipuolisempi kuin mitä hissien ajomukavuuden mittaamiseen tarvittaisiin. Sen avulla pystyy mittaamaan niin koneistojen kuin yksityiskohtaisemmin vaihteistojen tai jopa laakereiden tärinöitä. LiftPC tarjoaa lisälaitteen muodossa myös mahdollisuuden mitata yksittäisen kannatinköyden kuormaa.

LiftPC:n ohjelmisto on erittäin kattava, mutta vaikuttaa käytöltään hieman monimutkaiselta. Ominaisuudet on suunniteltu enemmän vianhallintaan kuin pelkästään hissien ajomukavuuden analysointiin. Yksi iso positiivinen asia on mahdollisuus vertailla eri hissien ajokäyriä. Vertailuun voidaan ottaa myös saman hissien kahden eri kerran ajokäyrät. Esimerkiksi ennen ja jälkeen huollon, kuten kuvassa 18 on esitetty.



Kuva 18. LiftPC:n kahden eri ajokäyrän vertailu [9]

6.6 Mukavuusmittarin valinta

Mittalaitteen valintaa tehdessä on aina hyvä muistaa luotettavuuden sekä tarvittaessa valmistajan tuen ja kokemuksen merkitys. EVA-625 isosta koostaan ja vanhahkosta tekniikastaan huolimatta on tällä hetkellä paras mukavuusmittari. Sen ohjelmisto on hyvin looginen ja helpohko käyttää ja mittaminen sujuu sillä vaivattomasti. LiftPC on tekniikaltaan huomattavasti edistyneempi ja pienempi, mutta mukana tulevien erillisten anturien myötä kokokin kasvaa. LiftPC:n ohjelmisto vaikutti hieman kankealta, mutta eri hissien graafinen vertailu on helppoa, ja tämä on ison plussan arvoinen ominaisuus. Valittiin käytettäväksi mittalaitteeksi EVA-625.

7 HISSIN AJOKÄYRÄN RAJA-ARVOJEN MÄÄRITTÄMINEN

Hissin ajomukavuus ja hissikyydin laatu ovat itse asiassa selkeästi eri käsitteitä, ja ne ovat subjektiivisia, mutta voivat olla myös objektiivisia riippuen oletko matkustaja, valmistaja, konsultti vai hissin omistaja [24]. Hissin ajokäyrän raja-arvoja käsitellään tässä puolueettoman osapuolen näkökulmasta. Standardit eivät määrittele raja-arvoja hissien ajomukavuudelle, vaan mitattavat suureet, niiden painotukset, mittaustavat ja -välineet.

Hissien ajokäyrän raja-arvojen määrittäminen ajomukavuuden kannalta ilman valtavaa määrää mittaustietoja ja tutkimuksia on vain suunnan näyttämistä. Ajomukavuutta koskevia tutkimuksia ei juuri ole tehty sitten 1990-luvun. 2000-luvulla kiinnostuksen kohteena ovat olleet uudet tekniset sovellukset yhdistettynä hissien kuljetuskapasiteetin maksimoimiseen. Viime vuosina on yleisesti keskitytty hissien energiatehokkuuteen, mikä hyvin pitkälle noudattaa samoja linjoja hissien ajomukavuuden kanssa.

7.1 Mukavuusvaatimukset

Ihmisen mukavuusvaatimuksia hissikyydistä on hyvin vaikea lähteä arvioimaan, sillä olemme jokainen yksilöitä ja reagoimme asioihin eri tavalla. Tämän lisäksi on olemassa lukuisia muuttujia, mitkä vaikuttavat oleellisesti ihmisen mukavuuden tunteeseen. Helpoimmin havaittavia mukavuustekijöitä ovat tärinät, äänet ja esteettisyys. Näistä vain kahta ensimmäistä on mahdollista mitata. Lisäksi voidaan mitata myös kiihtyvyyttä sekä nykäisyä.

7.1.1 Tärinät

Tärinää arvioitaessa on huomion arvoista muistaa sen psykologinen merkitys. Ihmisten odotukset hissikyydistä vaihtelevat hyvin paljon. Yksi merkittävimmistä tekijöistä on henkilön aiemmat kokemukset. Tähän vaikuttavat osaltaan myös kulttuurilliset tekijät, sillä esimerkiksi Japanissa hissikyydin odotukset ovat mukavuuden suhteen mahdollisimman tasaisessa kyydissä [26]. Nopeus kerrosten välillä ei ole niinkään merkittävä tekijä, kuten esimerkiksi Amerikassa, missä suoritusarvoilla on suurempi merkitys kuin tärinöillä [26].

Ihmisen kokemukset hissien ajomukavuudesta perustuvat hyvin pitkälle tunteeseen, mutta myös fyysinen kunto vaikuttaa paljon, varsinkin jos se ei ole kovin hyvä. Useiden tutkimusten mukaan äkilliset piikit tärinästä vaikuttavat mukavuuteen eniten [29]. Matkustajalla saattaa olla esimerkiksi selkä huonossa kunnossa, jolloin tasainen tärinä vähänkään korkeammalla taajuudella ei tunnu epämiellyttävältä, mutta äkillinen tärähdys todennäköisesti hyvinkin inhottavalta.

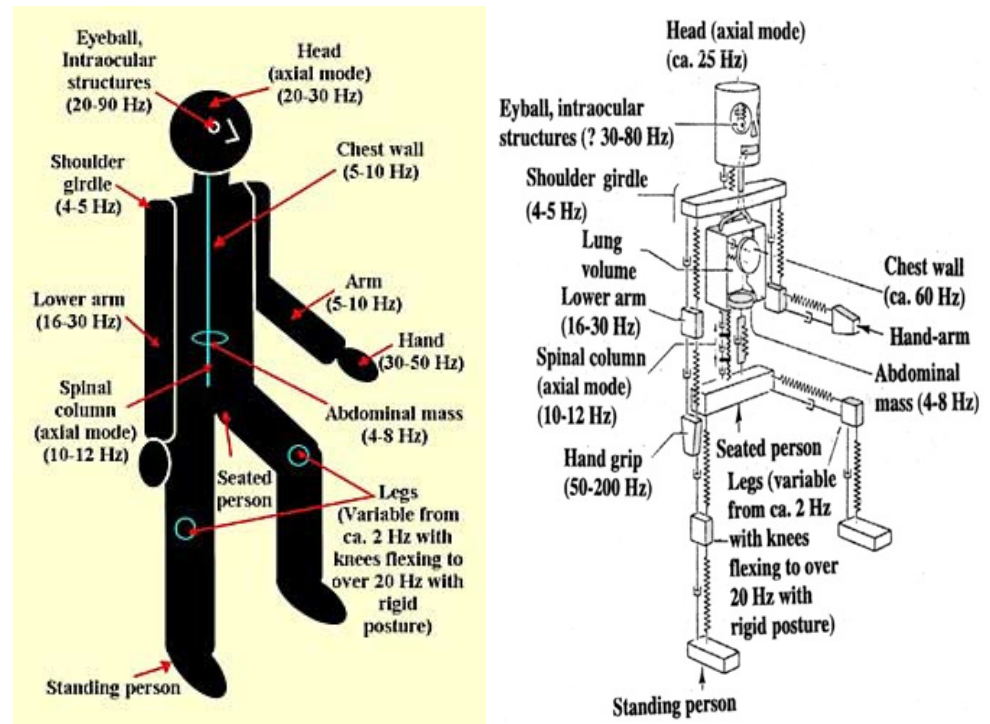
Ihmisen kokemukset tärinästä saattavat vaihdella hyvinkin paljon. Jo vuorokauden aika vaikuttaa kehoon ja samalla siihen, miten havainnoimme tärinää. Muuttujia on yhtä lukematon määrä kuin meitä ihmisiäkin. Taulukossa 2 on esitetty yleisimmät muuttujat ihmisen mielipiteeseen tärinästä.

Taulukko 2. Yleisimmät muuttujat ihmisen mielipiteeseen tärinästä [11]

Ulkoiset muuttujat	Sisäiset muuttujat
Tärinän voimakkuus	Kehon asento, paino ja koko
Tärinän taajuus/taajuudet	Ikä
Tärinän suunta/suunnat	Sukupuoli
Tärinän vaikutusalue/alueet	Kokemus
Tärinän kesto	Odotukset
Muut muuttujat (ääni, kosteus, lämpötila, jne)	Persoonallisuus
	Kunto, vireystila

Hississä usein matkustetaan seisovassa asennossa, jolloin ihminen voi vaikuttaa resonanssitaajuuteen lihaksillaan sekä asennollaan. Kuvassa 19 on esitetty kahden eri tutkimuksen mukaiset ihmisen resonanssitaajuudet. Ihmisestä kuitenkin on hyvin vaikeaa mitata kaikkia resonanssitaajuuksia erikseen, sillä viereiset elimet ja osat vaikuttavat toisiinsa [25]. Tutkimuksissa käytetäänkin yleisesti vain ihmisen ominaistaajuutta, vaikka resonanssitaajuu-

juuksien on todettu vaikuttavan ihmiseen negatiivisesti. Ihminen kokee matalataajuiset horisontaaliset värinät epämukavana, kun korkeataajuiset jäävät miltei kokonaan havainnoinnin ulkopuolelle. Esimerkiksi matkapuhelinvointi on sidonnainen erittäin matalataajuiseseen horisontaaliseen värinään.



Kuva 19. Ihmisen resonanssitaajuuudet [11]

Hississä matkaava haluaa usein kokea olevansa hississä. Se voi olla monelle tärkeäkin asia, esimerkiksi huonokuuloisille vanhuksille. Jos hissi kulkee täysin ilman värinöitä ja kiihtyvyyden on sen verran rauhallinen, ettei sitä huomaa, saattaa matkustaja luulla hissillä olevan rikki, koska ei koe liikku-neensa kerrosten välillä.

Värinän suunnalla on oleellinen merkitys sen havainnointiin. Vaakasuu-ntainen eli horisontaalinen värinä koetaan yleisesti herkemmin kuin pystysuu-ntainen eli vertikaalinen värinä. Horisontaalisista värinöistä x-akselin suun-ntainen värinä on hankalammin vaimennettavissa ihmisen seisossa normaalisti. Edestakaisin huojuminen aiheuttaa herkemmin epämukavan olotilan, koska sitä on vaikeampi kontrolloida. Kuvassa 20 on havainnollistettu horisontaalinen ja vertikaalinen värinä.



Kuva 20. Horisontaalinen ja vertikaalinen värinä [16]

7.1.2 Äänet

Ihmisen ääniherkkyys on erittäin yksilöllistä. Yleisesti voidaan sanoa, että hissien äänien ei toivota ylittävän hiljaisen puheäänien rajaa (kuva 4). Toisaalta hissien ei toivota olevan täysin äänetönkään, sillä äänen psykologinen merkitys hissien liikkuaessa voi olla merkittävä. Toisille saattaa äänettä aiheuttaa vaivautuneisuutta ja toiset saattavat keskittyä äänien puuttuessa enemmän hissien värinäihin, jolloin on suurempi todennäköisyys pitää kyytiä epämukavana.

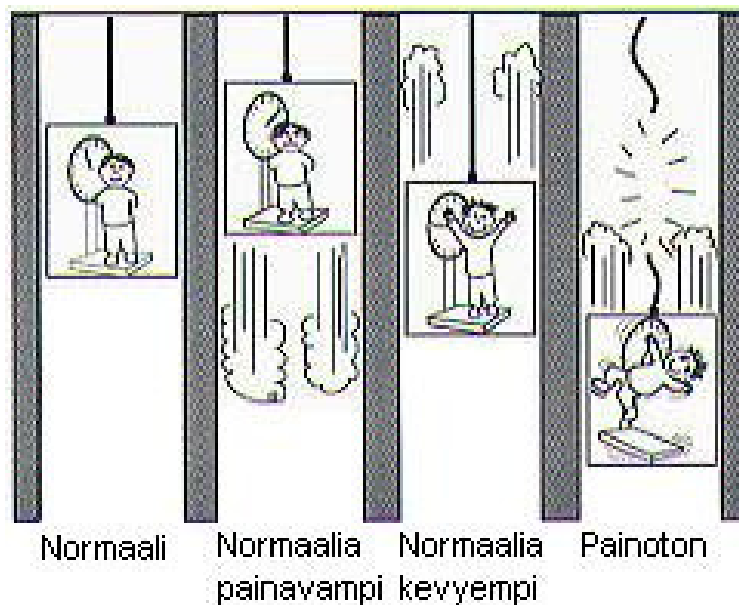
Äänen häiritsevyyteen vaikuttaa myös osaltaan sen informaation sisältö. Häiritsevyys lisääntyy, jos ääntä pidetään tarpeettomana tai siihen assosioituu jokin pelko, esimerkiksi ihminen saattaa pelätä hissien putoamista.

Äänen merkitys ja toivottu voimakkuuden arviointi on hyvin kompleksinen, sillä muuttujia on niin paljon. Ympäristön vaikutus on myös suuri, sillä äänen voimakkuuden arviointiin vaikuttaa oleellisesti se, mihin sitä verrataan. Esimerkiksi jos ihminen tulee hissiin suoraan vilkkaan kadun varrelta tai työmaan lähettäviltä, ei hän oletettavasti tule kiinnittämään kovin paljoa huomiota hissien mahdollisiin ylimääräisiin ääniin, sillä äänen voimakkuus hississä on mitä luultavimmin huomattavasti hiljaisempi kuin sen ulkopuolella.

Äänen vaihteluvoimakkuus koetaan pääsääntöisesti epämukavampana kuin äänen karheus eli riitasointi. Alemmilla taajuuksilla ihminen erottaa paremmin äänekkyuden vaihtelun, kun korkeammilla taajuuksilla vaihtelua on vaikeampi havaita ja se alkaa kuulua karheutena. Vaihtelu havaitaan voimakkaimmin 4 Hz:n taajuudella ja äänen karheus on suurimmillaan 70 Hz:n taajuudella. [23; 31].

7.1.3 Kiihtyvyys

Hissin kiihtyessä ylöspäin, ihminen painautuu lattiaa vasten. Jos tämä kiihtyvyys on liian suuri, se koetaan epämiellyttävänä, varsinkin jos siihen ei osata varautua. Hidastuksen ollessa liian suuri alaspäin, ihmisen kokema tuntemus on samanlainen. Alaspäin kiihdytettäessä ihmisen hissikorin lattiaan kohdistama paine pienenee ja ihminen kokee olevansa kevyempi. Jos kiihtyvyys tässä on liian suuri, saattaa ihminen kokea hetkellisesti vapaan putoamisen tunteen. Kuvassa 21 on havainnollistettu edellä selitetyjä tapahtumia painon muutoksen avulla.



Kuva 21. Kiihtyvyyden vaikutus painoon [15]

Pääsääntöisesti kuitenkin voidaan sanoa, että kiihtyvyys ja hidastus koetaan mukavimpana silloin, kun ne ovat tasaisia. Ne koetaan epämiellyttävinä, jos ne tapahtuvat askeleittain. [24.]

7.1.4 Nykäisy

Jokainen joka on matkustanut vanhassa hississä, on kokenut nykäisyn. Voimakkaimmin ihminen havaitsee sen kerrokseen tultaessa hissien liikkues-
sa alaspäin, sillä painovoima voimistaa sen vaikutusta. Nykäisyä kasvatta-
malla saadaan hissien liikkumista tehokkaammaksi, kun ei tarvitse hidastaa
pehmeästi kerrokseen, mutta usein se myös joudutaan tekemään ajomuka-
vuuden kustannuksella. Hyväksi nykäisyä voi kutsua silloin, kun sen pystyy
juuri ja juuri havainnoimaan, jolloin matkustaja pystyy paremmin tuntemaan
hissien liikkeen alun ja lopun.

7.1.5 Esteettisyys

Esteettisyys on tärkeä tekijä ihmisen arvioidessa asioita. Tämän vuoksi
myös esteettisyys on oleellista hissikyydin laatua arvosteltaessa. Esimerkiksi
jos ihminen käy koeajamassa kahta autoa, joista toinen miellyttää hänen es-
teettistä silmäänsä enemmän kuin toinen ja ajo-ominaisuudet ovat saman-
laiset, hän mitä todennäköisimmin pitää esteettisempää myös mukavampa-
na autonä. Sama pätee myös hisseissä, eli jos hissien interiööri miellyttää
silmää, helposti annetaan anteeksi pienet tärinät tai äänet.

Tässäkin asiassa on kääntöpuolensa, mikä entisestään hankaloittaa yhte-
näisen linjan vetämistä, sillä uusi ja hieno hissi nostaa hissikyydin laadun
odotusarvoa. Esimerkiksi jos vanhahko hissi on modernisoitu ja muutettu
taajuusmuuttajalla ohjattavaksi, saadaan kerrostasanteen kohdalle tulemi-
nen jouhevaksi ja ajomukavuus paranee näin huomattavasti. Mennessään
kyseiseen hissiin ensimmäistä kertaa, ihminen näkee vain vanhahkon hissien
ja hänen odotusarvonsa hissikyydin laadusta ei ole yhtä suuri kuin hänen tul-
lessaan uudelle hissille (liite 1). Silloin ihminen saattaa helposti pitää vanhan
hissien ajomukavuutta erittäin hyvänä, koska se ylittää hänen odotusarvonsa.
Uuden hissien kanssa saattaa käydä juuri toisinpäin.

Valaistus on myös yksi tärkeä osa hissien ajomukavuutta ajatellen. Osa sen
suureista voidaankin mitata, mutta tässä sitä käsitellään psykologisesta nä-
kökulmasta eli miellyttävyyden kannalta. Valaistuksen tulee olla mahdolli-
simman tasaista ja huomaamatonta. Sen tulee valaista koko hissikori, mutta
se ei saa häikäistä. Valaistuksen laatu tulee esille vain sen ollessa huono,
mutta ollessaan hyvä, se on huomaamaton.

Estetiikkaan liittyy oleellisesti värit. Näiden valinnassa hissikoriin on noudatettava varovaisuutta, sillä voimakkaammat värit herättävät hyvin voimakkaita tuntemuksia. Sukupuolisetkin erot ovat isoja, saati sukupolvien. Varmimpia valintoja ovatkin neutraalit värit, sillä ihmiset eivät kiinnitä huomiota niihin lähellekään samalla tavalla kuin kirkkaisiin väreihin. Neutraalien värien herättämät tuntemukset ovat pieniä, kun kirkkaat tai voimakkaat värit aiheuttavat miltei poikkeuksetta jonkinlaisia tuntemuksia, hyviä tai huonoja. Jo pelkästään jokin pieni värillinen yksityiskohta hississä saattaa pilata jonkun ihmisen ajokokemuksen.

Koska kauneus on katsojan silmässä, voiko sellaista interiööriä luoda hissiin, että siitä pitäisivät kaikki? Ei voi, eikä se suinkaan ole tarkoituskaan, mutta se ei saa estää yrittämästä.

7.2 Hissin ajokäyrän raja-arvot

Raja-arvot antavat mahdollisuuden arvioida hissikyydin laatua numeerisesti. Tarkkoja raja-arvoja mukavuudesta on mahdotonta antaa, sillä ihminen arvostelee mukavuutta tunteella, joka on täysin riippuvainen monista muuttujista ja voi siksi vaihdella suurestikin eri yksilöiden välillä. Samankin yksilön mielipide saattaa vaihdella olosuhteista riippuen. Kaiken lisäksi ihmisten mukavuusvaatimukset lisääntyvät koko ajan. Tässä insinööriyössä esitetyt raja-arvot perustuvat joidenkin tutkimusten pohjalta kerättyihin tietoihin, haastatteluihin sekä työn tekijän subjektiiviseen näkemykseen asiasta. Tarkoitus on antaa alustavat raja-arvot, joilla hissien ajomukavuutta voidaan puolueettoman osapuolen näkökulmasta arvioida. Tulevaisuudessa hissien ajomukavuuden mittauksista kertyvää mittaustietoa on tarkoitus käyttää näiden raja-arvojen tarkentamiseen nykyvaatimusten tasolle.

7.2.1 Tärinät

Tärinöiden suhteen raja-arvot ovat vain suuntaa-antavia, sillä on hyvin vaikea määrittää ihmisen tunnetilaan liittyviä asioita numeerisesti. Taulukossa 2 mainitut yleisimmät muuttujat ovat vain osa kokonaisuutta. Mukavuutta tärinöiden suhteen on tutkittu yli sata vuotta, eikä vielä ole mitään yhtenäistä linjaa mukavuuden raja-arvojen suhteen [11].

Tärinät analysoidaan taajuuspainotteisina standardien vaatimusten mukaan. Vaikka standardissa ISO 18738 esitetäänkin mitattavaksi ja laskettavaksi monia arvoja, raja-arvot määritellään vain maksimiarvoille.

Tutkimuksia koko kehon tärinän vaikutuksesta ihmiseen on tehty lukuisia vuosien saatossa ja näissä on tullut ilmi horisontaalisen tärinän merkityksen korostuneisuus vertikaaliseen tärinään verrattuna. Tämä korostuu varsinkin seisovalla ihmisellä, koska jalkojen lihakset absorboivat vertikaalista tärinää. Horisontaalisen ja vertikaalisen samanaikainen tärinä koetaan paljon epä-mukavampana kuin vain yhdestä suunnasta tuleva tärinä [27]. Nämä seikat on syytä huomioida horisontaalisen ja vertikaalisen tärinän raja-arvoja määrittäessä.

Horisontaalisen tärinän raja-arvo on huomattavasti pienempi kuin vertikaalisen. Horisontaalisen tärinän raja-arvoksi määritetään $0,12 \text{ m/s}^2$ ja vertikaalisen $0,20 \text{ m/s}^2$.

7.2.2 Äänet

Äänien raja-arvot määritetään vain äänenpainetason osalta ja A-painotuksella. Tutkimuksissa on todettu A-painotteisen käyrän aliarvioivan matalia taajuuksia, mutta silti sitä edelleen käytetään yleisesti [28]. Äänenpainetaso vaikuttaa jonkin verran vaihteluvoimakkuuden havainnointiin, joka on voimakkaimmillaan mitta-alueen pienimmillä taajuuksilla ja on tutkitusti eniten epä-mukavuuden tunnetta aiheuttava parametri äänien mittaamisessa. Vaihteluvoimakkuutta eniten vaikuttavina asioina seuraavat äänen voimakkuus sekä äänen karheus. Raja-arvoja määrittäessä näiden vaikutukset voidaan jollain tavalla ottaa huomioon pitämällä äänenpainetaso mahdollisimman alhaisena, mikä osaltaan takaa hyvän ajomukavuuden.

Hissin ajomukavuuden äänien raja-arvoksi määritellään 52 dB. Erittäin hyvänä äänenpainetasona voidaan pitää alle 48 dB. 3 dB:n äänenpainetason muutos on havaittavissa ja 5 dB:n muutos havaitaan jo selkeästi. Hiljaisen puheen äänenpainetason ollessa noin 50 dB, voidaan raja-arvo asettaa 2 dB yli sen ilman havaittavaa muutosta.

7.2.3 Kiihtyvyys

Ihmisten havainnointi kiihtyvyydestä ja hidastuksesta vaihtelee todella paljon. Tämä on hyvin pitkälle riippuvainen fyysisistä ominaisuuksista, mutta myös psykologisista tekijöistä. Raja-arvona havainnoinnille voidaan pitää $1,0 \text{ m/s}^2$ eli alle sen ei matkustaja yleensä huomioi kiihtyvyyttä tai hidastuvuutta ajomukavuutta heikentävänä tekijänä. Tarkemmin kiihtyvyyttä ja hidastusta kannattaa tarkastella sen käyrämuodosta, varsinkin jos sen arvo on yli $1,2 \text{ m/s}^2$. Hissin kiihtyvyyssäyrän tulisi olla tasainen ja loivan s-kirjaimen muotoinen. Kaikki terävät kohdat käyrässä ovat potentiaalisia ajomukavuutta heikentäviä tekijöitä.

7.2.4 Nykäisy

Nykäisy on ehdottomasti yksi tärkeimmistä parametreista hissien ajomukavuuden raja-arvoja määritettäessä. Nykäisyn ollessa yhtään liian suuri, se vaikuttaa yksinäänkin hissien ajomukavuuden arvioinnin kokonaisuuteen merkittäväällä tavalla. Vaikka kaikki muut arvot olisivat todella hyviä, niin yksikin nykäisy saattaa pilata koko ajokokemuksen. Ihminen reagoi paljon herkemmin kiihtyvyyden muutokseen kuin nopeuden muutokseen. Nykäisyn havainnoinnin raja-arvo on $1,0 \text{ m/s}^3$, mutta se saattaa aiheuttaa epämukavuuden tunnetta ollessaan yli $1,9 \text{ m/s}^3$.

7.2.5 Nopeus

Nopeuden raja-arvoa ei oikeastaan voi antaa, vain sen suhteellinen poikkeavuus ilmoitetusta nopeudesta. Nopeuden ja mukavuuden suhdetta on vaikea arvioida hisseissä, jossa ei ole näkyvyyttä korin ulkopuolelle. Nopeutta ei silloin näe tai tunne, kun taas maisemahissin näkyvyys antaa mahdollisuuden kokea liikkeen. Nopeuden raja-arvoa ei voida pitää ajomukavuuden parametrina, mutta sen avulla voidaan varmistaa hissivalmistajan ilmoittaman hissien nopeuden paikkansapitävyys. Karkeana raja-arvona voidaan pitää 5 %:n poikkeamaa ilmoitetusta nopeudesta.

7.3 Tulokset

Hissin ajomukavuuden arviointia varten laaditut alustavat raja-arvot voidaan nähdä taulukossa 3.

Taulukko 3. Alustavat raja-arvot

	Yksikkö	Erittäin hyvä	Hyvä	Huono
Maksimi horisontaalinen värinä	m/s ²	< 0,08	≥ 0,08 ≤ 0,12	> 0,12
Maksimi vertikaalinen värinä	m/s ²	< 0,12	≥ 0,12 ≤ 0,20	> 0,20
Maksimi äänenpainetaso	dB (A)	< 48	≥ 48 ≤ 52	> 52
Maksimi kiihtyvyys	m/s ²	< 1,0	≥ 1,0 ≤ 1,2	> 1,2
Maksimi nykäys	m/s ³	< 1,0	≥ 1,0 ≤ 1,9	> 1,9

Nämä raja-arvot toimivat jatkossa lähtökohtana tulevalle tuotteelle, jonka avulla voidaan arvioida hissien ajomukavuutta. Raja-arvoja tullaan tarvittaessa tarkentamaan tulevien mittaustulosten ja tutkimusten perusteella. Tätä aihetta on tutkittu jonkin verran 1990-luvulla, mutta silloiset mukavuusvaatimukset ja hissien suoritusarvot eivät vastaa nykypäivän mukavuusvaatimuksia tahi hissien suoritusarvoja. Tämän työn tulokset perustuivat vanhojen tutkimusten pohjalta saatujen tietojen soveltamiseen tämän päivän mukavuusvaatimukseen ja uusien hissien suoritusarvoihin, jotka saatiin haastatella tekijän empiirisen tiedon avulla. Raja-arvojen määrittämisen taustalla olikin luoda pohja tuleville tutkimuksille ja mittaustulosten analysoinnille.

8 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä valittiin mittalaite hissien ajokäyrän mittaamiseen ja määritettiin alustavat raja-arvot hissien ajomukavuudelle. Ensimmäisessä käsiteltiin teoriaa mitattavista suureista ja niiden mittaamiseen tarvittavista välineistä. Tämän jälkeen keskityttiin mittalaitteen valintaan ensimmäisen suunnittelun ja sitten jo olemassa olevien laitteiden vertailun kautta. Lopuksi määritettiin raja-arvot hissien ajomukavuudelle lähinnä matkustajan näkökulmasta.

Tämän työn tavoitteena oli alun perin suunnitella mittalaite hissien ajokäyrän mittaamiseen ja järjestelmämittaustulosten analysointiin. Lisäksi oli tarkoitus luoda ideaaliajokäyrä hissille. Jo varhaisessa vaiheessa kävi ilmi, että aikataulu ei salli toteuttaa kaikkia tavoitteita ja tämän jälkeen sovittiin valmiiden mittalaitteiden vertailun riittävän. Painopiste siirrettiin enemmän hissien omistajan näkökulmaan eli asiaa pohdittiin tehokkuuden ja kapasiteetin kannalta. Pyrittiin arvioimaan ja analysoimaan hissien suoritusarvoja eli kohdistettiin tavoite ideaalin ajokäyrän luomiseen. Hyvin pian tämäkin tavoite muuttui tarpeen näin vaatiessa eli keskityttiin hissien ajomukavuuden raja-arvoihin, mihin sisältyivät myös äänet. Erittäin tiukka aikataulu huomioon ottaen voidaan tyytyväisinä sanoa, että asetetut tavoitteet saavutettiin.

Saatuja raja-arvoja voidaan käyttää karkeana pohjana tulevaisuudessa hissien ajomukavuutta mittaavan palvelun luomisessa. Raja-arvoja onkin syytä tarkentaa tulevien mittaustietojen avulla ja pohtia asian monipuolistamista tehokkuuden ja ajomukavuuden yhteisten raja-arvojen etsimiseen nykyisille hisseille. Mukaan kannattaa ottaa myös mukavuuden kanssa hyvin pitkälle käsi kädessä kulkeva energiankulutus. Mukavuusvaatimusten jatkuvasti kasvaessa on harjoitettava myös jatkuvaa hissien ajomukavuuden mittausta ja tutkimista, sillä mukavuus tulee jatkossa olemaan eräs tärkeimmistä tekijöistä hissien myynnissä.

Tämän työn pohjalta voidaan rakentaa tuote, jolla voidaan puolueettomasti arvioida hissien ajomukavuutta ja suorituskykyä. Tuotteen avulla voidaan myös ottaa kantaa tehokkuuden maksimoimiseen kuitenkin heikentämättä ajomukavuutta tai unohtamatta energiankulutusta.

VIITELUETTELO

- [1] VTI Technologies Oy. *Tuotteet* [Verkkodokumentti, viitattu 18.9.2009]. Saatavissa: http://www.vti.fi/en/products/accelerometers/consumer_electronics/CMA3000_series/
- [2] Äänipää. *Äänen voimakkuus*. [Verkkodokumentti, viitattu 13.9.2009]. Saatavissa: http://www.aanipaa.tamk.fi/voima_1.htm
- [3] Äänipää. *Mikrofonit*. [Verkkodokumentti, viitattu 14.9.2009]. Saatavissa: http://www.aanipaa.tamk.fi/analog_2.htm
- [4] *Kondensaattorimikrofoni*. [Verkkodokumentti, viitattu 14.9.2009] Saatavissa: http://www.kiopo.com/RecTechniques/intro_files/image012.gif
- [5] *Microphone*. [Verkkodokumentti, viitattu 14.9.2009]. Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Microphone>
- [6] Otis Oy. *Hisseistä*. [Verkkodokumentti, viitattu 8.9.2009] Saatavissa: <http://www.otis.com/site/fi/pages/AboutElevators.aspx?menuID=2>
- [7] Brüel & Kjær. *Product data*. [Verkkodokumentti, viitattu 15.9.2009]. Saatavissa: <http://www.bksv.com/doc/bp2142.pdf>
- [8] Physical Measurement Technologies. *Products*. [Verkkodokumentti, viitattu 19.9.2009] Saatavissa: http://www.pmtvib.com/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=30
- [9] Henning. *Product data*. [Verkkodokumentti, viitattu 19.9.2009]. Saatavissa: http://www.wurtec.com/PDF/LiftPc_Henning.pdf
- [10] Maxim. *Application note*. [Verkkodokumentti, viitattu 8.9.2009]. Saatavissa: http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/an_pk/3687
- [11] Marjanen, Ykä. Vibsolas Oy. *Kehotärinä - perusteet*. [Verkkodokumentti, viitattu 12.9.2009]. Saatavissa: http://www.tarinantorjunta.fi/publications/Kehotarina_perusteet.pdf
- [12] Otis Oy. *Otisin historiaa*. [Verkkodokumentti, viitattu 4.9.2009]. Saatavissa: <http://www.otis.com/site/fi/pages/OtisHistory.aspx?menuID=6>
- [13] *The history of the elevator*. [Verkkodokumentti, viitattu 4.9.2009]. Saatavissa: <http://inventors.about.com/library/inventors/blelevator.htm>
- [14] G.R.A.S. *Product data*. [Verkkodokumentti, viitattu 16.9.2009]. Saatavissa: http://www.grasinfo.dk/documents/pd_40AD_ver_28_06_06.PDF
- [15] Nasa. *Microgravity Teacher's Guide*. [Verkkodokumentti, viitattu 18.9.2009]. Saatavissa: <http://quest.nasa.gov/space/teachers/microgravity/MGintro.html>

- [16] Lunki, Tero. *The effect of changes in the velocity profile into overall energy consumption*. Dissertation. University College Northampton. Master of Science in Lift Engineering. 2003.
- [17] ISO 2631-1:1997. *Mechanical Vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration*. Part 1: General requirements. International Organization of Standardization.
- [18] SFS-EN ISO 8041:2005. *Human response to vibration. Measuring instrumentation*. Suomen standardoimisliitto SFS 2005.
- [19] IEC 61672-1. *Electroacoustics - Sound level meters*. Part 1: Specifications. International Electrotechnical Commission.
- [20] ISO 18738. *Lifts (elevators) - Measurement of lift ride quality*. International Organization of Standardization.
- [21] Svantek. *Product data*. [Verkkodokumentti, viitattu 10.9.2009]. Saatavissa: <http://svantek.com/pub/files/File/produkt/datasheet/SVAN958.pdf>
- [22] MIP Electronics. *Product data*. [Verkkodokumentti, viitattu 10.9.2009]. Saatavissa: <http://www.mipoy.com/index.php?sid=888>
- [23] Galan, Alan - Vila, Lorenzo - Monge Raul. Psycho-Acoustics Ride Comfort in Lifts. *Lift Report*. (1/2007) s. 64 - 73.
- [24] Howkins, Roger. Elevator Ride Quality - The Human Ride Experience. *Lift Report*. (1/2007) s. 100 - 110.
- [25] Maria Lucia Machado Duarte - Matheus de Brito Pereira. Vision influence on whole-body human vibration comfort levels. *Shock and Vibration*. 13 (2006) s. 367-377.
- [26] Tuotantojohtaja Tero Lunkin haastattelu. 8.9.2009. Kone Oy.
- [27] M. J. Griffin. *Handbook of Human Vibration*. San Diego, California: Academic Press. 1996.
- [28] Richard L. St. Pierre, Jr - Daniel J. Maguire. *The Impact of A-Weighting Sound Pressure Level Measurements during the Evaluation of Noise Exposure*. Iowa: Institute of Noise Control Engineering. 2004.
- [29] Neil J. Mansfield. *Human Response to Vibration*. Florida: CRC Press LLC. 2005.
- [30] Brüel & Kjær. *Product data*. [Verkkodokumentti, viitattu 15.9.2009]. Saatavissa: <http://www.bksv.com/doc/bp2220.pdf>
- [31] *Vaihteluvoimakkuus*. [Verkkodokumentti, viitattu 20.9.2009]. Saatavissa: <http://www.acoustics.hut.fi/~hjarvela/pohja/node20.html>

UUSI HISSI JA VANHA HISSI

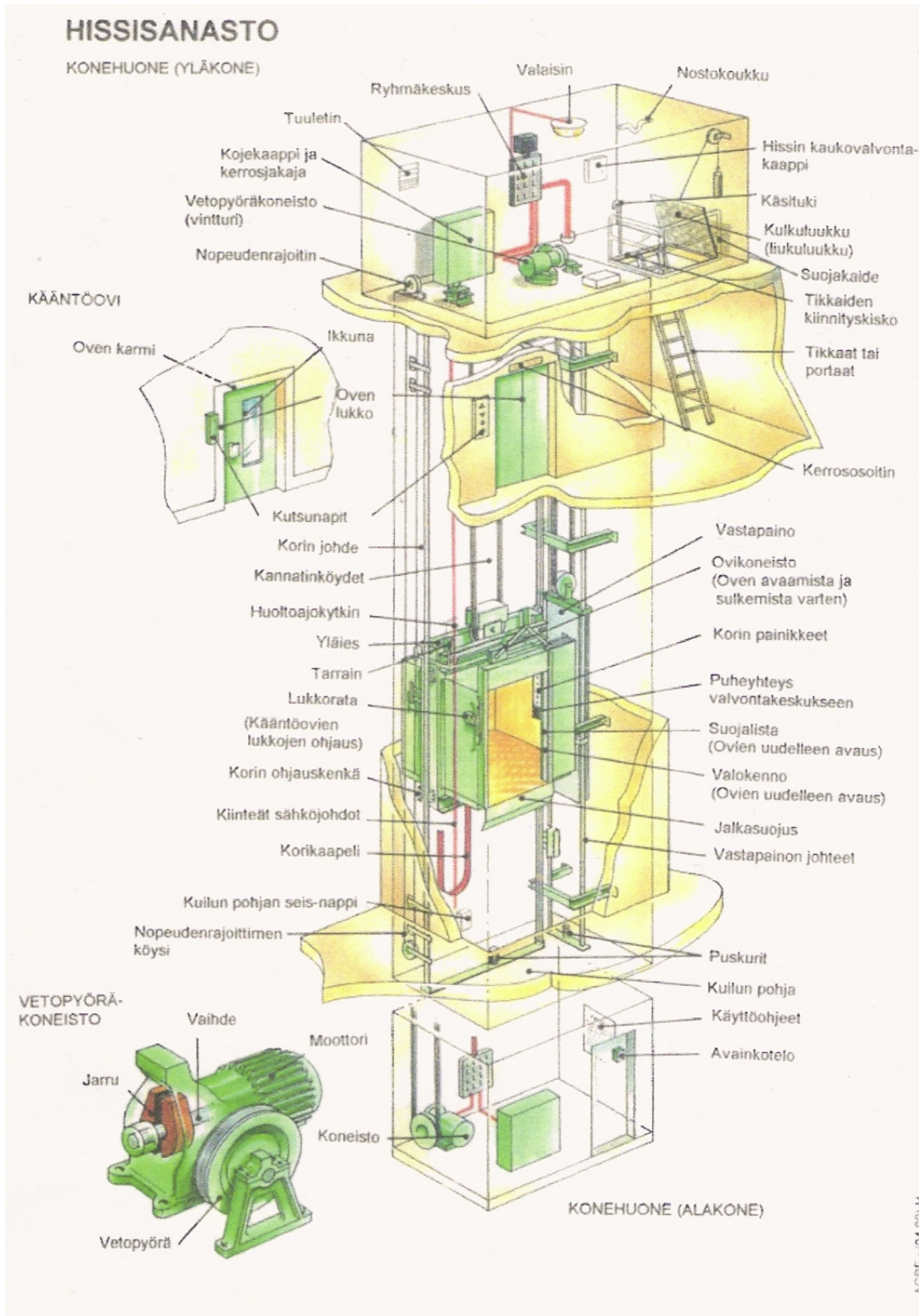


Uusi hissi



Vanha hissi

HISSISANASTOA



Hissisanastoa ja rakennetta

RAPORTTI ESIMERKKI

Physical Measurement Technologies
P.O. Box 1149, Keene, NH 03431 USA

Filename: UC39JAH.VE2

Trigger Time: 13:53:23

Trigger Date: 09/19/09

EVA Serial Number: E00093684

EVA Vibration Analysis Tools

Version 8.75.1.0

Measurements

ISO Ride Quality (m/s ²)*	X	Y	Z	Jerk Zone
Max Pk to Pk	0.064	0.092	0.192	0.324
A95	0.048	0.052	0.128	0.008

*ISO Whole Body X,Y,Z 1999

Sound Level dB(A)	Full Run	Pre-Run	Post-Run	Full Record
Max	69.6	75.1	73.9	75.1
L Aleq	50.5	61.1	57.7	56.1

Raw Data (m/s ²)	X	Y	Z
Max Pk to Pk	0.196	0.200	0.252
A95	0.092	0.104	0.124
Max 0 to Pk	0.540	0.444	0.640

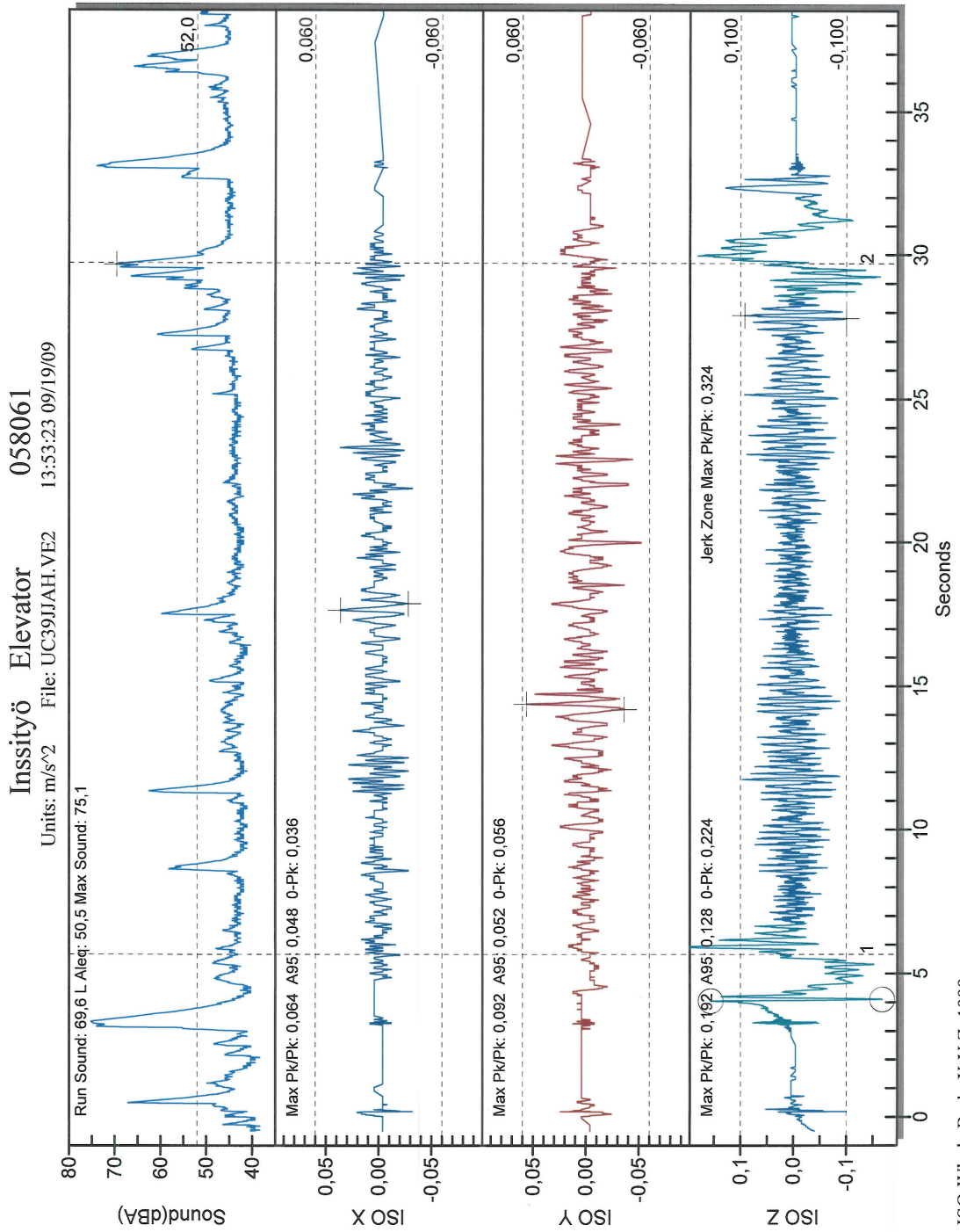
Performance	Max	95	Average
Velocity (m/s)	0.67	0.67	
Jerk (m/s ³)	1.1		
Acceleration (m/s ²)	0.576	0.560	0.436
Deceleration (m/s ²)	0.608	0.556	0.227
Distance Travelled (m)	17.35		

Analysis	Measured	Limit	% Limit
Max Horizontal Vib. ISO (m/s ²)	0.092	0.120	76.72
Max Vertical Vib. ISO (m/s ²)	0.192	0.200	96.06
Max Jerk (m/s ³)	1.1	1.9	59.7
Max Velocity (m/s)	0.67	0.66	102.00
Max Acceleration (m/s ²)	0.608	1.200	50.701
Max Sound Level dB(A)	69.6	52.0	+17.6 dB

Report

Project	Inssityö
Client	Asiakas
Operator	Sami Kannela
Company	Inspecta
Location	Helsinki
Elevator	Modernisaatio 2004 (valmistusvuosi 1937)
Start/Stop	1. kerros / 6. kerros
Comments	Hissi täyttää nykyiset uusien hissien mukavuusvaatimukset, paitsi äänien osalta, mutta hissien modernisaation suppeus huomioon ottaen äänet ovat normaalit tämän ikäluokan hissille.
Comments	

MITTAUSTULOSTEN GRAAFINEN ESITYS



Äänien ja värinöiden ISO-painotetut käyrät