



MITTATEKNIIKAN KESKUS

Julkaisu J8/1999

MEKAANISTEN VÄRÄHTELYJEN MITTAUSTEN KARTOITUS

Seppo Nevalainen
Mittatekniikan keskus



METROLOGIAN NEUVOTTELUKUNTA
Akustisten suureiden työryhmä

Helsinki 1999

JULKAISU J8/1999
KYSELYTUTKIMUS

MEKAANISTEN VÄRÄHTELYJEN
MITTAUSTEN KARTOITUS

Metrologian neuvottelukunnan
akustisten suureiden
värähtelytyöryhmän raportti

toimittanut
Seppo Nevalainen

Metrologian neuvottelukunta
Mittatekniikan keskus
Helsinki 1999

TIIVISTELMÄ

Mittatekniikan keskus (MIKES) esitti syksyllä 1998 Metrologian neuvottelukunnalle (MNK) ja sen akustisten suureiden työryhmälle toivomuksen värähtelysuureiden kartoitustutkimuksesta. MIKES pyysi akustiikan työryhmää nimeämään sopivan työryhmän laatimaan selvityksen värähtelymittausten jäljitettävyyden kehittämisestä Suomessa. Selvityspyynnön tulisi antaa tietoja mm. seuraavista seikoista:

Värähtelymittausten ja alaan liittyvien kalibrointipalvelujen kysyntä Suomessa tulevina vuosina, mittausten ja kalibrointien järjestelyt muissa pohjoismaissa, mahdolliset ongelmat mittausten jäljitettävyydessä Suomessa ja primaaritason kalibrointilaboratorion tarve ja mahdolliset korvaavat järjestelyt.

MNK:n akustisten suureiden työryhmä nimesi tehtävään työryhmän, mihin kutsuttiin edustajia teollisuuden ja kaupan yrityksistä ja valtion eri toimintayksiköistä. Mittatekniikan keskus antoi ryhmän tutkimustyön käyttöön myös omaa henkilöstöään.

Värähtelytyöryhmä kokoontui useita kertoja, laati elinkeinoelämälle lähetettävän kyselyn ja valmisteli kyselyn tulosten pohjalta oheisen selvityksen MIKESin pyynnön mukaisesti.

Työryhmän mielestä näköpiirissä ei ole laboratoriota, joka olisi halukas aloittamaan kartoituksen tarpeelliseksi osoittaman värähtelymittausten akkreditoidun kalibrointipalvelun. Työryhmä suosittaa tehtävänantonsa mukaisesti värähtelysuureiden mittausten jäljitettävyyden parantamiseksi perustettavaksi Mittatekniikan keskuksen aluksi sekundaaritason kalibrointeja tarjoavan mittanormaallilaboratorion. Laitteistoa hankittaessa olisi varauduttava myös primaaritason kalibrointiin. Laboratorion tehtävänä olisi palvelun tarjonta kysyntää vastaavasti, värähtelymittausten alueen tiedonsiirto elinkeinoelämälle sekä osallistuminen alan tutkimustyöhön.

Metrologian neuvottelukunta, akustiset suureet
Värähtelytyöryhmän jäsenet

Aimo	Pusa, puheenjohtaja	Raute Precision Oy
Jukka	Christersson	Finnrock Oy
Björn	Hemming	VTT Valmistustekniikka
Kari	Kantola	TKK Lujusopin laboratorio
Jouni	Lappalainen	Työterveyslaitos
Antti	Lassila	Mittatekniikan keskus
Olavi	Nevalainen	VTT Automaatio
Asko	Parri	Itäisen Maanpuolustusalueen Esikunta
Arto	Tulonen	Kvaerner Masa-Yards
Seppo	Nevalainen, sihteeri	Mittatekniikan keskus

Tukea kyselytutkimuksen järjestämiseen ja muuta tukea työryhmän toimintaan ovat antaneet:

Ilkka	Kyttälä	Sosiaali- ja terveysministeriö, työsuojeluosasto
Asko	Ainikkamäki	NC-Point Oy
Jarmo	Halla	Intotel Oy

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
1.1 Aloite	5
1.2 Työryhmän tavoitteet.....	5
1.3 Elinkeinoelämälle suunnattu kysely	5
2 MEKAANISTEN VÄRÄHTELYJEN TAUSTAA.....	6
2.1 Mitä ovat mekaaniset värähtelyt.....	6
2.2 Miksi värähtelyjä on mitattava	6
2.3 Yleisimmät mittauskohteet.....	7
2.4 Mittausten luotettavuusvaatimuksista	8
2.5 Alan teollisuudesta, kehitysnäkymiä	10
3 KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET.....	12
3.1 Vastaajien ryhmittely	12
3.2 Vastausten yhteenvedon rakenne	12
3.3 Värähtelyjen ja iskujen mittausten kohdealueet (K2)	12
Yleistä	12
Vastausten käsittely	13
3.4 Mittauksen tarkoitus ja tavoitteet (K3)	14
Yleistä	14
Vastausten käsittely	15
3.5 Mittalaitteiden ja mittausten volyymitiedot (K4)	16
Yleistä	16
Vastausten käsittely	16
3.6 Mittausten ongelmat (K5)	18
Yleistä	18
Vastausten käsittely	18
3.7 Mittausten laadunvarmistus ja kalibrointitilanne (K5/6)	20
Yleistä	20
Vastausten käsittely	20
4 ULKOMAISET KALIBROINTIMAHDOLLISUUDET	21
Yleistä kalibroinneista	21
4.1 Kalibrointien tarjonta lähimaissa	21
Ruotsi.....	21
Tanska.....	22
Norja	22
Saksa.....	22
Englanti.....	22
5 ARVIOT LUKUMÄÄRISTÄ	22
5.1 Mittauslaitteiston ja mittausten kokonaismäärien arviointi.....	22
5.2 Kokonaismäärät ja mittausten kustannukset	23
6 KALIBROINTIPALVELUJEN SAATAVUUS JA KEHITTÄMINEN	24
7 TYÖRYHMÄN SUOSITUKSET	25
LIITTEET: 1 Kyselyn lomake 4 s.	
2 Tulokuvat 7 s.	
3 Vastaajien antamat lisätiedot ja kommentit 5.s	
4 Kartoituksen suunnittelutyöryhmän jäsenet 1 s.	

MEKAANISTEN VÄRÄHTELYJEN MITTAUSTEN KARTOITUS

1 JOHDANTO

1.1 Aloite

Mittatekniikan keskus (MIKES) esitti syksyllä 1998 Metrologian neuvottelukunnalle ja sen akustisten suureiden työryhmälle toivomuksen värähtelysuureiden kartoitustutkimuksesta. MIKES pyysi akustiikan työryhmää nimeämään sopivan työryhmän laatimaan selvitys tärinämittausten jäljitettävyyden kehittämisestä Suomessa. Selvityspyynnön aikatauluehdotuksen mukaan tutkimuksen piti valmistua v. 1998 lopussa.

Tutkimuksella tulisi selvittää seuraavat arviot:

- Tärinämittausten ja alaan liittyvien kalibrointipalvelujen kysyntä Suomessa tulevina vuosina,
- Tärinämittausten ja kalibrointien järjestelyt muissa pohjoismaissa,
- Mahdolliset ongelmat tärinämittausten jäljitettävyydessä Suomessa,
- Primaaritason tärinälaboratorion tarve ja mahdolliset korvaavat järjestelyt.

MNK:n akustisten suureiden työryhmä nimesi tehtävään työryhmän, (värähtelytyöryhmä, minkä jäsenet on esitetty liitteessä 4). Ryhmään kutsuttiin edustajia teollisuuden ja kaupan yrityksistä ja valtion muutamista toimintayksiköistä. Mittatekniikan keskus antoi ryhmän tutkimustyön käyttöön omaa henkilöstöään.

1.2 Työryhmän tavoitteet

Työryhmä totesi, että ryhmän oman asiantuntemuksen tueksi on syytä tehdä koko värähtelymittausten alueen kartoitus. Kalibroinnin vaatimusten ja mittausten jäljitettävyyden selvittämiseksi saataisiin teollisuudelle ja muille mittausten tarvitsijoille suunnatulla kyselyllä perustietoa värähtelymittausten tämänhetkisestä kokonaistilanteesta maassamme. Tietoja tulisi saada mittauskohteista ja -volyymeista, sekä mittausten ongelmista, kalibrointimahdollisuuksista ja -tarpeista sekä nykyisiä käsityksiä ja taustatietoja mittausten motiiveista. Tavoitteen laajuuden vuoksi ryhmä totesi, että selvityksen yhteenvedon luonnoksen valmistuminen menee vuoden 1999 kevääseen.

1.3 Elinkeinoelämälle suunnattu kysely

Työryhmä tarkensi tehtävää annettujen suuntaviivojen mukaisesti ja valmisteli elinkeinoelämälle suunnatun tiedonhankintalomakkeen (liite 1). Kyselyn osoitteiden hankinnassa olivat apuna TEKESin mekaanisten värähtelyjen tutkimuksen ohjelman "Väre"-aloitusseminaarin kutsuosoitteet sekä Intotel Oy:n tarjoama osoitelista. Useita kohteita saatiin työryhmän jäseniltä sekä MIKESin osoitteistoista. Kyselyä tuki lisäksi NC-Point Oy antamalla soveltuvaa alan materiaalia palkkioksi kyselyyn vastanneille.

Lomakkeita lähetettiin n. 750 kappaletta, joista palautettiin 130 kpl. Työryhmän arvion mukaan vastaajien määrä edustanee n. 30-50 % niiden yritysten tai yhteisöjen määrästä, jotka tekevät itse värähtelymittauksia tai ostavat niitä palveluna ulkopuolelta. Kyselylomakkeen palauttajat antoivat paitsi pyydettyjä tietoja, myös runsaasti lisätietoja ja lisäkommentteja eri

kysymyskohtiin (koottu liitteeseen3). Kyselyn numerollisten tulosten yhteenvedot on koottu graafisina kaavioina liitteeseen 2.

2. MEKAANISTEN VÄRÄHTELYJEN TAUSTAA

2.1 Mitä ovat mekaaniset värähtelyt ?

Mekaaniset värähtelyt etenevät teknisissä laitteissa ja rakenteissa, kun rakenteeseen tavalla tai toisella siirtyy värähtelyn mahdollistavaa mekaanista energiaa. Rakenteen metalli tai muu materiaali ottaa vastaan energiaa ja myös luovuttaa sitä ympäristöön. Aineen kimmoisuuden ansiosta siirtynyt liike-energia varastoituu hetkellisesti aineen muodonmuutos- tai kimmoenergiaksi ja muuttuu pian materiaalin perushiukkasten liike-energiaksi, mikä etenee aineessa ja muodostaa taajuusspektriltään kohteen mitoista riippuvan värähtelyn. Energia siirtyy esim. koneen kiinnityskohdista ympäristön rakenteiden värähtelyksi tai osa muuttuu ympäristön ilmanpaineen vaihteluiksi eli ääneksi.

Värähtelylle ominaisia suureita ovat eri tilanteissa nopeus tai kiihtyvyys, värähtelyn amplitudi tai esim. kiihtyvyyden spektri taajuuden funktiona. Suureiden mittaukseen käytetään tarkoitukseen valmistettuja antureita, jotka muuntavat mekaanisen värähtelysuureen ulkoiseen mittalaitteeseen soveltuvaksi sähköjännitteeksi tai -virraksi. Sinimuotoisesta kiihtyvyydestä integrointi nopeudeksi ja edelleen siirtymäksi on matemaattisesti yksinkertaista. Jos kiihtyvyys on a , ja jos kulmataajuus ω , saadaan värähtelyn nopeus $v = a/\omega$ tai värähtelyamplitudi $x = a/\omega^2$.

Värähtelyt voidaan jakaa eri taajuusalueisiin esimerkiksi seuraavalla tavalla:

Matalataajuiset värähtelyt	0,1 Hz - 20 Hz
Keskitaajuiset värähtelyt	10 Hz - 5 kHz
Korkeataajuiset värähtelyt	1 kHz - 50 kHz (200 kHz)
Vääntövärähtelyt	(yläraja n. 1 kHz)
Iskukiihtyvyydet	0,05 m/s ² - 200 000 m/s ²

Rakenteisiin syntyvän mekaanisen värähtelyn alkusyynä voi olla lyhytkestoinen isku (joka voi muuntua kohteen mekaanisten ominaisuuksien mukaiseksi värähtelyksi) tai jatkuvasti vaikuttava ulkoinen esim. pyörievien koneiden aiheuttama värähtely tai jatkuvasti vaikuttava ulkoinen esim. pyörievien koneiden aiheuttama värähtely. Voimakas isku voi välittömästi aiheuttaa muodonmuutoksen kohteessaan. Riippuen värähtelyn syntymistavasta puhutaan rakenteiden iskunkestävyydestä tai vaihtoehtoisesti jatkuvan värähtelyn sietokyvystä. Jälkimmäiseen liittyy myös rakenteeseen syntyvien haitallisten tai vahingollisten resonanssien selvittäminen. Resonanssi-ilmion vaikutuksesta jokin järjestelmän osa saattaa ulkoiselle värähtelylle alttiina saavuttaa niin suuren värähtelyamplitudin, että sen mekaaninen kestävyys joutuu koetukselle ja tuloksena saattaa olla ajan mukana syntyvä vaurio.

2.2 Miksi värähtelyjä on mitattava ?

Värähtelyjen hallinta on oleellisen tärkeää monissa metalli- ja koneteknisissä sovelluksissa värähtelyn energiaa synnyttävien koneiden komponenttien kestävyysvarmistamiseksi sekä käyttäjien tai ympäristön henkilöstön fysiologisen rasituksen vähentämiseksi.

Värähtelysuureiden amplitudin ja taajuuden mittaus riittävällä tarkkuudella on välttämätöntä eri kohteiden värähtelyjen hallinnan kannalta.

Mekaaniset värähtelyt voidaan luokitella syntymekanismien, esiintymiskohteiden, vaikutuksien sekä myös esiintymistaajuuksien ja amplitudien perusteella. Yleisin mekaanisen värähtelyn aiheuttaja teollisuudessa ja liikennevälineissä on pyörivä kone, joka synnyttää mekaanista energiaa. Moottorin antama mekaaninen energia muuntuu esim. autoissa ja muissa liikennevälineissä paitsi ajoneuvon liike-energiaksi myös ajoneuvon rungon värähtelyiksi. Tien tai maaston aiheuttamien värähtelyjen energia kulkuvälineessä esiintyy äänenä ja tärinä.

Mekaanista värähtelyä voidaan myös hyödyntää tietyissä tuotantoprosesseissa, esim. materiaalien sekoituksessa, kuljettimissa jne. Tällaisissa tapauksissa värähtelyjen haitalliset vaikutukset ympäristöön saattavat olla erityisen vaikeasti hallittavissa.

Värähtelyn mittaukset voivat olla tärkeitä tuotteen ominaisuuksien selvittämisen tai kunnossapidon kannalta. Ihmisille tai rakenteille aiheutuvien haitallisten vaikutusten ehkäisemiseksi tehdään mittauksia myös erilaisten säännösten velvoittamana (esimerkkejä säännöksistä, ks. liite 5). Haitalliset vaikutukset ilmenevät rakenteissa erilaisina kulumisilmiöinä ja ajan mittaan esiintyvinä vaurioina. Kohteeksi joutuvat osat on mitoitettava ja rakennettava kestäväksi esiintyvät värähtelyt. Värähtelynalaisissa laakereissa voi esiintyä epänormaalia kulumista ja kiinnityskomponentit saattavat kärsiä metallien väsymisestä. Muissa osissa, esimerkiksi ohjauselektronikan komponenteissa saattaa esiintyä tärinistä johtuvia vikaantumisilmiöitä. Käyttöhenkilöstöä häiritsevistä tai haitallisesta värähtelystä esimerkkejä ovat työkoneista käyttäjiin ja kuljettajiin kohdistuva tärinä sekä värähtelyn aiheuttama melu. Impulssiluonteinen eli lyhytkestoinen, mutta suuritehoinen tärinä saattaa olla käsien verisuonille tai impulssimeluna työntekijän kuuloelimille vaarallisempi kuin alhaisempitasoinen jatkuva altistus.

2.3 Yleisimmät mittaushkohteet

Mekaanisten värähtelyjen ja iskujen mittaukset voidaan kohteiden mukaan luetteloida esimerkiksi seuraavasti:

- koneiden kunnonvalvonnan vaatimat mittaukset,
- ajoneuvojen mittaukset, motiivina laitteiden kestävyys, turvallisuus ja ihmisiin kohdistuvat rasitukset,
- käsityökoneiden ja teollisuuden laitteiden ihmisiin kohdistavan fysiologisesti haitallisen tärinän ja iskujen mittaukset,
- rakennus- ja louhintatöiden sekä liikenteen ympäristöön ja rakennuksiin aiheuttamien iskujen ja tärinän mittaukset,
- tuotteiden mekaanisiin ominaisuuksiin kohdistuvat mittaukset ja testit
- melun ja tärinätorjunnan mittaukset, mihin liittyvät työsuojelun lisäksi mm. tuotteen sijoituspaikkaan kohdistuvat mittaukset oikean ympäristön löytämiseksi

Moniin mittaushkohteisiin liittyvät päämotiivit ovat värähtelyn laitteille tai henkilöstölle aiheuttamien haittavaikutusten selvittäminen sekä mittaustuloksiin nojautuvat eri alueilla määritelyihin raja-arvoihin perustuvat päätökset ja toimenpiteet. Oheisena valotetaan muutamia kohtia tarkemmin.

Tärkeimpiä värähtelyn mittausalueita on teollisuuden voimakoneiden ja yleisesti valmistusprosessien tai energian tuotannon oleellisten laitteistojen toimintakunnon valvonta. Kohteesta värähtelyanturien avulla saatu tieto sisältää värähtelykomponenttien taajuus-, vaihe- ja amplitudijakauman, mikä mahdollistaa rakenteissa esiintyvien värähtelyspektrien jatkuvan ja osittain automatisoitavissa olevan tarkkailun.

Esimerkiksi uusi sähköturpiini on värähtelyspektriltään erilainen kuin tuhansia käyttötunteja palvellut laite. Jos mittausten avulla tapahtuvaan seurantaan on suunnittelun yhteydessä varauduttu, pyörivien koneiden laakerit, paine- ja lämpötilavaihtelujen kohteena olevat putkistot, kuljettimet ja muut vastaavat laitteistojen osat voidaan asettaa käytössä esiintyvien värähtelyjen jatkuvan ja automaattisesti ohjatun mittauksen kohteiksi. Automaattisen mittauslaitteiston keräämät ja analysoimat tiedot antavat kohteen toimintakunnosta jatkuvasti ylläpidettävän kuvan. Kerättyjen tietojen avulla voidaan arvioida kohteen taloudellinen käyttöikä. Jatkuva seuranta parantaa oleellisesti myös riskien hallintaa, koska tarvittavat tiedot ovat kerättävissä kohteista käytön aikana ja kunnon valvonnan yhteydessä.

Tärkeä mittausalue on maaliikennevälineet, laivat, työkonet jne. Voimakoneen mekaanisen eristämisen suunnittelu vaatii omat mittauksensa, samoin kuin kulkuvälineiden kone- ja pyörästöuennan sekä henkilöstötilojen välisten eristysominaisuuksien selvittäminen. Erittäin tärkeä työkenttä on haitallisten resonanssien löytäminen rakenteista, jotta mahdolliset värähtelyn vahvistumisilmiöt eivät tuottaisi ikäviä yllätyksiä käyttäjille tai rakenteiden kestävyydelle. Tähän liittyvät värähtelyjen mittausalueiden jako toimintataajuuksien perusteella sekä riittävän tarkat vastemittaukset resonanssi-ilmiön aiheuttamien vahvistumiskertoimien selvittämiseksi.

Värähtelymittauksia tehdään säännösten perusteella runsaasti myös erilaisten maarakennusprojektien yhteydessä eri rakennusvaiheissa. Tavoitteena voi olla ympäristöön räjäytystöiden yhteydessä siirtyvän energian tarkkailu. Jos on pelkoa, että räjäytysten synnyttämät värähtelyt aiheuttavat haittaa tai vaurioita läheisille rakenteille tai käynnissä oleville muille töille, voidaan rakennustöiden ajoituksia ja räjäytysten intensiteettiä muuttaa.

Mittauksia tarvitaan monien teollisuuden installaatioiden asennuksen ja käytön aikana, jos esim. rakennukseen on sijoitettu herkkiä tietoteknisiä tai laboratoriolaitteita.

Koska värähtelyjen siirtymistä eri kohteisiin on useissa tapauksissa taloudellisesti mahdotonta ennalta kokonaan poistaa tai riittävästi vaimentaa, on myös laiterakenteiden suunnitteluun ympäristöarastusten kannalta kiinnitettävä erityistä huomiota. Suunnittelun tueksi on tehtävissä erilaisia testejä, jotka simuloivat käyttö- tai kuljetusympäristöä. Laiteprototyyppi asetetaan teholtaan tai energialtaan tunnetun (standardoidun) värähtelyn tai iskujen alaiseksi ja tehdään mittauksia kohteeseen siirtyneestä värähtelystä ja ilmenevistä resonansseista sekä havaintoja mahdollisista vaurioista.

2.4 Mittausten luotettavuusvaatimuksista

Oman vaatimuksensa mittausten luotettavuudesta voi esittää asiakas tai viranomainen. Mittausten laadun varmentaminen tapahtuu mittakaluston säännöllisellä kalibroinnilla sekä tarvittaessa muilla vertailumittauksilla. Esimerkiksi laatustandardissa (ISO 9001) esitetään, että

toimittajan (yrityksen tai palvelun tarjoajan) tulee luoda ja ylläpitää dokumentoidut valvontakalibrointi- ja ylläpitomenettelytavat niille tarkastus-, mittaus- ja testausvälineille (mukaan lukien testausohjelmistot), joita toimittaja käyttää osoittamaan, että tuote on määrättyjen vaatimusten mukainen. Em. välineitä tulee käyttää tavalla, joka takaa, että mittausepävarmuus on tiedossa ja vaaditun mittauskyvyn mukainen (ISO 9001/1994, kohta 4.11).

Mittauksen tarkkuusvaatimukset lähtevät toteutettavasta prosessista. Mittauksen epävarmuus perustuu jäljitettävyysetjussa mukana siirtyvään epävarmuuteen.

Mittaustuloksen jäljitettävyys värähtelyantureiden kohdalla toteutetaan toisiaan seuraavien kalibrointien katkeamattomalla ketjulla, kuten tapana on muidenkin mittareiden antamien mittaustulosten varmentamisessa. Kiihtyvyyssantureille ylimpänä eli primaaritasolla on SI-yksiköiden *pituus* ja *aika* siirto tarkkuusanturiin, mitä voidaan sitten käyttää vertailukalibrointien mittanormaalina. Primaaritason kalibroinnin perustana on värähtelijän tai tärhistimen amplitudin ja taajuuden tarkka määrittäminen laser-interferometriä hyödyntäen (ks. liite 5, [sta] ISO/DIS 5347-1). Kalibroitava oleva anturi on sijoitettuna värähtelijän mittatasolle, jolloin sen antamaa kiihtyvyyden arvoa verrataan värähtelyamplitudin ja taajuuden avulla laskettuun värähtelijän mittatason kiihtyvyyteen.

Yleisin kalibrointimenetelmä on vertailuanturin käyttö rinnakkain kalibroittavan anturin kanssa. Molemmat anturit ovat kiinnitetyt samaan värähtelijän tasoon. Verrataan antureiden antamia vasteita. Taajuusalue voidaan kattaa standardin mukaisilla pistetaajuuksilla, joissa mittanormaalina käytettävän anturin (ja mittausketjun) epävarmuudet on tunnettava.

Kiihtyvyyssanturin kenttäkalibroinnin "vertailunormaaliksi" soveltuu vakion värähtelyn lähde, mikä tarjoaa tasoltaan ja epävarmuudeltaan tunnetun kiihtyvyyden yleensä yhdellä taajuudella. Anturi sijoitetaan värähtelijän vakion kiihtyvyyden mittaustasolle ja luetaan värähtelijän antama kiihtyvyys. Erilaisten kalibrointien tueksi on tarjolla tarkoitukseen laadittuja standardeja, ks. [sta].

Värähtelyn mittausten mittausepävarmuus riippuu suuresti mitattavasta kohteesta. Lineaariasteikolla melumittauksen tuloksen epävarmuus voi joissakin tapauksissa olla yli kymmenen prosentin luokkaa, mutta on silti vaatimusten mukainen.

Kohdealue, esim.	Esimerkkejä mittaustarkkuuksista & mittaalueista
Ihmiseen kohdistuvan käsitärinän mittaaminen (käsiyökoneet), kokovartalotärinä, (esim. kulkuväl.)	$\pm 1...2$ dB, taajuudet: 5 - 1000 Hz ± 1 dB kalibrointitaajuudella
Koneiden kunnonvalvonnan mittaukset	Anturille ± 10 % koko määritellyllä lämpötila-alueella, taajuusalue 10 - 1000 Hz, nopeusalue esim. 0,28 - 28 mm/s
Liikennemelun mittaukset	Mittarin epävarmuudet (lisäksi tulevat mitt. menetelmän epävarmuudet): Luokka A0: ± 1 dB, tasolla 94 dB Luokka A1: $\pm 1,5$ dB, tasolla 94 dB
Räjätystyöt, suurten rakenteiden (esim. laivat) värähtelyt	Vaatimukset säännölliselle kalibroinnille, mittausepävarmuus sovitaan osapuolten kesken, taajuusalueet: 5 - 500 Hz (louhinta), 1 - 50 Hz (esim. alusten runkovärähtelyt)
Tuotteen mekaanisten ominaisuuksien analysointi - tärinätestaus (tuotekehitys) - rakenneanalyysit, resonanssit	± 15 % värähtelytaso, sinimuotoinen heräte ± 3 dB satunnaisheräte, spektritasaisuus ± 1 dB - " - , kokonaistaso, ± 10 % amplituditaso, taajuudet 5 - 1500 Hz

Taulukko 1 Esimerkkejä erilaisten värähtelymittausten tarkkuusvaatimuksista

Standardissa ISO 8041 on vaatimuksena käsitärinän mittaustarkkuudelle vertailuolosuhteissa 8% ($\pm 0,7$ dB) [mek2]. Työympäristön ja työkonien melupäästömittausten vaatimukset on esitetty työsuojelusuunnitelmien ilman mainintoja mittauserävarmuudesta. Mittauksen tarkkuusvaatimus (antaen pohjan myös tarpeelliselle mittauserävarmuudelle) on menetelmistä riippuen esim. tietyissä melumittauksissa muutamien kymmenien prosenttien luokkaa. Mittauserävarmuus voi silti muodostaa ongelman, jos mittarien uusintakalibrointeja ei tehdä lainkaan ks. liite 5 [mik1].

IEC-standardien mukaisesti tehdyt laitteiden käyttöympäristöä simuloivat rasiustestit vaativat syötetyn värähtelyn amplitudilta n. ± 15 % tarkkuustasoa sinimuotoisella herätteellä ja satunnaisherätteellä ± 3 dB spektritasaisuutta, jolloin kokonaistason pitää olla tunnettu ± 1 dB epävarmuudella [mek1]. Ympäristörasituksia simuloivat tärinätestit auttavat löytämään kohteista tuotekehitysvaiheessa mahdollisia haitallisia tai vahingollisia resonansseja ja kartoittavat konstruktion kestävyyttä. Tuotteen hyväksyntävaiheessa tehtävät tyyppitestit asettavat kohteen standardoidun rasituksen kohteeksi, jolloin ilmenevät rasitusvauriot antavat aiheen tuotteen korjauksiin ja parannuksiin.

Mittauserävarmuuden päätekijänä eivät yleensä ole sähköisen mittalaitteen tai mittaajajärjestelmän epävarmuustekijät, vaan itse mittaajamenetelmän mahdolliset heikkoudet, ulkopuoliset häiriötekijät, tai muut ulkoiset vaikutukset, joita ei useinkaan voida eliminoida kokonaan tai säilyttää samanlaisina mittauksesta toiseen. Tyypillinen esimerkki vaikeista olosuhteista on ulkona tehtävä liikennemelun mittaaminen, missä esim. säätila, vuodenaika, liikennetiheys, taustamelu, mittaajamikrofonin sijoitus, kohteena olevan tilan rakenne ympäristöineen, sekä ajoneuvojen senhetkiset varusteet, esim. nastarenkaat, nopeus, ajoneuvojen laatu jne. vaikuttavat tulokseen ks. [tie]. Yleisesti mittaajamenetelmien standardointi parantaa tilannetta tulosten vertailukelpoisuuden kannalta, mutta mittauserävarmuutta ei tällä monestikaan voida oleellisesti pienentää. Esimerkkejä erilaisten värähtelymittausten tarkkuusvaatimuksista on esitetty taulukossa 1.

Kunnonvalvonnan yhteydessä värähtelyn mittausten hyvä absoluuttinen tarkkuus ja pieni mittauserävarmuus eivät ole niin merkittäviä tekijöitä kuin mittausten stabiilius ja korkea toistettavuus. Tavanomaiset kiihtyvyyssanturit ovat yleensä riittävän hyviä kiihtyvyyssamplitudien ja taajuusominaisuuksien selvittämiseksi halutulla tarkkuudella (eri standardien mukaan mittaustarkkuuden tavoite on n. $\pm 5...10\%$).

Värähtelyantureiden kalibroinnin ohjeiden ja standardien määrä on viime vuosina kasvanut nopeasti. Laajasta ISON julkaisujen ja standardien materiaalista on koottu muutamia esimerkkejä liitteessä 5 esitettyyn kirjallisuusluetteloon [sta]. Tehdyn SFS:n tietokonehaun (hakusana: "vibration") tuloksena saatiin yli sata viitettä, josta useat luettelon esimerkit on poimittu.

2.5 Alan teollisuudesta, kehitysnäkymiä

Edellä kootut esimerkit antanevat kuvan värähtelymittausten laajasta alueesta. Alan mittaajakohteiden kenttä ja mittaajamenetelmien kehitystyö ovat myös jatkuvasti laajenemassa.

Suomen värähtelyanturien teollisuus on nuorta, mutta hyvillä tuotteilla on nopeasti päästy mm. autoteollisuuden alihankkijaksi ja tiettyjen sektoreiden markkinajohtajaksi (VTI Hamlin Oy, kapasitiiviset, piipohjaiset anturit). Myös muutamia pietsosähköisten anturien valmistajia on Suomessa. Anturituotannon mittausten kalibroinnin tarpeet on yleensä teollisuudessa hoidettava laitemaahantuojiin kautta mittalaittevalmistajien laboratorioissa Euroopassa, jolloin toimitusajoilla on ratkaiseva merkitys. Kotimaisen kalibroinnin mahdollisuuksien puute koetaan teollisuudessa erityisesti toimitusaikaongelmana.

Värähtelyn ja iskujen vaikutukset herkkiin tietoteknisiin laitteisiin on tunnettu ongelma, mutta esimerkiksi äänenpaineiskujen ja mekaanisten iskujen yhteys ihmisen kuulon tai käsien verisuonivaurioihin on tutkimusalue, jonka odotettavissa olevat tulokset vaatisivat nykyistä parempia työympäristön mittausten menetelmiä sekä alan säädösten ja standardoinnin kehitystyötä.

3 KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSET

3.1 Vastaajien ryhmittely

Vastaajat jaettiin kolmeen ryhmään (P, V, Y). Kirjainlyhenteet tarkoittavat yleisesti P = palvelusektori, V = valtionhallinnon yksiköt ja Y = yrityssektori. Ryhmien tarkempi kuvaus esitetään jäljempänä. Ryhmittely tehtiin tarkemman kuvan saamiseksi muutamia kysymyskohtia ajatellen. Mittausten tavoitteet, yleinen kalibrointitilanne eri vastaajaryhmissä sekä mittalaitteiden ryhmäkohtaisten määrien selvittäminen olivat näitä kysymyksiä. Ryhmäjakoä käytetään mainituissa tarkoituksissa, mutta tarkempia erittelyjä eri vastaajaryhmien välillä ei ole aiheellista ulottaa kaikkiin tuloskaavioihin. Jaottelun antamaa lisätietoa on käytetty hyväksi vastausten sanallisen käsittelyn yhteydessä.

Ryhmät

P-ryhmässä on 18 vastaajaa, joita ovat erilaisiin palveluihin erikoistuneet yhteisöt, insinööri- ja arkkitehtitoimistot, joukko energialaitoksia, laitteiden maahantuoja ja muutamia valtion palveluyrityksiä.

V-ryhmään (44 vastaajaa) on sijoitettu valtion sekä yksityiset tutkimuslaitokset tai tuotekehityslaboratoriot, opetuslaitokset, valtion hallinnolliset yksiköt ja valtion sekä kuntien testaus- tai ympäristön valvonnan laboratoriot sekä muutamia puolustusvoimien teknisiä yksiköitä.

Y-ryhmään (64 vastaajaa) kuuluvat valmistavan teollisuuden yritykset. Suurimpana on arvion mukaan kone- ja sähköteollisuuden ryhmä, n. 50 %, toisena on puunjalostus (paperituotantaja vastaavat) n. 30 % osuudella. Loput vastaajista toimivat muilla tuotantoalueilla tai ovat mittauspalveluja tarjoavia yksiköitä, joiden asiakaskuntana on yleensä kone- ja sähköalan teollisuus. Myös rakennus- tai louhintayritykset sijoitettiin tähän vastaajaryhmään. Kaikista 130 vastaajasta on otettu huomioon 126 vastaajaa. Osa vastaajista oli antanut tietoja vain muutamiin kohtiin.

3.2 Vastausten yhteenvedon rakenne

Yhteenvedon otsikoinnissa on käytetty liitteen 1 mukaisen kyselylomakkeen numerointeja. Osa numeroinnista on jätetty pois tuloskaavioiden otsikoinnista ja pystysuorista luokka-akseleista, joissa teksti viittaa kuhunkin alueeseen. Kaavioiden vastausluokkien tekstit on lyhennetty vastaavista lomakkeen teksteistä. Tulokset esitetään kyselylomakkeen mukaisessa järjestyksessä. Kunkin vastausalueen tulosten graafista esitystä (liitteessä 2) tuetaan tekstin kommentein. Vastaajien antamat lisätiedot ja huomautukset on koottu erilliseksi liitteeksi 3.

3.3 Värähtelyjen ja iskujen mittausten kohdealueet (kysymys K2)

Yleistä

Lomakkeen K2 kysymysjoukon värähtelyjen mittausalueita koskeva teksti oli ryhmitelty seuraavasti:

- K2.1: koneiden kunnonvalvonta, (kunnonseuranta)
- K2.2: liikennevälineiden värähtelyjen mittaus
- K2.3: värähtelyjen (tärinän) mittaus työsuojelussa
- K2.4: vaurioiden ennaltaehkäisy mittauksin (rakentaminen, räjäytykset)
- K2.5: tuotteiden kestävyuden arvioinnin ja meluntorjunnan vaatimat mittaukset
- K2.6: muut mittaukset, joita ei ollut mainittu esimerkeissä.

Mittausalueiden kartoituksen tuloksista laadittu kaavio on esitetty liitteen 2 kuvassa 1. Kullakin selitysrivillä olevan vastauspalkin koko pituus ilmaisee kaikkien annettujen kyseisen kohdan vastausten lukumäärän. Palkin alkuosa osoittaa niiden vastaajien lukumäärän, jotka ostivat mainitut mittauksensa kokonaan talon ulkopuolelta ja keskiosa niiden lukumäärän, jotka tekevät kaikki mittauksensa itse. Palkin ilman täytekuviota olevan loppupään pituus on verrannollinen niiden vastausten lukumäärään, joiden antajat tekevät sekä itse mittauksia että ostavat mittauspalveluja. Palkin kokonaispituus on siten verrannollinen ko. alueen mittauksia tekevien vastaajien lukumäärään.

Vastausten käsittely

Tuloksista on helposti nähtävissä, että neljä suurinta mittausaluetta ovat melumittaukset, pyörivien koneiden kunnonvalvontamittaukset yleisesti, putkistojen ja muiden rakenteiden mittaukset, sekä tuotteille tehtävät rakennetestit.

Seuraava lähes samansuuruisten kohteiden ryhmä käsittää jo yhteensä seitsemän aluetta, suurimpana erityisalue paperikoneiden kunnonvalvonta mm. telavärähtelyiden mittauksin. Raide- ja vesiliikenteen mittaukset kuuluvat tähän ryhmään, samoin kuin henkilöstöön liikennevälineissä ja työkoneiden käytön yhteydessä kohdistuvan tärinän mittaukset sekä asuinympäristön mittaukset.

Valmistavan teollisuuden yritysten vastaukset edustavat lukumääräisesti likimain puolta kaikista vastauksista. Oli odotettua, että melun ja henkilöstöön kohdistuvan tärinän mittauksien osuus on suuri, koska teollisuuden on jo säännösten perusteella valvottava työympäristöä erityisesti melun suhteen. Lähes kaikki vastanneet valtion ja kuntien työterveyslaitosten ja monien terveyskeskusten laboratoriot tekevät meluntorjuntaan kuuluvia mittauksia. Yritykset hoitavat useimmat työalueiden tai prosessien melunvalvonnat myös itse.

Koneiden värähtelyspektrin mittauksiin ja tulosten tietokonekäsittelyyn perustuvan kunnonvalvonnan suuri osuus on selvä osoitus menetelmien yleistymisestä ja mittauksien taloudellisesta merkityksestä. Automaattiset valvontayksiköt laajoine anturimäärineen ovat nykyisin välttämättömäksi katsottuja valvontaelementtejä, joiden asennus tehdään jo lähes rutiinina uusille investointikohteille. Samantyyppinen mittausalue on putkistojen, venttiilien ja vastaavien muiden kohteiden valvonta. Valvontakohteiden värähtelyjen amplitudien tai spektrin muutokset antavat viitteitä rasituksen alaisen rakenteen mekaanisten ominaisuuksien muuttumisesta tai värähtelyn energiaa luovan prosessin yleensä haitallisista muutoksista.

Laiterakenteiden kestävyystestien vaatimaa kalustoa on viime aikoina hankittu (tai uusittu) alan palvelulaboratorioihin, sekä ainakin suurimpiin teollisuuden yksiköihin. Esimerkiksi elektronisen laitekonstruktion mekaanisten rasitusten sietokyky on välttämättä selvitettävä kestävyys varmistettava rasitustestein tuotekehityksen eri vaiheissa.

Valmiiden rakenteiden värähtelyominaisuudet joudutaan tarkastamaan kenttäolosuhteissa sen lisäksi, että eri komponenttien ominaisuudet on selvitetty asianmukaisesti tutkimuslaboratoriossa. Tuotteen ostajan vaatimusten mukainen rakenteiden värähtelyjen tarkastus mittauksin on mm. useimpien laivatoimitusten ehtona nykyisin.

Monet yritykset ostavat mittauspalveluita itse tehtävien mittausten lisäksi. Useimmissa tapauksissa yrityksen mittauskalusto on hankittu tiettyihin tarkoituksiin, nämä mittaukset tehdään itse ja esim. tarkastetaan oman suunnittelun tai valmistuksen laatu. Tarvittessaan puolueetonta lausuntoa ulkopuolelta tai oman mittauskapasiteetin täydennystä, voi yritys ostaa mittaukset myös ulkopuoliselta laboratoriolta.

Vapaana olevaa omaa mittauskapasiteettia voidaan tarjota myös palveluna asiakkaille. Toisaalta tiettyjä mittauksia ei tehdä omiksi tarpeiksi, vaan ostetaan aina ulkoa. Jonkin alueen mittauksille on siis ominaista, että mittaustarvetta varten on tarjolla ulkopuolista palvelua, jonka kysyntä on synnyttänyt. Esimerkkejä näistä näyttäisivät olevan raide- ja ilmaliikenteen sekä raskaan maaliikenteen mittaukset. Samaan ryhmään, alalle erikoistuneiden yritysten palveluihin kuuluvat usein maarakentamisen aiheuttamien värähtelyjen mittaukset, sekä käsityökoneiden aiheuttaman tärinän mittaukset.

Kysynnän tarpeet ja motiivit ovat tietenkin vaihtelevia, mutta tunnetusti monet värähtelyseikat on alunperin jouduttu ottamaan huomioon käyttäjään tai yleensä henkilöstöön kohdistuvan tärinän vaimentamisen vaatimuksista. Muita esimerkkejä ovat rakenteiden kestävyysarviot sekä värähtelymittauksin tehtävä kunnonvalvonta.

Kartoituksen tulokset osoittavat, että (puolueettomilla) mittauspalveluilla on kohtalaisesti kysyntää koko laajalla mittausten alueella. Suurimpia suhteellisia kysyntäarvoja näyttäisi olevan tuotteen laadun varmistuksen (mekaaniset testit) ja maarakentamisen (louhinnan valvonta tms.) alueella. Laajan ryhmän näyttää muodostavan melun ja tärinän torjunta teollisuudessa sekä asuinympäristössä.

Arvioita palvelujen kokonaistarpeista voidaan koota muista tiedoista (ks. K4:n tulokset). Ulkopuolelta ostettuja mittauksia on koko vastaajajoukon antamat tiedot yhteenlaskettuna n. 1300 mittaustapahtumaa vuodessa. Määrä on pienehkö verrattuna tehtyjen mittausten kokonaismäärään, joka on n. 230-kertainen. Tähän kyselyn antamaan kokonaisarvioon sisältyvät automaattisen kunnonvalvonnan mittaukset, jotka ovat lukumäärältään selvänä enemmistönä. Kunnonvalvontaa hankitaan myös palveluna ulkoa, eli sitä tekevät muutkin kuin valvonnan kohteet omistava yhteisö. Täten palvelumittauksia voitaisiin arvioida olevan nykyisin muutama prosentti kaikista mittauksista ja kysynnältä voisi odottaa hidasta kasvuakin.

3.4 Mittauksen tarkoitus ja tavoitteet (K3)

Yleistä

Kysymyksen K3 alueena olivat itse tehtyjen tai ulkopuolelta ostettujen mittausten tarkoitus ja tavoitteet, eli motiivit. Vastaajaa pyydettiin merkitsemään kaikki mielestään sopivat kohdat, joita oli lomakkeella määriteltä yhteensä seitsemän ja lisäksi ylimääräinen vapaasti kuvattavissa oleva motiivi. Lisäksi pyydettiin erityisesti merkitsemään motiivi, joka vastaajan kannalta vaikutti tärkeimmältä. Eri vastaajaryhmien vastausten jakaumat on esitetty kuvissa 2-4 (liite 2).

Palkkien harmaa alue tarkoittaa vastaajien lukumäärää, joiden mielestä esitetty motiivi oli myös tärkein kaikista. Täten kyseisten vastaajien "äänet" jakautuivat harmaalla alueella yhden äänen periaatteella. Useita rinnakkaisia ääniä oli mahdollisuus antaa tummemman palkin (tilanteeseen sopivaksi arvioitu motiivi) alueella.

Vastausten käsittely

Kuvioista 2 ja 4 nähdään P- ja Y-ryhmien vastausten nojalla, että tuotekehityksen asettamat vaatimukset näyttävät olevan kummassakin ryhmässä päämotiivina. Mittaustietojen esittäminen asiakkaalle oli arvioitu myös tärkeimmäksi tavoitteeksi (johtuu myös palvelumittauksien tarjonnasta näissä ryhmissä). Valmistajayritysten (Y) tulokset osoittavat selkeästi tuotekehityksen tai tuotteen asettamien vaatimusten olevan tärkeimmät, mutta sekä P- että Y-ryhmillä paitsi asiakkaille annettavat tiedot, myös sopimuksien vaatimukset oli katsottu tärkeimmiksi mittauksen motiiveista. Täten tietty osa mittauksista perustuu sopimuksiin. Näiden kahden ryhmän jakaumakuviot ovat periaatteessa toisiaan tukevia, koska P-ryhmän jäseniä toimii usein teknisten palvelujen tehtävissä, joille Y-ryhmän jäsenet toimivat mittaustehtävän toimeksiantajina.

V-ryhmän tuloskuviot (kuviot 3) poikkeaa selvästi kahden ensin mainitun ryhmän tuloksista. Tavoite "koska sopimukset edellyttävät" ilmaisee työn luonteen. Toimeksiantoon tai tutkimussopimukseen on merkitty asian huomioon ottaminen. Tärkeimmäksi on kuitenkin merkitty tuotteen kehittämisen asettamat vaatimukset (vaalea, pisin alue). 'Muiden' motiivien määrä (ks. liite 3, saadut kommentit) on V-ryhmässä myös korkeampi kuin toisilla.

Laatujärjestelmän asettama vaatimus oli odotetusti vastauksissa saanut vähiten painoa, koska mittaukset liittyvät erityisesti tuotteen ominaisuuksien hallintaan. Mittauspalvelun laadun merkitys on korostettuna vain pienehkössä palvelua tarjoavien yksiköiden joukossa.

V-ryhmän vastauksista on nähtävissä myös viranomaisten vaatimusten korkea osuus mittauksen motiivina, mutta sitä ei kukaan vastaajista ole esittänyt tärkeimmäksi. Tämä osoittaa ikään kuin vaatimuksen 'välttämättömän' tai 'taustavaikuttaja'-luonteen, mutta tuotteen asettamat ja tutkimuksen tai mittaustyön asiakkaan vaatimukset ovat aina pääosassa.

Eri vastaajaryhmien antamia 'ääniä' tärkeimmälle motiiville voidaan verrata. On nähtävissä, että P-ryhmän-vastaukset ovat hajautuneet eniten ja V-vastausten suhteellinen hajonta on pienin. P-vastaajista vain n. puolet oli pitänyt tärkeimmän motiivin ilmoittamista yleensä aiheellisena (tai mahdollisena) ja V-vastaajista vain n. kolmannes. On ollut helpompi esittää useita tavoitteita kuin nostaa jokin niistä tärkeimmäksi.

3.5 Mittalaitteiden ja mittausten volyymitiedot (K4)

Yleistä

Litteen 2 kuvat 5-12 esittävät kyselyn vastaajien ilmoittamia lukumääriä seuraavasti:

(5-8)	erilaisia antureita käytössä yhteensä,
(9)	mittavahvistimien tai -järjestelmien lukumäärä,
(10)	mittauksien lukumäärä vuodessa ja
(11)	ostetut mittausspalvelut vuodessa.

Yhteenvedona eri vastaajaryhmistä saaduista lukumäärätiedosta esitetään kuvio 12, missä P-, V- ja Y-ryhmien vastausten keskimääräisten lukumäärien tiedot on vertailun helpottamiseksi yhdistetty samaan kuvaan.

Vastaajan ilmoittamista lukumääristä on laskettu kokonaissummat (N) ja laadittu jakaumat eri suuruusluokkiin. Luokittelun perustana on kpl/vastaaja, siis kysymyksessä voi olla mittalaitteiden, mittausten jne. lukumäärä vastaajaa kohti.

Jakaumakuvioiden merkinnät: Esim. merkintä $n = 130$ tarkoittaa, että lomakkeiden lukumäärä, joissa jokin vastaus alueeseen oli tarjolla, oli 130 kpl. Merkintä esim. $z = 44$ tarkoittaa lomakkeiden määrää, joissa ko. vastauksen kohdalla on nolla tai kyseinen rivi oli jätetty tyhjäksi. Tulkinnaksi on molemmissa tapauksissa otettu nolla. Vastauksissa n vaihteli välillä 124 -130 ja z vaihteli alueella 44 - 79.

Jakaumakuvioiden pystyakselin luokat ryhmittelevät tulosjakauman. Esimerkiksi kuviossa 5 esitetty luokan 2...3 palkki (pituus 37 yksikköä) tarkoittaa sitä, että niitä vastaajia oli joukossa 37 kpl, joiden ilmoittama kiihtyvyyssantureiden lukumäärä oli 2 tai 3 kpl.

Vastausten käsittely

Kiihtyvyyssanturit (kuva 5): Jakauma osoittaa, että enemmistöllä vastaajista oli käytettävissään 4...10 anturia. Puolta pienempi tulospalkki (19 vastaajaa) ilmaisee lukumääräksi 11...30. Yhdeksällä vastaajalla oli käytössään yli 300 anturia (lähinnä kunnonvalvonnan installaatioita). Toisaalta nollavastausten määrät ($z = 44$) olivat varsin suuret, eli n. kolmasosa vastaajista ei itse omista kiihtyvyyssantureita lainkaan.

Nopeusantureita (kuva 6) on käytössä vähemmän kuin edellisiä. 28 vastaajaa (n. 23 %) oli antanut asiasta jotain tietoa. Nopeusantureiden jakauma oli kaksihuippuinen; kahdeksalla vastaajalla oli vain yksi anturi ja samoin kahdeksalla vastaajalla oli anturien lukumäärä välillä 4...10. Yli sadan nopeusanturin arsenaali oli yhdellä vastaajalla.

Vertailuanturi on yleensä tarkoitettu käytettäväksi kalibroinnissa ja sen käyttöhistorian tulisi olla tunnettu. Vertailuanturista tulee olla myös voimassa oleva kalibrointitodistus. Tulosten mukaan (kuva 7) vertailuantureita on käytössä, mutta odottamattoman pienillä määrillä näytään tulevan toimeen. Jos vertailuantureiden kokonaismäärä jaettaisiin kaikkien nykyisin antureita omistavien vastanneiden kesken, jokaiselle voisi tulla kaksi vertailuanturia. Saadut tulokset voidaan tulkita siten, että jopa n. 70 %:lla kaikista vastaajista ei ole vertailuantureita lainkaan.

Luonnollisesti niillä, jotka käyttävät ulkopuolisia mittauspalveluja, ei tähän olekaan tarvetta, mutta erikoinen jakauma antaa aiheen lyhyeen pohdintaan.

Kyselyllä saatiin siis tietoja käyttäjän hallussa olevista kalibrointiin sopivien vertailuanturien määristä. Kaikkiaan 33, eli n. 1/4 vastaajista oli antanut tietoja. Lähempi tarkastelu osoittaa, että likimain puolella näistä oli vertailuantureita 1 kpl ja toisella puolikkaalla oli 2 tai enemmän. Vertailuantureiden kokonaismäärä 68 kpl edustaa kuitenkin vain n. 1,5% käytössä olevista kiihtyvyyss- tai nopeusantureista.

Periaatteessa vertailuanturien lukumäärä omassa käytössä ei ratkaise kalibroinnin tasoa, mutta kalibroinnin mahdollisuuden puuttuminen kokonaan lisää oleellisesti virheellisten tulosten riskejä. Vertailuanturin olemassaolo tai muu kalibroinnin mahdollisuus (esim. vakio värähtelylähde) antaa osaltaan välittömän mahdollisuuden mittauksen laadun varmistukseen. Jos tätä mahdollisuutta ei ole tarjolla, joudutaan vertailut tekemään esim. samassa käytössä (ja käyttöärsituksessa) olevan toisen mittausturin avulla (oltava kalibrointitodistus). Tämä on kuitenkin parempi kuin 'ei mitään'.

Muita antureita (kuva 8) oli vastaajilla käytössään melko runsaasti. Saatujen kommenttien perusteella suuren osan näistä muodostavat erilaiset audiomittausten tarvitsemat mittamikrofonit, lämpötila-anturit, paineanturit sekä venymäliuska-anturit eri tarkoituksiin, (ks. kommenttien yhteenveto, liite 3). Käytössä olevat muut anturit ovat lukumääräisestikin laaja ryhmä, mikä osoittaa erillisiä antureita käyttävien mittausteknisten toteutusten yleisyyden.

Yleisesti jokainen mitta-anturi on mitattavalle suurelle suunniteltu laite, jonka tehtävänä on muuntaa tutkittavasta suureesta saatava tieto sähköiseen muotoon mittausjärjestelmän tarjoamaa jatkokäsittelyä varten. Anturin sovittaminen yleiskäyttöiseen tietokoneeseen lienee nykyisin laajalle yleistynyt menetelmä, jolloin sopivalla ohjelmalla saadaan mittaus tieto tarvittaessa korjattuna ja sovitettuna ohjaamaan prosesseja. Eri suureiden mittaus tulokset saadaan samalla nopeasti tietokoneen näytölle ja tulostimiin. Yksinkertaisessa tapauksessa anturilla on lisälaitteena pelkkä digitaalinen näyttö tai analoginen osoittava mittari havainnoitavalle suurelle, esim. lämpötilalle. Anturin keräämä tieto voi tällöinkin olla 'puhdistettu' ja linearisoitu näyttölaitteen oman prosessorin ja sopivan kiinteän laskentaohjelman avulla.

Mittavahvistimia tai mittausjärjestelmiä (kuva 9) tarvitaan vähemmän kuin kiihtyvyyss- tai nopeusantureita. Tulosten mukaan enemmistön mittajärjestelmien lukumäärä oli 4...10 kpl (38 vastaajaa). Lähes samankokoisella vastaajajoukolla oli järjestelmiä 1...3 kpl ja toisaalta yhdellätoista vastaajalla oli 11...100 järjestelmää käytössään.

Mittajärjestelmien lukumääräinen tarve saattaa vaihdella suuresti kohteista ja yleensä mittaustarpeesta riippuen. Kohdelaitteiston toimintakunnon valvonnassa tarvittavia, automaattisesti tietoa kerääviä kanavia saattaa olla järjestelmässä yhtä aikaa jopa tuhansia, jolloin mittausjärjestelmiäkin on oltava runsaasti tiedonhankinnan muiden teknisten rajoitusten tai nopeusvaatimusten takia.

Mittausmäärien vuosittainen jakauma (kuvio 10) näyttää sekin olevan 'kaksihuippuinen'. Tulokset osoittavat, että on hyvin suuria mittaustapahtumamääriä hyödyntävä pienehkö joukko (8 vastaajaa) ja keskimääräiset 11...100 mittaustapahtumaa vuosittain tekevä joukko (n. 37 jäsentä). Alemman joukon 19 jäsentä teki itse (tai osti ulkoa) n. 11...30 mittausta vuodessa.

Lähes samankokoisen joukon mittauksia oli 31...100 kpl vuodessa. "Mittaustapahtumaa" ei oltu määritelty kyselyssä riittävän yksikäsitteisesti, mutta vastaajien tulkinta oli oikea, sillä tavoitteena oli selvittää suuruusluokkia. Jos mittaukset tehdään automaattisilla laitteistoilla, saattaa 'tapahtumia' kertyä satoja tuhansia lyhyessä ajassa. Sitä vastoin monet mittausinstallaatiot kentällä voivat olla hyvinkin työläitä pystyttää, mutta varsinaisten mittaus tulosten lukumäärä jää pieneksi.

Tulosten mukaan pienehkö vastaajaryhmä (mainitut 8 vastaajaa) tekee tyypillisesti automaattisia järjestelmiä ja suurien mittausmäärien tulosten atk-käsittelyä hyödyntävää kunnonvalvontaa jatkuvasti. Vastaukset olivat odotusten mukaan tulleet paperi- ja terästehtailta, energian tuotantolaitoksista ja joukkoon mahtuu suuri louhinta-alan konsulttikin.

Ostettujen mittauspalvelujen määrät (kuvio 11) perustuu 50 vastaukseen, eli 40% kaikista vastaajista ilmoitti jossakin määrin käyttäneensä ulkopuolisia palveluja mittauksessaan tai kalibroinnissa. Ostettujen mittauksen kokonaismäärä oli n. 1300 kpl vuodessa. Yksi vastaaja ilmoitti hankkivansa n. 1000 mittausta vuodessa ulkoa, mikä saattaa merkitä myös ulkopuolisten kunnonvalvonnan mittauspalvelujen hyödyntämistä. Enemmistö, yhteensä n. 40 vastaajaa ilmoitti ostavansa n. 2...10 mittausta vuodessa. Muutamia vastaajia tarvitsivat ulkopuolisia palveluja ja värähtelymittauksia lähinnä tuotteiden mekaanisissa rasitustesteissä joitakin kymmeniä kertoja vuodessa.

Mittalaitteiden keskiarvoiset määrät (kuvio 12) on koottu siten, että esitetään eri vastaajaryhmien laitelukumäärä keskimäärin vastaajaa kohti jaettuna (kokonaismäärä jaettuna ryhmän vastaajalukumäärällä). On mm. nähtävissä, että (P)-ryhmässä on keskimäärin eniten nopeusantureita ja muita antureita, mutta (Y)-ryhmässä eniten kiihtyvyyssantureita. Vertailuantureita on keskimäärin eniten (V)-ryhmässä, mutta erot ovat tässä pienet. (Y)-ryhmän keskiarvojen hajonta oli myös suuri, eli tietyt toisista huomattavasti poikkeavat suurikäyttäjät vaikuttavat voimakkaasti myös keskiarvoon. Kuvio tarjoaa mahdollisuuden karkeaan vertailuun eri vastaajaryhmien välillä, mutta mainittu suurten poikkeamien vaikutus heikentää näiden tulosten merkitystä.

3.6 Mittausten ongelmat (K5)

Yleistä

Kysymyskohtien K5 (ja K6) tärkeimmät tulokset sekä tietoja kalibrointeja koskevista aikaisemmista kysymyksistä on koottu kahteen kuvaan 13 ja 14.

Yleisesti ongelmatilanteisiin (K5) annetuista tiedoista voidaan sanoa, että mikään tulos ei osoita tilanteen olevan niin vakava, että "koetaan ongelmana" -vastauksia olisi tullut enemmän kuin "ei koeta" -vastauksia. Kysymyksiin 5.1-5.3 sisältyi myös alakohtia, joissa pyydettiin vastaajaa antamaan sanallisesti lisätietoja tai muita kommentteja. Nämä esitetään erikseen koottuina liitteessä 3.

Vastausten käsittely

Kysymykseen K5.1 Omien tai palveluna tarjottavien mittausten ongelmia-kohtaan tulleet vastaukset osoittivat, että ohjeistuksen puutteet sekä mittalaitteiden niukkuus ovat tyypilliset ongelma-alueet (n. 2/3 vastaajista oli tätä mieltä).

Epäkohtien korjaamiseen vastaajan omat resurssit eivät ehkä todennäköisesti riitä. On kuitenkin ilmeistä, että vastauksen antajalla on parhain tieto ongelman selvittämiseksi tarpeellisista toimista. Koska monet ongelmat ovat usein yhteisiä, yhteistyö esim. mittaajien kesken voi toimia siten, että mm. ohjeistuksen hankinta tai laadinta ei olisi ylivoimaista. Kaluston niukkuuteen voi olla mahdollisuus vaikuttaa ennakoivalla hankintapolitiikalla ja sillä, että mittausten merkitys esim. tuotannon laadun ylläpidossa mielletään oikein.

Muiden kysymyksen K5.1 alakohtien alueista tuli vähemmän mainintoja, saadut kommentit on koottu erikseen (liite 3). Myönteistä oli, että vastaajien mukaan vikoja laitteistossa esiintyy vähän ja huoltoa pidetään yleensä hyvänä.

Mittauspalvelujen ongelmia (K5.2): Ulkopuolelta ostettujen mittauspalvelujen ongelma-alueista mainituimpia olivat raporttien epätyytyvävä laatu ja mittausepävarmuus-asiat.

Mittauksen tekijöiltä saatuja raportteja (tuloksista annettu selostus, mittauspöytäkirja, kalibroitodistus, tutkimus/testausselostus jne.) voidaan arvostella subjektiivisesti monella tavalla. Raportissa annettujen tietojen selkeys ja yksikäsitteisyys vaihtelevat. Raportissa esitetyt tulokset voivat 'ei toivottuina' olla myös tyytymättömyyden aiheena, joka voi kohdistua tuloksen tekijöihin, vaikka aihetta ei olisikaan.

Keskimäärin n. 70% vastaajista kuitenkin osoitti tyytyväisyytensä raportteihin, mutta tunnetusti harvat poikkeamat tyydyttävästä tasosta jäävät parhaiten mieleen ja jättävät negatiivisen asenteen. Hyvin usein, etenkin ongelmatilanteita selvittäessä, tyytymättömyys johtuu yksinkertaisesti siitä, että odotetaan raportin ratkaisevan ongelmat kerralla. Näissä tilanteissa ei tilaaja yleensä tiedä, mitä pitäisi mitata ja toisaalta mittaaja ei tunne mitattavan rakenteen ominaisuuksia kyllin seikkaperäisesti. Tämänkaltainen tyytymättömyys on ehkä helpoimmin vältettävissä siten, että tilaajalle annetaan jo tehtävän saannin yhteydessä tietoa kaikista analysointi- yms. mahdollisuuksista ja tulosten arvoista epävarmuuksista. Täten tilaaja voi valmistautua vastaanottamaan tulokset realistisin odotuksin.

Yleisempien ongelmien (K5.3) vastaukset käsittävät mm. tietoja kalibroinneista, joista on laadittu erillinen esitys (ks. 3.7). Ongelmakohtina kysyttiin mittausmenetelmien tai kalibrointien saatavuudesta, hinta-asioista, koulutuksesta tai muista ongelmista. Vastausten määrät olivat melkoisesti pienemmät verrattuna edellisiin kysymyksiin (keskimäärin vain n. puolet oli merkinnyt rasteja johonkin). Tyytymättömyyden aiheita oli nyt suhteellisesti enemmän kuin edellä. Mittausmenetelmien puutteesta mainitsi vain n. 20 %, mutta alan koulutuksen vähyys vaivasi n. 40 % vastaajista. Tämä selvitys ei kuitenkaan anna viitteitä siitä, minkä tasoista koulutusta tarvittaisiin. Koska kohdealue on laaja, tarkempi analyysi vaatisi oman panoksensa. Kalibroinnin tilanteesta ja ongelmista on laadittu erillinen yhteenveto muidenkin kysymyskohtien tietoja yhdistelemällä (ks. seur.).

3.7 Mittausten laadun varmistus ja värähtelyn mittalaitteiden kalibrointitilanne (K5/6)

Yleistä

Kyselyn vastauslomakkeella oli useita eri kysymyksiin sijoitettuja kohtia, joissa pyydettiin antamaan tietoja alan kalibroinnin tilanteesta. Kuviin 13 ja 14 on koottu mainittujen kohtien K5 ja K6 erilaisia tulostietoja ja niistä tehtyjä arvioita alueeseen liittyvistä ongelmakohtista.

Vastausten käsittely

Tietoja kalibroinneista (kuva 13) sisältää tietoja mm. kalibrointien tarjonnasta. Kapeat "kyllä"-lukumäärät kahdessa ylimmässä palkissa tarkistettuna vastaajatiedoista osoittavat, että anturien kalibrointeja ilmoitti tarjoavansa toisille 6 vastaajaa. Vahvistimia tai mittausjärjestelmiä voi toisille kalibroida 3 vastaajaa.

Akkreditoitun kalibroijan käyttämisestä ilmoitti vain alle 10 % kaikista lomakkeen palauttaneista. Koska kyselyn ajankohtana ei värähtelyanturien akkreditoitua kalibrointia ole ollut tarjolla kotimaassa, kaikki mainitun kysymyksen "kyllä"-vastaukset koskevat siis ulkomaisia laboratorioita. Ulkomaisilta toimittajilta yleensä osti kalibrointeja suunnilleen sama osuus, n. 10 % lomakkeen palauttaneista. Kotimaasta ilmoitti ostavansa kalibrointeja n. 20% ja kalibroivansa itse ilmoitti sama prosentuaalinen määrä. Täten voidaan arvioida, että suurin osa vastaajajoukosta ei tehnyt itse eikä käyttänyt ulkoista kalibrointia lainkaan. Itse tehtyä kalibrointia, esim. tarkoitukseen varatulla vertailuanturilla, hyödynnetään monissa tapauksissa ulkoisen kalibroinnin asemesta, mutta kokonaan kalibroimatta jättäminen antaa aiheen pohdintoihin (ks. seur.: "Kalibroinnin ongelmista"). Kysymykseen "teemme itse kalibrointeja omille antureille ja/tai vahvistimille" vastasi myöntävästi kuitenkin vain n. 20% kaikista vastaajajoukon jäsenistä, jolloin voidaan arvioida, että niiden osuus, jotka eivät tee itse tai osta ulkoa kalibrointeja on noin 60-80% kaikista lomakkeen palauttaneista. Tätä tukee myös se, että ilmoitettu vertailuanturien lukumäärä oli vain n. 1,5 % kaikista värähtelyantureista.

Kalibroinnin ongelmista (kuva 14) kysyttäessä piti kotimaisen kalibroinnin puutetta ongelmana n. 2/3 vastanneista. Kalibroinnin hintaa piti samoin likimain 2/3 ongelmana, mikä voi johtaa kalibroinnin korvaamiseen kaluston nopealla kierrolla. Mittausten vuosittaisten määrien ollessa suurehkot ja anturien kalibroinnin vanhennettua tulee ilmeisesti edullisemmaksi ostaa uusi anturi tilalle kuin antaa vanha uudelleen kalibroitavaksi tai hankkia itse kalibrointiin tarvittavat apuneuvot. Näin on ainakin arvioitavissa halvimpien antureiden kohdalla ja, jos kalibrointi joudutaan teettämään maan ulkopuolella. Menettely ei tietenkään korvaa ao. mittajaan oman laite- ja järjestelmätuntemuksen lisääntymistä, mikä on saavutettavissa vain säännöllisellä kalibroinnilla. Mittavälineiden uusinta, esim. tietyn suunnitelman mukaan, soveltunee parhaiten tiettyihin tarkastustehtäviin, joissa se on mainittu hyväksynnän ehtona.

Alle 20% vastanneista piti sopivan kalibrointimenetelmän puutetta tai huonoa saatavuutta ongelmana. Lisäksi kalibroinnin avulla saatava jäljitettävyyden ylläpito koettiin myös käytännössä ongelmalliseksi. Tähän viittaa se, että ulkoa ostettujen mittausten laadun varmistuksen puutteista ilmoitti n. 1/3 vastanneista ja kysyttäessä kalibrointien vanhentumisesta tai niiden saannista yleensä, myös n. 1/3 vastaajaa oli sitä mieltä, että tämä muodostaa ongelman. Ulkoa ostettujen mittausten epävarmuuden arvoa tai sen ilmoittamisen puutetta piti

ongelmana myös n. 1/3 vastanneista. Kotimaisen kalibroinnin puuttuminen ja ulkomaisten palvelujen kalleus koettiin myös ongelmiksi.

4 ULKOMAISET KALIBROINTIMAHDOLLISUUDET

Yleistä kalibroinneista

Värähtelymittausten antureiden kalibrointi ja laboratorioiden tarjoamat mittajärjestelmien toiminnan tarkastukset ja vertailumittaukset voidaan ryhmitellä seuraavasti:

1. erilaisten anturien kalibrointi primaarimenetelmällä (stand. ISO 5347-1) tai vertailumenetelmällä (ISO 5347-3)
2. värähtelyn mittauslaitteiden (esim. monikanavaisten tiedonkeruulaitteiden) verifiointi
3. kalibraattoreiden, kuten vakion värähtelyn generaattoreiden kalibrointi
4. kokonaisjärjestelmien (koko mittausketju) kalibroinnit

Järjestelmän verifiointin (kohta 2) tarkoituksena on varmistaa anturiin liitettävän mittausarvon näyttötarkkuus ja analyysilaitteen spesifioitu mittaustarkkuus ja oikea tekninen toiminta ottaen huomioon erityyppisten anturien kytkennät laitteistoon sekä käytetyt taajuusalueet.

4.1 Kalibrointien tarjonta lähimaissa

Ruotsi

Ruotsin Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) tarjoaa paitsi äänenpaineen mittamikrofonien, myös kiihtyvyyssanturien primaaritasoisia sekä vertailumenetelmällä tehtyä anturien kalibrointia ja myös värähtelylähteiden kalibrointeja, ks. liite 5 [SP].

Primaarikalibrointien taajuusalue on 5...800 Hz ja suhteellinen epävarmuus on $\pm 0,4$ %. Sekundaaritasoinen kalibrointi perustuu vertailuun referenssianturin ja kalibroitavan anturin välillä. Taajuusalue on 2...8000 Hz ja suhteellinen epävarmuus $\pm 1,0$ %.

Anturien kalibrointiin tarkoitettuja värähtelylähteitä ja värähtelyn mittausjärjestelmiä voidaan SP:llä verifioida standardien tai valmistajan spesifikaatioiden mukaan.

SP on luvannut lähitulevaisuudessa aloittaa myös mekaanisten iskujen mittauslaitteiden kalibroinnin.

SP:n ilmoittamat standardit tai menetelmät ovat:

Anturit:	ISO 5347-1, ja ISO 5347-3
Mittausjärjestelmä:	ISO 8041 tai valmistusspesifikaatio
Värähtelylähde:	Valmistajan spesifikaatio

Akkreditoidut laboratoriot Ruotsissa

Mätplatskalenderin (1997) mukaan Volvo Personvagnar AB:llä on akkreditointi kiihtyvyysskalibroinneille. Tarjolla oleva kiihtyvyyssmittausten kalibrointialue on maksimiherkkydellä 530 m/s^2 (80 Hz), epävarmuudella $\pm 1,7 \%$. Taajuusalue on 31,5...6300 Hz

Tanska

Tanskassa primäärikalibrointeja tekee yksityisen yrityksen, Brüel & Kjærin laboratorio. Yrityksellä on myös laaja mittamikrofonien ja anturien oma tuotanto, ks. [B&K]. Primääri- ja sekundaaritason kalibroinnit tehdään samoilla standardimenetelmillä kuin edellä SP:ssä (ISO 5347-1 & -3). B&K ilmoittaa kalibroinnin olevan "at the highest international level" ja mittauksilla mainitaan olevan jäljitettävyyttä NISTiin ja PTB:hen.

Akkreditoituidut laboratoriot Tanskassa

Saatujen tietojen mukaan Tanskassa ei ole tarjolla värähtelyn kiihtyvyyssmittauksen kalibrointia akkreditoituissa laboratorioissa. B&K hoitaa myös sekundaaritason. DELTA Dansk Elektronik, Lys & Akustik tekee värähtelymittauksia ja on akkreditoitu akustiikan alueen ja mekaanisten värähtelyjen testauslaboratorio (mm. käsiin kohdistuvan värähtelyn mittauksia, melumittauksia). Laboratorio tarjoaa myös akkreditoituja kalibrointeja akustisten mittausten alueella.

Norjan tilanne

Norjassa ei ole tarjolla värähtelykiihtyvyyden primääritason kalibrointia tai alan akkreditoitua kalibrointilaboratoriota. Akustisille suureille on akkreditoitu Norsonic AS, Norsonic Kalibreringslaboratorium [Nor].

Saksa

Saksan valtiollisessa laboratoriossa Physikalisch-Technische Bundesanstalt, [PTB] on toiminta kuitenkin ehkä laajinta ja monipuolisinta Euroopassa, ks. Internet-tietoja. Palvelut kattavat sekä lineaarisen kiihtyvyyden, iskukiihtyvyyden että kiertovärähtelyn. Akkreditoituja laboratorioita on Saksassa kiihtyvyydelle yhteensä seitsemän, ks. Deutscher Kalibrierdienst [DKD], Internet-osoite liitteessä 5.

Englanti

Englannissa on sama tilanne kuin Tanskassa. Antureiden valmistajayritykset (kaksi yhtiötä) tekevät myös kalibrointeja ei-akkreditoituna. Kalusto on tasoltaan primäärikalibrointeja varten.

5 ARVIOT LUKUMÄÄRISTÄ

5.1 Mittauslaitteiston ja mittausten kokonaismäärien arviointi

Kartoitus edustaa otosta tutkittavasta toimintakentästä, josta tietyillä edellytyksillä on arvioitavissa myös koko maan tilanne. Jos arvioihin voidaan luottaa, ovat tulostiedot

muunnettavissa myös rahalliseksi arvioiksi. Tietoihin nojaten on tehtävissä arviot kalibrointitarpeesta ja kalibroinnin tilaa parantavista toimenpiteistä ja niiden kustannuksista.

Kartoituksen lukumääräiset tulokset voidaan tiivistää oheiseksi taulukoksi

Kohde	Otoslukumäärä	Kokonaisarviot
Kiihtyvyyssantureita	4039	8000 - >12000*
Nopeusantureita	441	800 - 1400
Vertailuantureita	68	130 - 200
Muita antureita	951	1900 - 2900
Mittausvahvistimia tms.	818	1600 - >2500*
Mittaukset vuodessa	309082	600000 - >900000*
Ostetut mittaukset vuodessa	1300	2600 - 3900
* Arvio on 'varovainen', koska muutamien suurten käyttäjien puuttuva osuus vaikuttaa voimakkaasti tilastoon		

Kaikkiaan vastauslomakkeita, joissa oli annettu jotain tietoja, saatiin yhteensä n. 130 kpl. Arvioiden mukaan tämä edustaa n. 1/3 - 1/2 potentiaalisista vastaajista. Tätä arviota hyväksi käyttäen on laskettu sarakkeeseen 'Kokonaisarviot' vastaavat vaihteluvälit (pyöristettynä).

5.2 Kokonaismäärät ja mittauksen kustannukset

Oheisessa taulukossa esitetään mittalaitteiden ja mittaustapahtumien keskimääräisiä hintoja vastaavat rahalliset arviot (miljoonaa markkaa).

Kohde	Kokonaisarvio (kpl)	Kokonaisarviot (milj. mk)
Kiihtyvyyssantureita	8000 - 12000	8 - 12
Nopeusantureita	800 - 1400	1,2 - 2,1
Vertailuantureita	130 - 200	0,4 - 0,6*
Muita antureita	1900 - 2900	1,9 - 2,9
Mittausvahvistimia tms.	1600 - 2500	40 - 60
Mittaukset vuodessa	600000 - 900000	300 - 450
Ostetut mittaukset vuodessa	2600 - 3900	20 - 30
* Käytetty yksikköhintojen ylärajoja		

Taulukon laskentaperusteena ovat arviot kalliimman ja halvemman luokan laiteinvestoinneista ja eri työtehtävien ajankäytöstä. Koska esim. vertailuantureiden hinnat ovat korkeammat kuin käyttöantureiden, on näitä koskeva laskelma tehty ylärajahintoja käyttäen.

- anturin keskimääräinen hinta n. 1500 mk (vaihtelualue n. 1000 - 3000 mk)
- mittausjärjestelmän hinta 25 000 mk (n. 6000 - 100 000 mk)
- oma mittaus keskimäärin n. 500 mk (n. 300 - 10 000 mk)
- (yksittäis)mittaus ulkopuolisena palveluna keskimäärin n. 8000 mk (n. 1000 - 40 000)

Omien mittausten työkustannukset tulevat mittausta kohti keskimääräisesti laskien pieniksi, koska suuri enemmistö mittauksista on automaattista kunnonvalvontaa. Kunnonvalvonnan mittausten investoinnit ovat kuitenkin yleensä suuret. Paperiteollisuuden ja esim. energialaitosten käytössä on useita kymmeniä n. 100 000 mk hintaisia mittajärjestelmiä, joilla tulokset ja analyysit saadaan automaattisesti. Mittauspalvelut vaativat monesti

ongelmaratkaisuun painotetun laajahkon esisuunnittelun sekä tulosten analysoinnin, mikä nostaa mittauksen keskimääräistä hintaa.

Taulukon perusteella ovat värähtelymittausten vaatimat laiteinvestoinnit vuositasolla kaikkiaan n. 50 - 78 Mmk, nykyarvo 300 - 450 Mmk ja mittausten työkustannukset n. 320 - 470 Mmk vuodessa. Vuositason laiteinvestointien arvio on n. 20% laitearvosta minkä osuus on osuus on vuosittaisista mittauksen työkustannuksista alle 5 %.

Kalibroinnin motiiveista Käyttöjakson pituus kalibrointien tai uusintojen välillä riippuu mittavälineen käyttöasteesta ja ympäristön siihen kohdistamista mm. mekaanisista tai lämpötilarasisuksista. Anturin rasituskestävyys ratkaisee käytännössä anturin vaihtovälin. Käytön aiheuttama mittaasepävarmuuden kasvaminen on luonnollinen mittavälineen ikääntymisilmiö, ja sen toteamiseksi on säännöllinen kalibrointi tarpeen. Taloudellisin vaihtoväli löytyy ajan mukana mittauskaluston käyttövarmuuden valvonnan nojalla. Käytännössä valvonta parhaiten toteutetaan omalla tai palveluna hankitulla kalibroinnilla.

Säännöllinen kalibrointi antaa paitsi käsityksen tarpeellisen uusinnan ajankohdasta, myös parantaa mittaustyön henkilöstön ammattitietoja erityisesti ajatellen valittujen mittavälineiden laatua ja soveltuvuutta juuri kyseiseen tehtävään. Kalibrointipolitiikan ratkaisee ulkoisen kalibroinnin saatavuus, toimitusajat ja hinta, mutta oman tai palveluna hankitun kalibroinnin tuloksena saatava mittausten luotettavuuden kasvu on vaikea muuttaa reaalissästäöksi tai investoinnin arvonnousuksi. Loppuasiakkaan mielipide on kuitenkin aina laadunvalvonnan tehostamisen kannalla, varsinkin jos sen kustannukset on pidetty kurissa. Tunnetusti mittausten laadunvalvonnan kustannukset ovat luonteeltaan vakuutusmaksun kaltaisia, koska mm. asianmukaisesti hoidetulla kalibroinnilla alennetaan virheellisen mittaustuloksen aiheuttamia liiketoiminnan riskejä.

6 KALIBROINTIPALVELUJEN SAATAVUUS JA KEHITTÄMINEN

Suomessa ei ole akkreditoituja kalibrointilaboratorioita tai kansallista mittanormaallilaboratoriota värähtelykiihtyvyyden alueella. Kappaleessa 4 (Ulkomaiset kalibrointimahdollisuudet) todettiin naapurimaiden tilanne. Primaarilaboratoriona toimii Tanskassa ja Englannissa anturin valmistajan laboratorio, mikä voi tarjota myös vertailukalibrointeja. Ruotsissa ja Saksassa primaarikalibroinnit tarjoaa valtion toimintayksikkö. Akkreditoituja laboratorioita on lähialueella varsin vähän, Saksassa eniten.

Suomen teollisuuden tarvitsema kalibrointi on kerättyjen tietojen mukaan vain harvoin primaaritasoista. Kalibroinnit voidaan useimmiten hoitaa akkreditoitussa laboratoriossa tehtävällä vertailulla sekundaarinormaaliin. Kalibroinnin taajuusalueen tulisi olla riittävän laaja, koska kysyntää olisi todennäköisesti n. 20 kHz saakka. Järjestelmän tulisi ominaisuuksiltaan tyydyttää kalibroinnin tarpeet n. 1...1,5 % epävarmuustasoon pääsemiseksi.

Sekundaaritason vertailukalibrointien lisäksi on muutamilla anturivalmistuksessa toimivilla yrityksillä ja kalibrointeja tarjoavilla tai tutkimuslaboratorioilla Suomessa tarvetta myös primaaritaso kalibrointeihin. Yrityksillä on käytössään omia kalibrointimenetelmiä, joissa vertailuanturina on jo sekundaaritasoinen normaalianhuri. Mahdollisuudet primaaritaso kalibrointiin lähimaiden laboratorioissa ovat hyvät, ja mm. anturien toimittaminen ulkomaiselle

kalibroijalle on niiden pienen massan takia edullista lentoteitse. Toimitusajat venyvät pitkiksi lähes säännönmukaisesti.

Jos primaaritason kalibrointi perustetaan Suomeen, sen laiteinvestoinnit olisivat n. 500 000 - 800 000 mk riippuen mm. tarvittavista taajuus- ja amplitudialueista. Primaaritasoisten kalibrointien laitteiston testaukset, ylläpito ja asiakaspalvelu vaatisivat yhden henkilön täyden työpanoksen perustamisvaiheessa n. 12 kk aikana ja sen jälkeen arviolta n. 6...10 htkk vuosittaisen työpanoksen kysynnän mukaan kalibrointipalveluun ja jäljitettävyyden ylläpitoon kansainvälisin vertailuin. Koska lähimaiden laboratorioilla on valmiiden laitteistojen ja koulutetun henkilöstön kannalta jo suurehko etumatka alueella, ei hintakilpailuun ilmeisesti olisi mahdollisuuksia jos laitteistopoistot, palkat, vuokrat ja muut kustannukset jouduttaisiin siirtämään täysimääräisinä hintoihin. Toimitusajoilla kilpailu sen sijaan voisi olla paremmin mahdollista. Valtion tuella toiminta voisi käynnistyä nopeasti, mutta primaaritason kalibroinnin tulojen ei voida odottaa käynnistymisen jälkeen kattavan kaikkia kustannuksia.

Akkreditoidun laboratorion mittalaittehankinnat (sekundaaritaso) olisivat n. 300 000...400 000 mk:n luokkaa, jos tarvittavat tilat olisivat käytettävissä. Palvelun enimmäiskysyntä vain pelkästä antureiden määrästä arvioiden voisi olla jopa yli 3000 kalibrointia vuosittain olettaen, että n. neljäsosa laitekannasta kalibroitaisiin vuosittain. Useiden anturien hankintahinnat ovat kuitenkin niin alhaiset, että osa antureista poistetaan jo ennen uusintakalibrointia. Kalibrointien vuosittainen määrä olisi siten ilmeisesti mainittua melkoisesti pienempi arviolta n. 200 - 300 kalibrointia vuosittain. Käytössä olevat vertailuanturit ja muut pienen käyttöasteen anturit (yhteensä muutamia satoja) on kuitenkin syytä kalibroida 1-2 v. välein riippuen käyttöasteesta. Itsenäisen kalibrointipisteen perustamisen muut ongelmat olisivat pääosin samoja kuin primaaritason kalibroinnin aloittamisessa. Tarvittaisiin koulutusta, vertailukalibrointeja, käytännön rutiinien hiomista sekä palvelujen markkinointityötä.

Akkreditoidun anturikalibroinnin yhdistäminen johonkin olemassa olevan akkreditoidun sähkötai dimensionaalisten suureiden kalibrointien laboratorion palveluihin mahdollistaisi nopean palvelun käynnistämisen. Värähtelyn perustuntemus olisi henkilöstöllä teknisen koulutuksen perusteella jo valmiina ja lisäkoulutuksen tarve voisi olla kohtuullinen edellyttäen, että henkilöstöltä riittää kapasiteettia käynnistykseen. Investoinnit vaatisivat tukitoimia, mutta mikäli tilat ja muut ympäristöpalvelut olisivat valmiina, olisi vaihtoehto ilmeisesti kokonaiskustannuksiltaan edullisin.

7 TYÖRYHMÄN SUOSITUKSET

Työryhmä toteaa, että riittävä ratkaisu olisi akkreditoitu laboratorio, jossa olisi värähtelykalibrointeja tarjolla jatkuvasti sekä riittävä asiantuntemus ja kiinnostus kalibrointipalvelun kehittämiseen ja jatkuvaan ylläpitoon. Pelkästään värähtelykalibrointeihin erikoistuneen laboratorion liiketoiminnallinen pohja olisi kuitenkin epävarma, koska vuosittainen kalibrointien määrä ei olisi riittävä palvelun tarjoamien tulojen kannalta ja tarvitsisi valtion rahoitustukea myös toiminnan ylläpitoa varten.

Koska näköpiirissä ei ole laboratoriota, joka olisi halukas aloittamaan värähtelymittauksen kalibroinnin akkreditoituna laboratoriona, työryhmä suosittaa ratkaisuna Mittatekniikan keskuksen ylläpitämää sekundaaritason kalibrointeja tarjoavaa mittanormaali-laboratoriota.

Toiminnan kehittyessä voitaisiin pienin kustannuksin siirtyä primaaritason kalibrointiin, mikä tulee ottaa huomioon laitehankinnoissa.

Laboratorion tehtävänä olisi

- jäljitettävyyden ylläpito valituilla alueilla
- jäljitettävyyden hankkimiseen tarvittavien yhteyksien ylläpito em. alueiden ulkopuolella
- värähtelymittaustekniikan kehittäminen ja tiedonsiirto teollisuudelle
- osallistuminen alan tutkimustyöhön ja kansainvälinen yhteistyö
- kalibrointipalvelujen tarjonta kysyntää vastaavasti

Kustannuksien arviot: Työryhmän käsityksen mukaan hyvän sekundaaritasoisen laitteiston hankinta vaatisi n. 400 000 mk:n rahoituksen tavoitteena olevan n. 0,1 Hz - 20 kHz taajuusalueen kattamiseksi. Alkupanostuksena tarvittaisiin n. 400 000 mk palkkakustannuksiin, mutta kalibrointitoiminta voisi tuoda tuloja toiminnan käynnistymisvaiheen jälkeen n. 200 000 - 300 000 mk vuosittain.

KYSELYTUTKIMUS:

Mekaanisten värähtelymittausten tarve ja jäljitettävyys

Annetut tiedot käsitellään luottamuksellisina

Vastaajaa pyydetään aluksi merkitsemään oheiset osoitetiedot, joita tarvitaan lähinnä tuloksista laadittavan julkaisun lähetysosoitteena sekä puhelin- ja faksitietoja mahdollisiin tarkistuksiin.

Kuten saatekirjeessä on mainittu, kaikki kyselyn avulla kerätyt tiedot käsitellään luottamuksellisena Mittatekniikan keskuksen metrologian yksikössä. Annetut kommentit ja muut mielipiteet kirjataan ilman mainintaa lähteestä. Laadittavaan yhteenvetoon ei myöskään sisällytetä yksityiskohtaisia vastaajatietoja. Saatujen tietojen perusteella muodostetaan joukko laajempia vastaajaryhmiä, esim. teollisuusyritykset, käyttölaitokset, maahantuojat jne., joiden summatiedoista laaditaan koottuja lukuja havainnollistavia kuvaajia. Tavoitteena on selvittää toiminnan kokonaiskuva.

K1 Osoitetiedot:

Vastaajan nimi: _____

Yritys / Yhteisö: _____

Postiosoite: _____

Vastaajan puhelin: _____ fax: _____

Sähköpostiosoite: _____ @ _____

K1.0 Yrityksemme laatujärjestelmä on sertifioitu (esim. ISO 9000)-standardin mukaisesti

K1.1 Pyydän lähettämään yhteenvetojulkaisun **yllämainitulla osoitteella**

K1.2 **Vaihtoehtoisesti** pyydän julkaisun lähetettäväksi osoitteella:

Henkilö: _____

Yritys/yhteisö: _____

Postiosoite: _____

Laadittava yhteenvetojulkaisu lähetetään **ilmaiseksi** kaikille lomakkeella pyydettyjä tietoja antaneille. Palautusta varten on oheisena tarjolla osoitteellinen kuori, jonka postimaksu on maksettu. Muussa kuoressa palautettuna osoite on: S. Nevalainen, Mittatekniikan keskus, PL 239, 00181 HELSINKI.

Pyydämme tutustumaan ja vastaamaan lomakkeen kysymyksiin. Jos ette voi vastata mihinkään kysymykseen, (kts. erityisesti kys. K2 ja K4), koska toiminnat eivät kuulu oman organisaation toimialaan, voi lomakkeen kansisivun silti palauttaa varustettuna osoitetiedoilla. Jos haluatte yhteenvedon (100 mk+postik.), pyydämme liittämään osoitetiedot oheiseksi ja merkitsemään rastin:

K1.3 Pyydämme lähettämään maksullisen yhteenvedon yllä olevalla osoitteella .

Lisätietoja antaa MIKESSissä:

Seppo Nevalainen, puh. 09-6167455, fax: 09-6176467 ja sähköposti: seppo.nevalainen@mikes.fi

K2 Teettekö mittauksia itse ja/tai hankitteko ulkopuolisia palveluja seuraavilla alueilla ?

Riveillä on yleisiä esimerkkejä mekaanisen värähtelyn mittauksista. Jos mittauskohdetanne ei löydy, se pyydetään merkitsemään lomakkeen alareunaan varatuille lisäriveille. Tarkennukset ja muut lisätiedot ovat myös tervetulleita. Esimerkiksi, jos mittauksia tehdään palveluna ulkoisille asiakkaille, voi ko. rivin rastian "Tehd. itse" viereen merkitä lisäksi tähden *) ja antaa lisätiedon erikseen sivun alareunan rivillä.

Sarakkeiden selitykset:

"Tehdään itse" = mittauksia tehdään itse oman yrityksen tarpeiksi tai palveluna asiakkaille.

"Ostetaan ulkoa" = mittauksia ostetaan palveluna ulkoa omiin toimituksiin tai valvonnan kohteille.

Rastin voi siis panna kumpaankin ruutuun, jos itse tehtyjen mittauksien lisäksi ostetaan palvelua ulkoa.

Mittaus tai mittauksen kohde	Tehdään itse	Ostetaan ulkoa
------------------------------	--------------	----------------

K2.1 Koneiden ja prosessien kunnonseuranta teollisuudessa tai esim. liikennevälineissä:

- | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a. Paperikoneiden telavärähtelyt ja iskut..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Generaattoreiden, moottoreiden yms. värähtelyt & iskut | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Muut kohteet, esim. putkistot, venttiilit jne:
..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

K2.2 Liikennevälineiden mekaaniset värähtelyt ja iskut

- | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a. Raideliikenne (junat, raitiotiet)..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Muut moottoriajoneuvot, kuten:..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Vesiliikenne, värähtelyt aluksissa | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. Ilmaliikenteen rakenteiden värähtelyt..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

K2.3 Henkilöön kohdistuvan tärinän mittaukset työssä tai työn ulkopuolella

- | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| a. Käsityökoneiden käyttäjään kohdistuva tärinä | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Liikenteen kuljettajiin ja käyttäjiin kohdistuvat tärinät..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Henkilöstöön kohdistuvat tärinät ja iskut teollisuudessa
tai käyttölaitoksissa (johtuen mm. työkoneista tms.)..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. Asuinympäristön mittaukset | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

K2.4 Vaurioiden analyysit ja ennaltaehkäisy

- | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a. Maarakentamisen aiheuttama tärinä ja iskut rakennuksille | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Raskaan maaliikenteen värähtelyt rakennuksille..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Ilman paineaaltojen aiheuttamat värähtelyt..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. Muut vauriokohteet, kuten..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

K2.5 Tuotteiden kehitykseen, laadun arviointiin tai rasituksen sietoon liittyvät mittaukset

- | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| a. Rakennetestien vaatimat kiihtyvyy- ja iskutesti-
mittaukset (testikohteena esim. elektroniset tuotteet)..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Melun tai tärinän torjuntaan liittyvät mittaukset | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Muut vastaavat mittaukset: | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

K2.6 Mittaukset tai kalibroinnit tai kohteet, joita ei ole yllä mainittu, muita lisätietoja:

.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

K2.7 Tarjoamme kohdissa _____ esitettyjä mittauksia asiakkaille.

K3 Mittauksen tarkoitus ja tavoitteet

Mittausten motiivit ovat vaihtelevia, eli mittaajan kannalta toiminta on perusteltavissa eri tavalla kuin esim. mittauksen tilaajan kannalta. Oheiseen osioon pyydetään vastaajaa arvioimaan tilannetta vain omalta kannaltaan. Jos tehdään useita erityyppisiä mittauksia, pyydetään antamaan yleinen näkemys.

K3.1 Mekaanisten värähtelyjen tai iskujen mittauksemme (itse tehdyt tai ulkopuolelta ostetut) ovat tarpeen... (merkitse kaikki kohdat, mitkä mielestäsi sopivat tilanteeseen !):

- a. jotta tuote- tai menetelmäkehityksemme täyttäisi asetetut vaatimukset
- b. koska tuotteemme toiminnalle on tärkeää tieto käyttöpaikan olosuhteista
- c. koska tiedot kohteen värähtelystä tai iskusta on esitettävä asiakkaalle
- d. koska sopimukset tai asetetut vaatimukset edellyttävät mittauksia
- e. koska seuraamme omien koneiden kuntoa
- f. koska laatu järjestelmässämme on esitetty mittauksille vaatimus
- g. koska viranomaiset vaativat mittauksia
- h. _____

Jos olet merkinnyt useita kohtia, pyydämme lisäksi **ympyröimään yhden motiivin**, joka vaikuttaa tärkeimmältä.

K4 Mittausten volyymitiedot

Oheisiin kysymyksiin pyydetyt vastaukset antavat tietoja kalibrointien kokonaistarpeen arvioimiseksi, sekä tietoja käytettävissä olevista alan mittaus- ja osittain kalibrointiresursseista.

K4.1 Vastaajan käytössä olevien anturit ja mittausten määrä

Oheisissa kysymyksissä pyydetään arvioita vastaajan omassa käytössä olevien anturien **kokonaismääristä** vastaushetkellä sekä vastaajan itse tekemien mittausten tai ulkoa ostetun vuosittaisten mittaustalouden määrää. "Mittaus" (kys. f ja g) on tulkittava mittaustapahtumaksi tai toimeksiannoksi, johon voi sisältyä useita erillisiä suppeampia mittauksia esim. taajuusalueista riippuen, tai se voi olla kalibrointi asiakkaalle, oman anturin kalibrointi tai vertailumittaus tms., joista laaditaan mittauspöytäkirja tai kalibrointitodistus.

- Käytössämme ei ole omia värähtelyn (kiihtyvyys / nopeus) tai iskujen mittaukseen tarkoitettuja antureita
aiomme hankkia alan kalustoa käyttöömmme (jatka kysymykseen g !)

- a. Kiihtyvyydantureita on käytössämme kaikkiaan n. _____ kpl
- b. Nopeusantureita on käytössämme kaikkiaan n. _____ kpl
- c. Muita antureita _____ n. _____ kpl
- d. Alan mittavahvistimia tai mittausjärjestelmiä on käytössämme n. _____ kpl
- e. Vertailukäytössä olevia tai muita samantasoisia tarkkuusantureita on (osana edellisistä) yhteensä n. _____ kpl
- f. Teemme värähtely / iskupulssimittauksia vuodessa n. _____ kpl
- g. Ostamme ulkoa värähtely / iskupulssimittauksia vuodessa n. _____ kpl

- Vastausten lisätietoja kaikkiin kohtiin voi liittää marginaaliin, lomakkeen taakse tai erilliselle paperille

K5 Omien mittausten ja/tai ulkoisten palvelujen ongelmia

Mittauksissa saattaa esiintyä erilaisia ongelmia tai puutteita. Laitteiden teknisen toiminnan on oltava vaatimusten mukainen, henkilöstön on tunnettava tehtävänsä, ohjeiden on oltava riittäviä, kalibrointien oltava voimassa ja laitteiden kunnon on oltava tarkistettu. "Kyllä"-vastaus tarkoittaa 'koetaan ongelmana', ja vastaavasti "ei" merkitsee päinvastaista. Rastiton rivi tarkoittaa: 'en osaa sanoa'. Kysymykset on ryhmitelty siten, että 5.1 ja 5.2 koskevat lähinnä teknisiä tai mittauspalvelujen ongelmia ja 5.3 muutamia yleisempiä ongelmia.

K5.1 Omien (tai palveluna tarjottavien) mittausten ongelmia

- | | kyllä | ei |
|--|--------------------------|--------------------------|
| a. Mittalaitteita, antureita jne. on riittämättömästi..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Ohjeistuksessa on suuria / vähäisiä puutteita | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Vikoja esiintyy usein (laiteluotettavuus heikko) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. Laitehuolto ja kunnossapito on epätydyttävää..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e. Kalibroinnit ovat vanhentuneita tai ei saatavilla..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| f. Esiintyy muita ongelmia, kuten _____ | | |

K5.2 Ostettujen mittauspalvelujen ongelmia

- | | kyllä | ei |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a. Tulosten toimitusaika on kohtuuttoman pitkä..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Raportit ovat epähavainnollisia tai muuten epätydyttäviä..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Mittausten laadunvarmistuksessa on puutteita..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. Mittausten epävarmuus on liian suuri tai sitä ei tiedetä | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e. Lisätietoja tai muita ongelmia, kuten _____ | | |

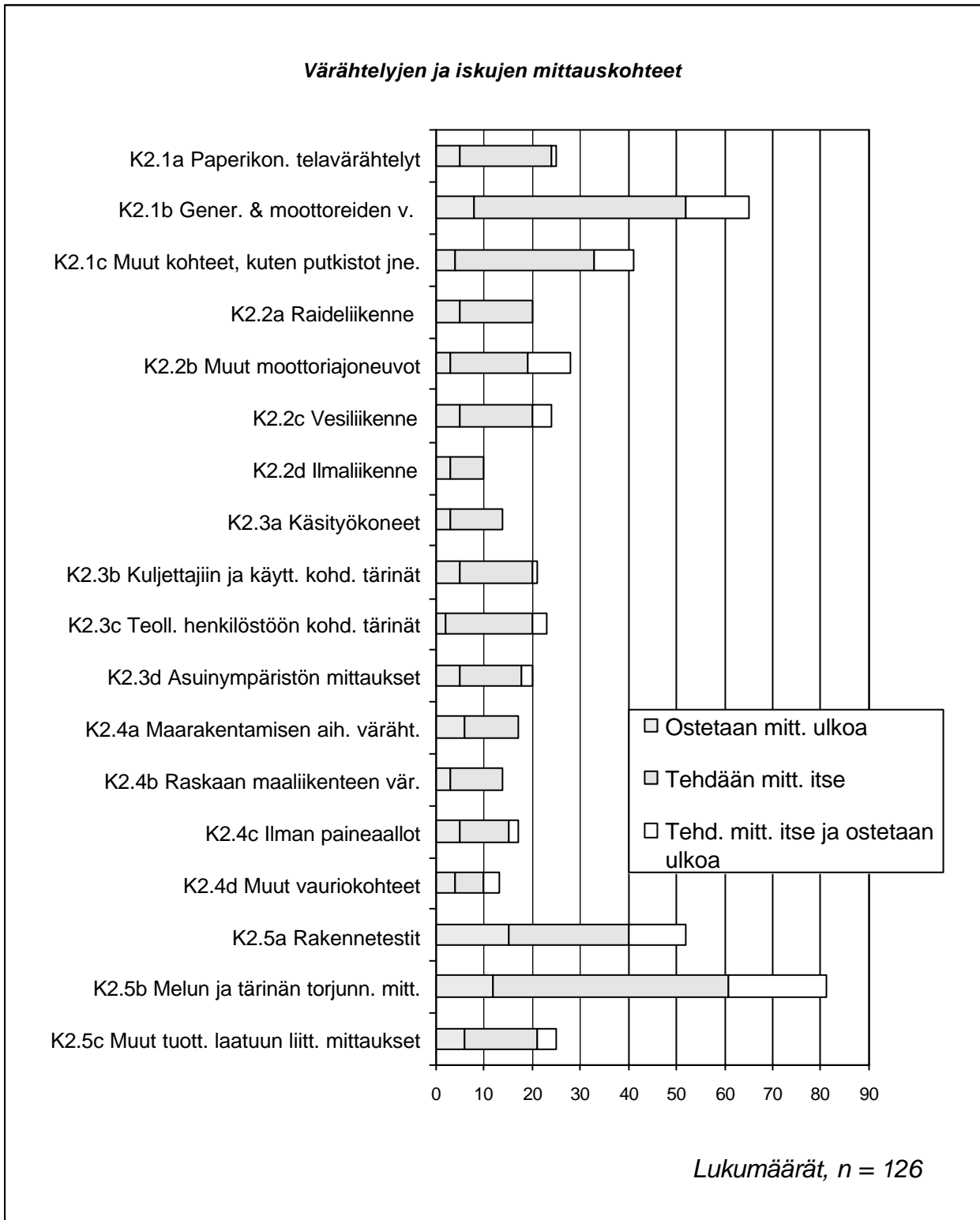
K5.3 Yleisempiä ongelmia mittauksissa ja/tai kalibroinneissa

- | | kyllä | ei |
|--|--------------------------|--------------------------|
| a. Tarvitsemaamme mittaus/kalibrointimenetelmää ei ole tarjolla | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Menetelmä on, mutta hinta- tms. seikat estävät sen käytön. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Sopivaa kalibrointipalvelua ei ole meille tarjolla kotimaassa..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. Alalta ei ole saatavissa riittävästi koulutusta..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e. Muita ongelmia (ja/tai liitän lisätietoja edellisistä oheiseksi)..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

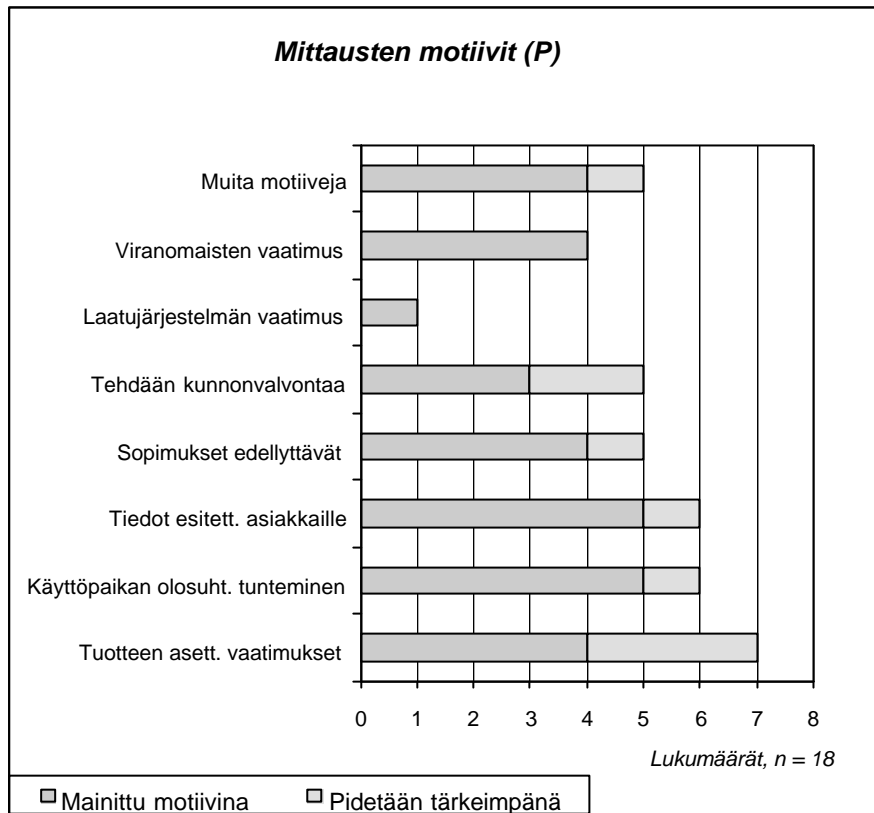
K6 Mittausten laadunvarmistus ja jäljitettävyyden ylläpito kalibroinnilla

Anturin kalibrointi tehdään vertailulla toiseen (tarkkuus)anturiin laboratoriossa tai esim. käyttäen vakion värähtelyn lähdettä tai mittausjärjestelmää, jonka avulla voidaan värähtelyn amplitudi ja taajuus johtaa vastaavista pituuden ja ajan mittanormaaleista. Yleensä kansainvälisen standardin mukainen laatujärjestelmä sisältää myös kalibroinnin vaatimuksen.

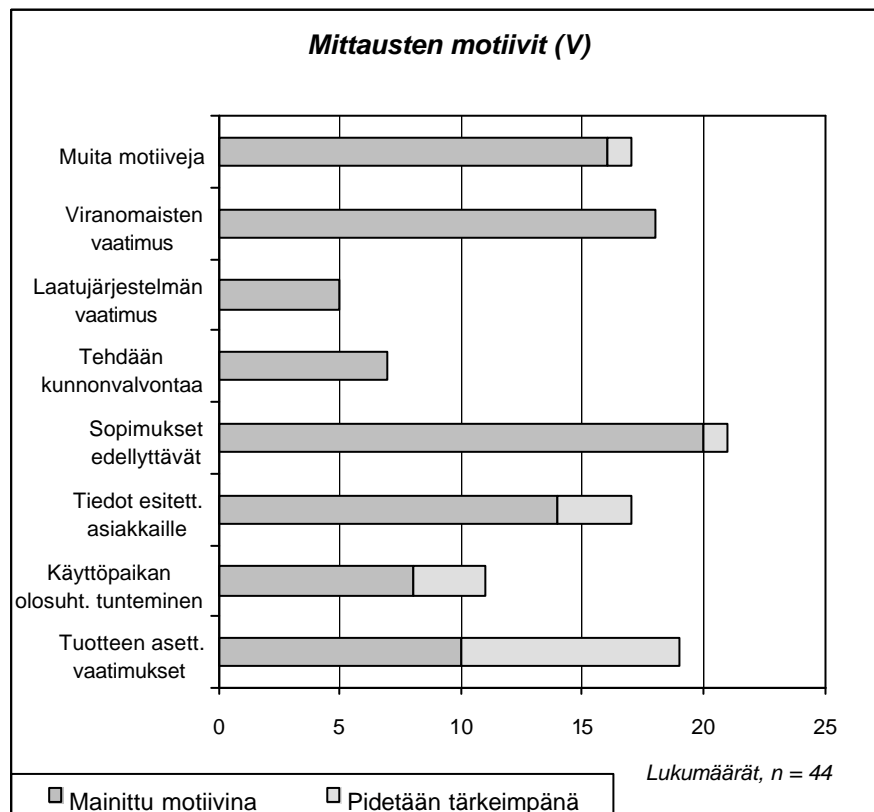
- | | kyllä | ei |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a. Teemme itse kalibrointeja omille antureille ja/tai vahvistimille | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Ostamme kalibrointeja: | | |
| kotimaiselta toimittajalta..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ulkomaiselta toimittajalta..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| toimittaja on akkreditoitu laboratorio..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Kalibroimme asiakkaiden antureita | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. Kalibroimme asiakkaiden vahvistimia tai mittausjärjestelmiä..... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Mittausten kohteet (K2)**Kuva 1** Mittausten kohteet tai kohdealueet (kaikki ryhmät)

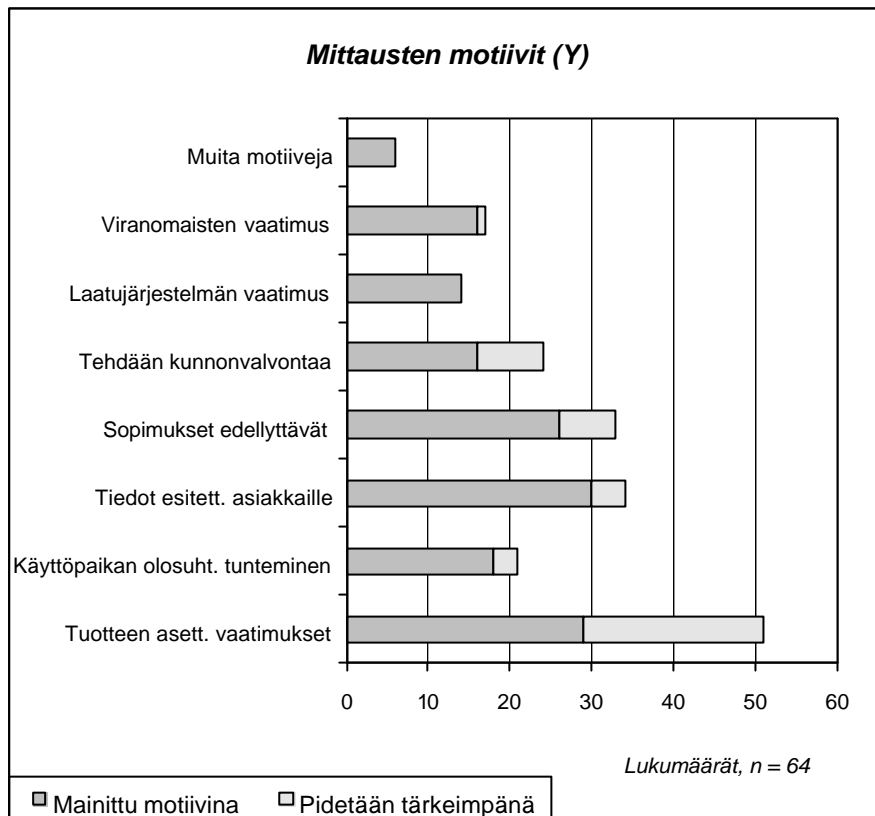
Mittauksen tarkoitus ja tavoitteet vastaajaryhmittäin (K3)



Kuva 2 Mittausten motiivit (ryhmä P)

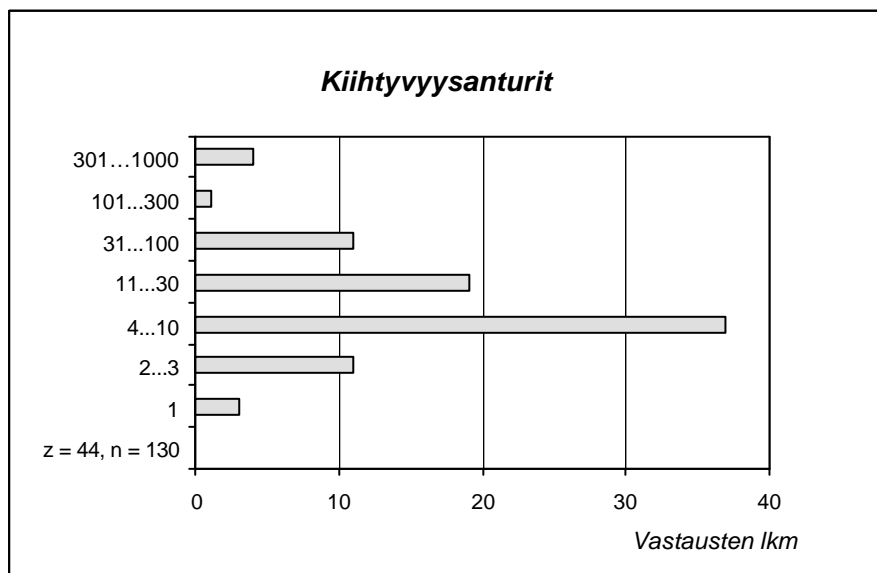


Kuva 3 Mittausten motiivit (ryhmä V)

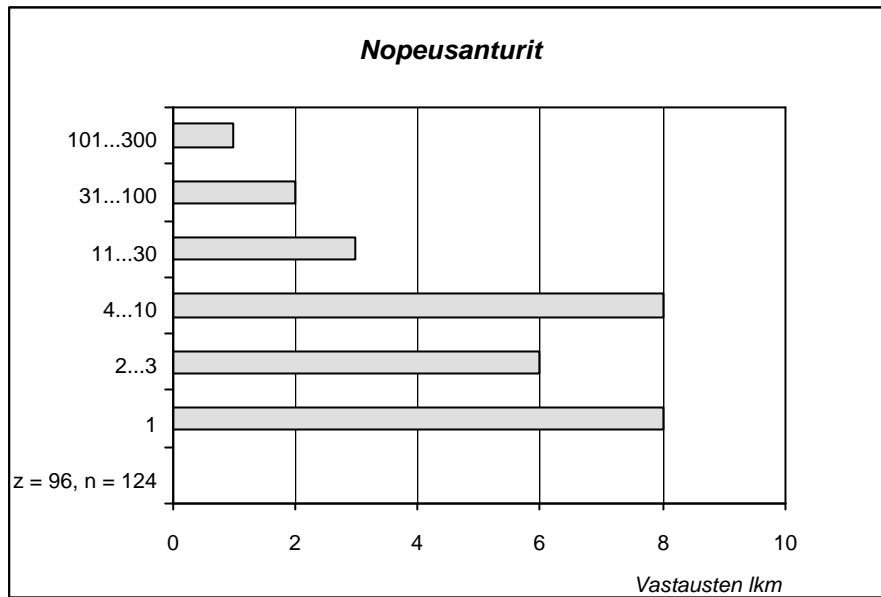


Kuva 4 Mittausten motiivit (ryhmä Y)

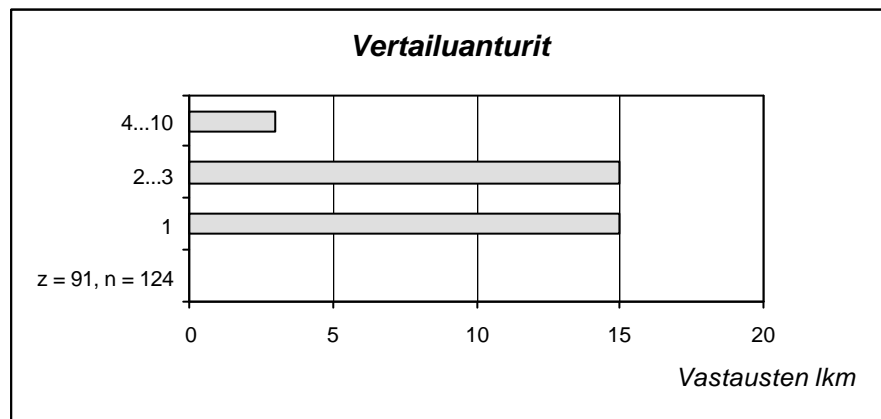
Mittausten volyymitiedot (K4) (kaikki vastaajaryhmät)



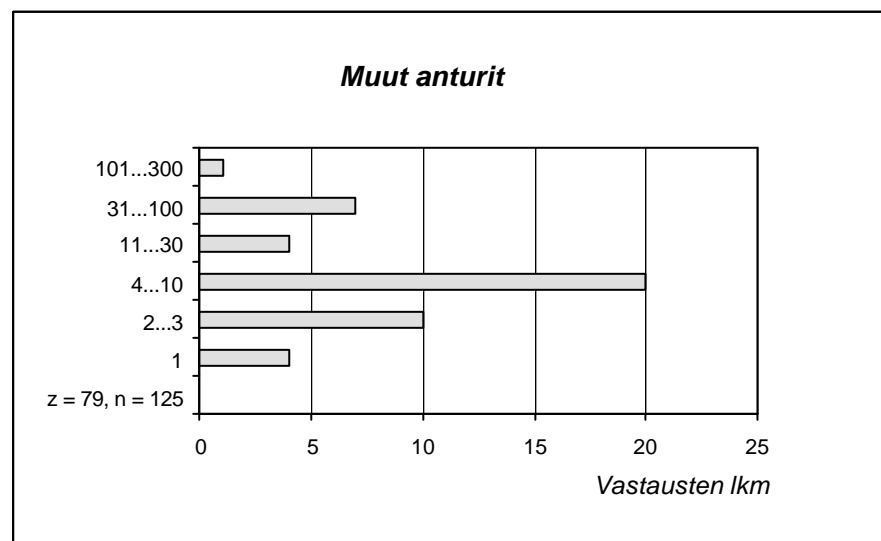
Kuva 5 Kiihtyvyyssanturien jakauma (N = 4093)



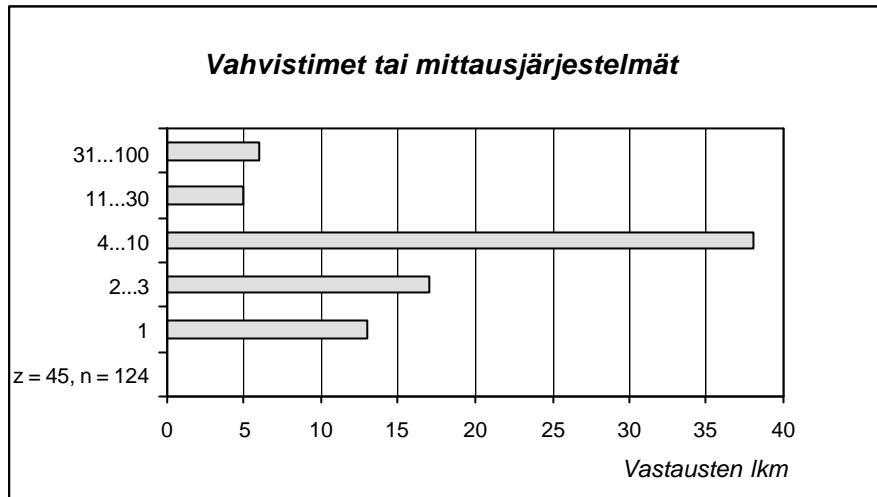
Kuva 6 Nopeusanturien jakauma (N = 441)



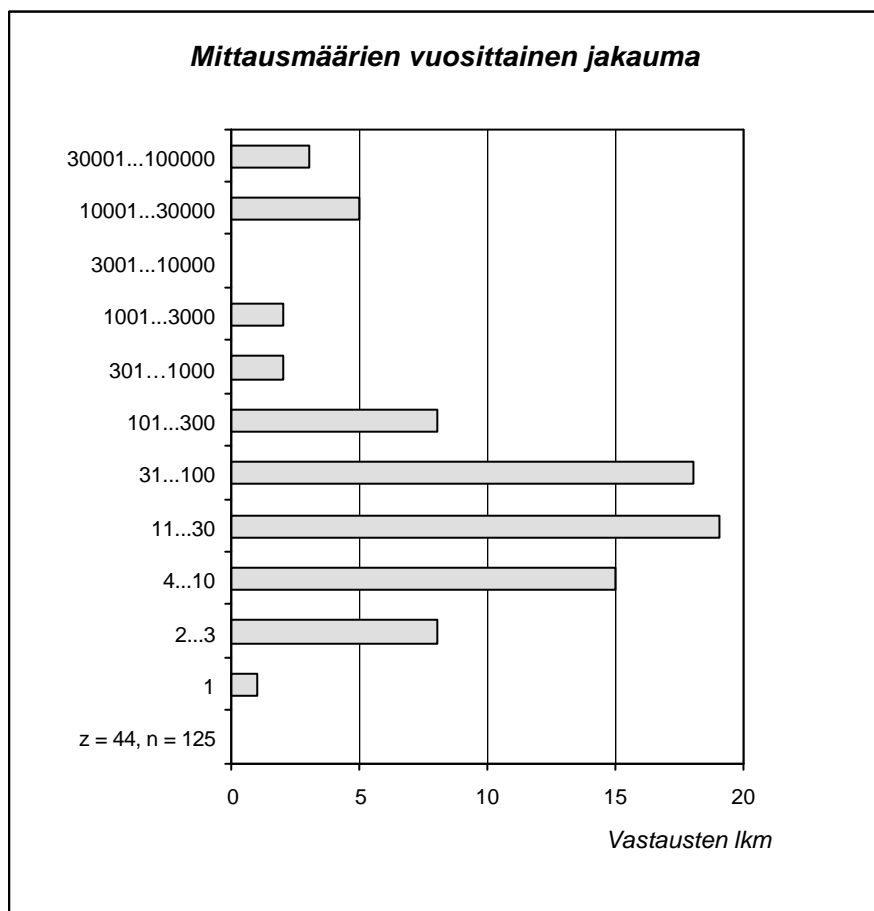
Kuva 7 Vertailuantureiden jakauma (N = 68)



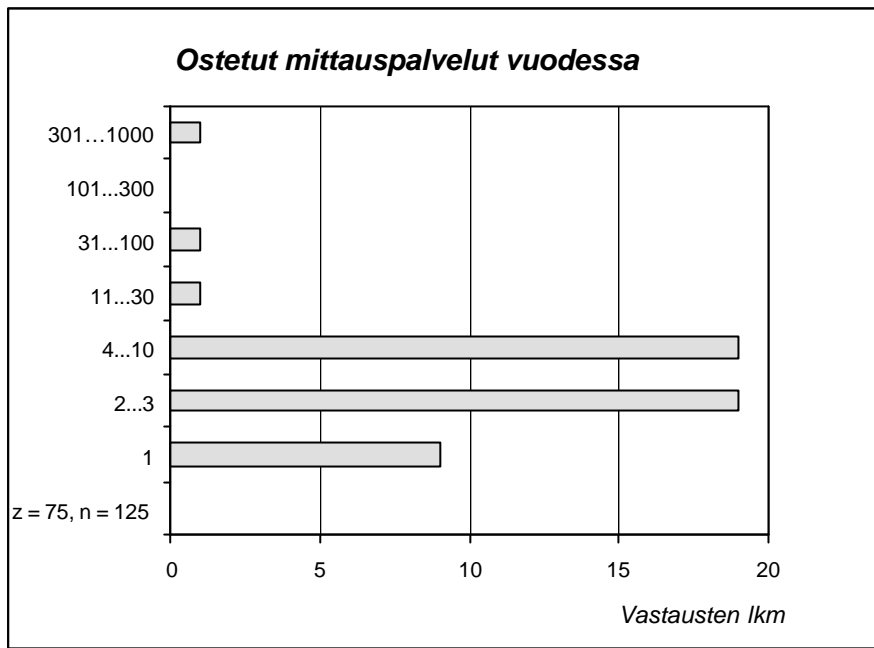
Kuva 8 Muiden antureiden jakauma (N = 951)



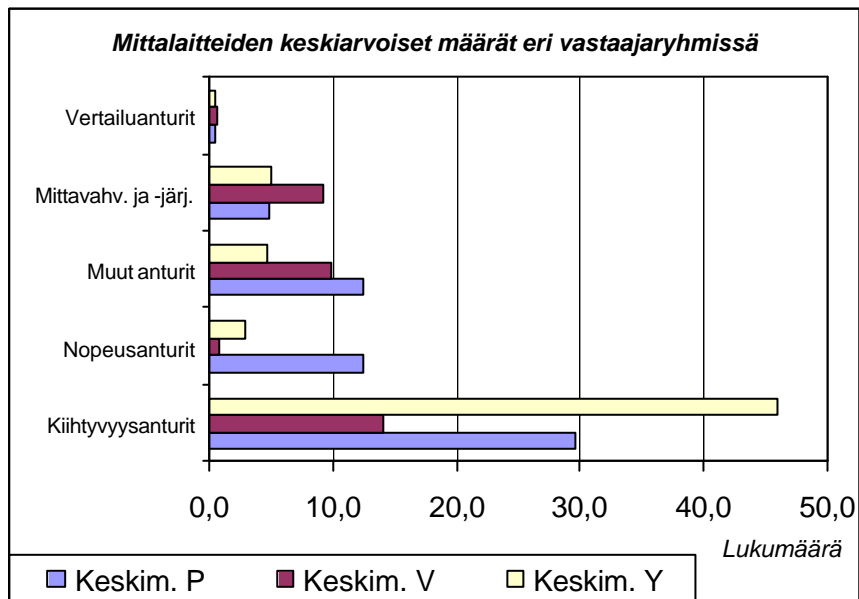
Kuva 9 Vahvistimet / mittausjärjestelmät (N = 818)



Kuva 10 Mittausmäärien vuosittainen jakauma (N = 309 082)

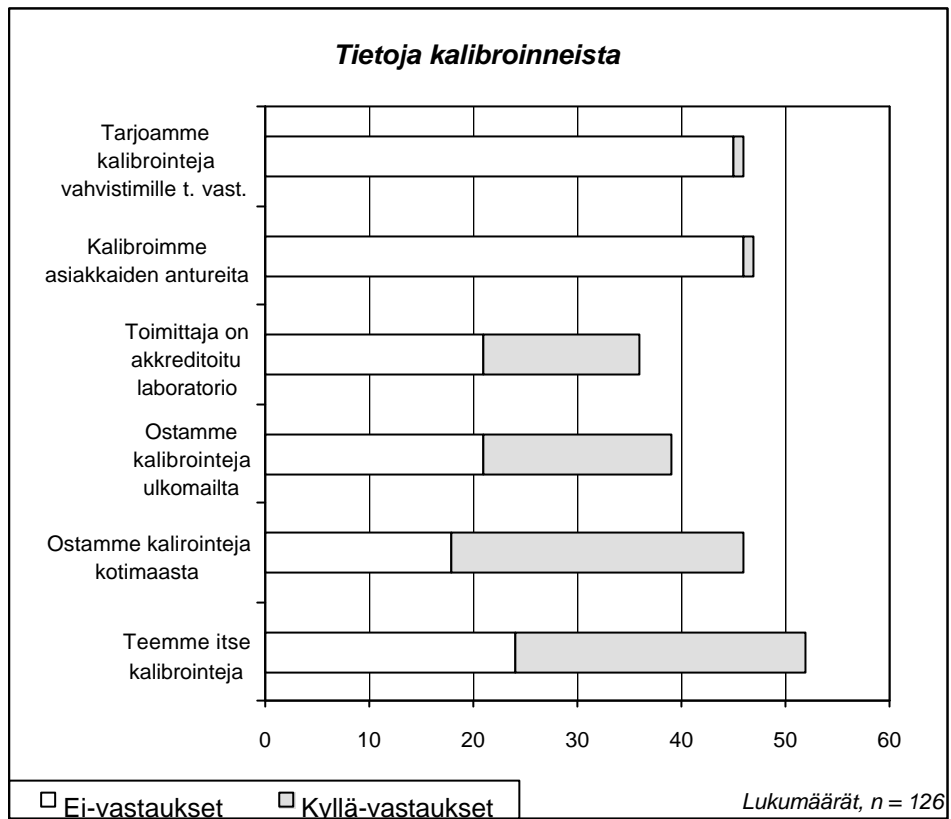


Kuva 11 Palveluna ostetut mittaukset (N = 1300)

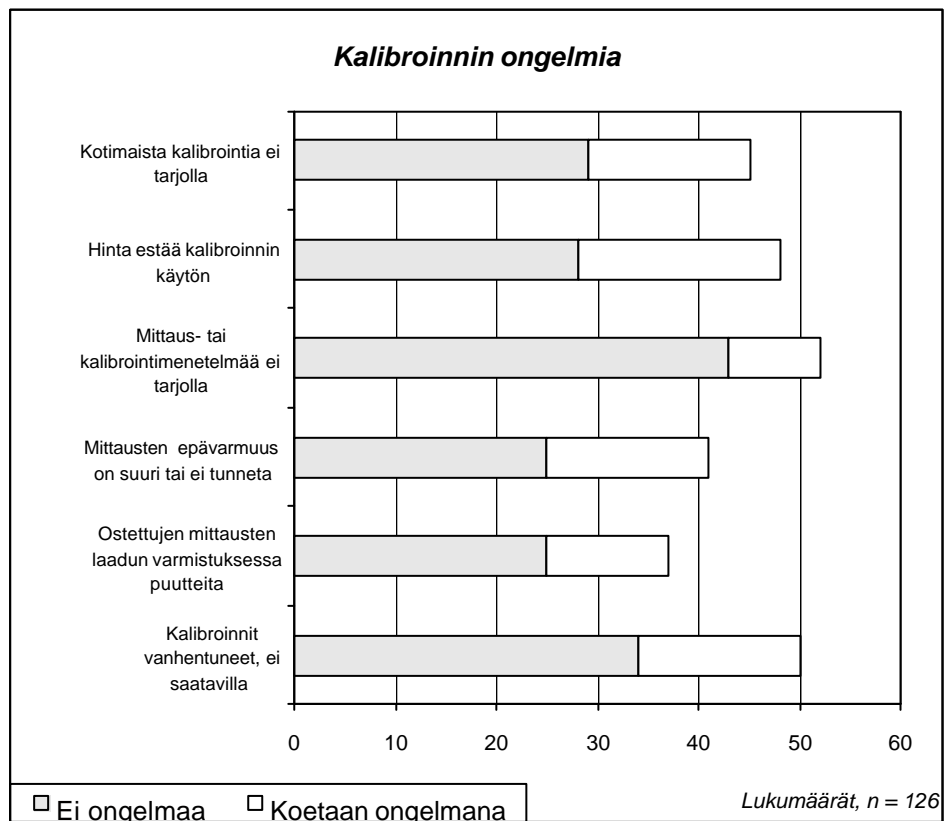


Kuva 12 Mittalaitteiden keskiarvoiset määrät eri vastaajaryhmissä

Tietoja kalibroinnista, mittausten ja kalibroinnin ongelmia (K5/6)



Kuva 13 Tietoja kalibroinnista



Kuva 14 Kalibroinnin ongelmia

KARTOITUKSEEN ANNETUT LISÄ- TIEDOT

1. Yleistä

Vastaajalle oli varattu mahdollisuus antaa lisätietoja ja kommentteja useisiin lomakkeen kohtiin. Jopa lähes puolet vastaajista myös käytti tarjolla olevaa tilaa, minkä takia on katsottu parhaimmaksi koota kaikki lisätiedot yhteen erilliseksi esitykseksi oheiseksi. Saadut tiedot käsitellään lomakkeen mukaisessa järjestyksessä.

2. Saatujen kommenttien käsittely

Lisätiedot ja eri kysymyskohtien kommentit esitetään sellaisenaan. Joissakin tapauksissa voi annettu lyhyt tekstikommentti vaatia lukijalta palaamisen itse lomakkeen kysymykseen (liite 1), mutta useimmiten ajatus selviää kuhunkin kohtaa liitetyn johdantotekstin avulla.

Mittausalueet (K2)

Kysymyksen K2 tarjolla olevat valmiit esimerkkialueet antoivat jo varsin kattavan kuvan koko toimintakentästä. Ne mittaukset, joita ei oltu erikseen mainittu lomakkeella, on esitetty kysymyksiin K2.1c, K2.2b, K2.4.d ja K2.6 annetuissa kommentteissa. Oheisena esitetään K2:n lisätiedot vastaajien esittämässä muodossa.

Kunnonseuranta, lisänä mainittu eri vastaajien antamia mittauskohteita (K2.1c)

Kohteena ovat mm.:

- paineastiat ja soodakattilat
- mittaamme mm. potkurikavitaatiota
- kohteena pumput
- laivojen runkorakenteet, akselistot tms.
- vaihteet, vesiturpiinit jms.
- kompressorit
- puhaltimet
- taajamaliikenne, mm. bussit
- asuinympäristön mittaukset rakenteista
- kohteena teollisuusvaihteiden värähtelyt
- epäkeskopuristimet, sähkömoottorit
- käytöt, huopien ja viirojen puhaltimet

- ajoneuvovalaisimet
- mekaaninen voimansiirto
- hydraulikat
- tehdään pyydettyä kunnonseurantaan liittyen NDT-toimintaamme

Liikennevälineet, moottoriajoneuvot (K2.2b)

Kohteenamme ovat:

- autot
- raskas liikenne, kuorma-autot
- h- ja k-autot sekä moottoripyörät
- moottoripyörät ja autot
- maastoajoneuvot
- sotilasarjoneuvot, sotavarusteet
- metsäkoneet
- kuorma-autot, panssarivaunut yms.
- kaivoskoneet
- autot, työkoneet
- henkilö- ja kuorma-autot
- kurottajat
- avaruustekniikan tuotteiden värähtelyt
- liikkuvat työkoneet

Henkilöön kohdistuvan värähtelyn mittaukset (K2.3)

- mittauksemme ovat vähentyneet koko 80- ja 90-luvun. Alan standardien kehittäminen pysähtynyt ?

Vaurioiden ennaltaehkäisy, muut vauriokohteet (2.4d)

Kohteitamme ovat:

- pyörivän akselin vauriot
- mm. putkistot
- voimakoneet, voimansiirtomoottorit
- vaihdevauriot
- laakerit
- väsymisvauriot laivoissa
- räjäytysten iskut (a-tarvikkeiden)
- myös veden paineen vaihtelut
- akseleiden rakenteiden väsytestaus
- vierintälaakerit
- ...teemme johdinvärähtelyn mittaukset itse, pylväsvärähtelyn mittaukset osamme ulkoa
- ...mittaamme mm. sähkömoottoreja vaurioiden ennaltaehkäisyn kannalta

Tuotekehitykseen jne. liittyvä mittaustoiminta (K2.5c)

- rakenteiden jännitysmittauksia
- hammaspyörien aih. värähtely
- värähtelyn eristyskyky (melu, värinä)
- rakenteiden ominaisvärähtely, lävistyksen aiheuttama värinä, levyä liikuttavien komponenttien värähtely
- shokkikokeet aluksille
- kalibrointi (ostamme ulkoa)
- värinä ja maanjäritys (laiteasennuksen yht.)
- akustiset ja audiomittaukset
- muita mittauksia ovat valojen vaimennus
- värähtelyn muotojen ja resonanssitaajuuksien määrittäminen
- perustukset, lattiat
- ominaismuotomittaukset
- kunnan arviointi

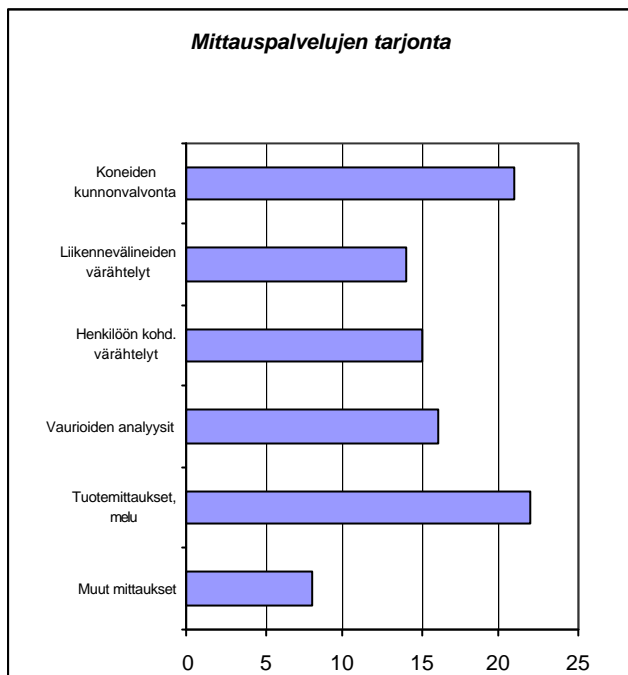
Muita lisätietoja ja kohteita (K2.6)

- teemme akustisen emission mittausta, valmistamme akustisen emission mittausrjestelmiä ja tarjoamme niihin liittyvää kaukovalvontaa ja koulutusta
- tarj. hitaasti pyörivien laitteiden kunnanvalvontaa
- tv-mastojen värähtelyn monitorointia
- tuotteiden kuljetusrasitustestaukset
- laivoissa käytettävien keskijännitekoneistojen värinätestaukset
- prosessin painetaso-mittausta erityyppisin anturein, dynaamisen paineen vaihteluiden mittauksia (pulsatio)
- tv-mastojen värähtelyjen monitorointi
- laitteistojen toiminto ja sijoituspaikan mittaukset
- kohteenamme on kiihtyvyyssanturien kalibrointi
- äänenpaineen ja taajuusvasteen kalibrointi mittamikrofonien osalta
- turpiinien alas- ja ylösrullausmittaukset. pyörivien koneiden vastaanottokokeet, ominaistajuus- ja pakkovärähtelymittaukset, tasapainotukset laitoksella.
- suoritamme sähkömagn. tärstimellä (teholuokka 48 kW) mekaanista testausta: värinä (sini, random), iskut, jyskytys
- kaikenlaiset värähtelyn ja meluntorjunnan edellyttämät mittaukset

- hissien ajomukavuusmittaukset
- teho- ja värähtelymittaukset venymäliuskoilla
- prosessilaitteiden värinämittaukset
- Lääkintävarikolla tehdään tällä hetkellä Puolustusvoimien audiometrien (kuulontutkimuslaitteiden) kalibroinnit
- kohteina voimajohtolinjojen johtimien värähtelymittaukset, sekä itsevaimennusmittaukset
- kohteena komposiittimateriaalit ja -rakenteet
- kohteena on metsäkoneen kuljettajaan kohdistuva värinä
- aseet, suojarakenteet, ballistiset suojarakenteet, kuten liivit, kypärät
- rakenteiden värinät vaakojen asennusta varten
- kalibroimme muiden aluetyöterveyslaitosten antureita
- tuotantovaihteiden mittausta (melu / värinä)
- telojen tasapainotus
- dynaamisen jäykkyyden mittausta liittyen rakennustuotteiden tuotekehitykseen
- savupiippujen, mastojen, siltojen, välipohjien, tuulivoimalarakenteiden värähtelymittauksia

Tarjoamme seuraavia mittauksia asiakkaille (K2.7)

Kysymykseen 2.7 tulleista vastauksista on koottu yhteenveto oheisen kuvion muotoon. Pystyakselin luokat ovat samat kuin kysymyksen 2 pääluokat. Vastauksien määrät on ilmaistu pääluokkien palkkien pituuksin. Esim. tuotemittauksia, joihin on laskettu myös meluntorjunnan mittaukset, tarjoaa yhteensä 22 vastaajaa. Useat vastaukset oli annettu alueina, esim. 2.5 ja osa myös tarkkoina kohteina, kuten esim. 2.5b (melun tai värinän torjuntaan liittyvät mittaukset). Kuvan yhteenvedon materiaali käsittää yht. 40 vastausta, joita oli tullut kaikista vastaajaryhmistä.



Kuva L3.1 Mittauspalvelujen tarjonnan jakauma (N = 40)

Mittausten tarkoitus ja tavoitteet (K3.1h)

- koska haluamme selvittää kuljetusolosuhteiden vaikutukset
- työmme ansiosta on viranomaismittauksia vähemmän
- vauriotapausten reklamaatiot yms. selvitykset
- väsymiskuormituksen / vaimennustarpeen arviointi
- koska ovat osa mittauspalvelutoimintaamme
- tärinän syy -analyysi
- teemme mittauksia opetukseen liittyen
- koska laitevalmistajalla ei ole omia testausresursseja
- kohteena ovat myös hankittavat tuotteet
- viranomaiset vaativat joskus mittauksia (ei lakisääteisesti)
- koska suunnittelu edellyttää mittauksia, asiakkaat tilaavat mittauksia omiin tarpeisiinsa
- haluamme selvittää, onko värähtelyllä terveysvaikutuksia
- koska asiakkaamme tarvitsevat alan asiantuntijapalveluja
- lävistyksen aiheuttama tärinä on erittäin suuri (max n. 1800 m/s²). Mittaamme tärkeimmille ja herkimmille komponenteille aiheutuvaa tärinää
- terveystarkastustarpeen arviointia, ohjausta
- tarvitaan kyseisiä tietoja asennussuunnittelussa (OPGW = optiset ukkoskodydet)

- kohteena on tutkimus ja kehitys
- tehtävämme on louhinnasta rakennuksille aiheutuvien haittojen tai haitattomuuden arviointi
- motiivina on tietojen hankinta mittauksin: 1) eri rakenneratkaisujen vaikutuksista tuotekehityksessä ja 2) eri käyttötapojen vaikutuksista käyttäjään kohdistuviin herätteisiin
- motiivina tuotekehitys asiakkaamme kannalta
- motiivina tutkimus
- koska asiakkaalla on akuutti tai mahdollisesti eteen tuleva värähtelyongelma
- koneiden toimivuuden ja kestävyuden takia
- ongelmatilanteet rakennuksissa ja työpaikoilla ratkaistava
- tehdään osana tutkimusta ja tuotekehitystä (mm. akustiikka ja ajodynamiikka)
- koska on selvitettävä tuotteiden melun syntymekanismi
- koska asiakkaat vaativat mittauksia
- tuotekehityksen apuneuvona: materiaalivakioiden määrittäminen vaatii värähtelymittauksia

Kohtaan 'muuta antureita' annettuja lisäyksiä ja kommentteja (K4.1c)

- käytössä mm. venymäliuska-antureita
- käytetään dynaamisen paineen antureita
- paineantureita ja venymäliuskoja
- muutaman kohteen jatkuva monitorointi
- käytössä mm. melumittalaitteita
- käytössä on mm. ilmanpainemikrofoneja
- mittauksen kesto on n. 1 pv - 2 vk / toimeksianto instrumenttien tarve n. 1 -20 kpl ja tarjolla 1- 8 kanavaa /instrumentti
- muita ovat mm. pyörrevirta-anturit
- kiinteitä järjestelmiä on meillä kolme kappaletta, jotka suorittavat jatkuvaa mittausta (tehd. lisäksi kannettavalla ja siirrettävällä järjestelmällä n. 20 000 mittausta vuodessa).
Miten on määritetty yksi mittaus ?
- teemme pääasiassa louhintaräjähdyksen ja paalutusten mittauksia, yli 20 000 vuodessa
- muita ovat LVOT, tuulenopeus, lämpötila
- palaute suunnitteluosastolle
- kannettavat + kiinteästi asennetut kiihtyvyyssanturit, kaikkiaan n. 514 kpl
- integroimalla vahvistimella kiihtyvyyssantureista saadaan nopeus- ja siirtymätieto

- olemme hankkimassa lisää kiihtyvyyssantureita sekä paria nopeusanturia
 - melumittari, meluannosmittareita
 - audiometrien kalibrointilaitteet
 - käytössä hydrofoneja
 - paineantureita muutamia
 - meluantureita
 - voima-antureita muutamia
 - suhteellisen kosteuden mitta-antureita n. 100 kpl
 - painemittareita (kalibroidaan joka kerta)
 - siirtymäantureita
 - paineen antureita (shokkiaalto)
 - venymäliuskoin instrumentointi
 - esim. siirtymä-, voima-, paineantureita
 - kulma- siirtymä- ym. antureita
 - siirtymäantureita (useita vastauksia)
 - pyörrevirta-antureita
 - voima-antureita, mikrofoneja tms.
 - laseranturi
 - voima-antureita
- ainoastaan seuranneet muutosta (tai tehneet mittaukset ulkopuolella)
 - mittamiehistä pulaa
 - puuttuu virallinen akkreditoitu kalibrointi kotimaassa (pitkät toimitusajat ulkoa)
 - laitteemme ovat vain tutkimuskäytössä
 - omalla testilaitteella ei ole mahdollista testata painavia tuotteita
 - standardien soveltaminen
 - kalibroinnit suoritetaan valmistajille, esim. USA:ssa. Olemme kiinnostuneita kotimaisista kalibrointipalveluista.
 - oma mittauskalusto on vanhentunutta, ei kalibroinnin piirissä - värähtely- ja melumittauksia harvoin, rutiinit puuttuvat
 - kokemusta / tilastotietoa ei kerry riittävästi, jotta tuloksia osaisi analysoida
 - kaapeliongelmat ovat yleisiä
 - satunnaisesti laitevikoja tai rikkoutumisia kuljetuksen tai vaikeiden olosuhteiden vuoksi
 - joitakin erikoisantureita puuttuu
 - kenttäolosuhteet monasti hankalia (kosteus, lämpötila, pöly jne.)

Omien tai palveluna tarjottavien mittausten ongelmia (K5.1f)

- ongelmana esiintyy lähinnä kesäaikaan ukonilmojen aiheuttamia vikaantumisia
- laitteet ovat liian kalliita tarkoitettuun käyttöön
- kalibrointi sitoo kalustoa pitkäksi aikaa pois käytöstä
- tarpeemme on kaluston toimintakunnon tarkkailu
- absoluuttinen suuri mittaustarkkuus ei ole oleellista mittauksissamme, tärkeää on mittausvirheen tunteminen taajuusalueen eri kohdissa
- vertailuantureiden kalibrointia ei Suomessa
- testauslaitteiden huoltoa/kunnossapitoa ei Suomessa
- kalibrointeja ei saatavilla Suomessa
- vertailunormien saanti hankalaa - mikä on sallittua ja mikä ei sallittua värähtelyä terveysvaikutuksiltaan
- käytettävissä olevan ajan puute
- pieni volyyymi, mittaukset eivät rutiinia, standardien vaihtumisnopeus on suuri
- emme ole toistaiseksi kalibroineet kiihtyvyyssantureitamme. Mittausten tarkkuusvaatimus ei ollut korkea, tai olemme

Ongelmia ostetuissa mittauspalveluissa (K5.2e)

- otos on kovin pieni (ostamme ulkoa vähän)
- olosuhteista ei välttämättä ole tietoa
- ongelmana on hinta
- kunnonvalvontamittauksissa ei käytettävissä kohteissamme sopivia referenssiarvoja, hälytysrajoja tms.
- tietosuoja !
- tietovuoto !
- olemme juuri kyselemässä talon ulkopuolista palvelua ulkomailta
- laitteita joudutaan siirtelemään testipaikasta toiseen (Suomessa ei ole "yhden luukun palvelua")
- emme käytä ulkoisia palveluja, koska laitteet saattavat vaurioitua räjähdyskuormitusten alaisina
- mittauspalvelun tarve on kohdistunut tähän mennessä pelkkään meluun
- satunnaisten alihankkijoiden käyttö hankalaa, ei riittävästi tietoa ongelmistamme kokonaisuutena
- tulosten havainnollistaminen ja analyysi usein liian "teknistä" ja raakaa
- kalibrointeja ei ole saatavissa Suomesta

Yleisempiä ongelmia mittauksissa ja /tai kalibroinneissa (K5.3)

- johdinvärähtelyjen mittaus edellyttää käyttökeskeytystä laitteiden asennuksen aikana ja mittausdatan luennassa.
- kaikkia mittalaitteita koskeva kalibroinnin kehittäminen on käynnissä
- tärinämittaukset: tieto puuttuu
- pietsosähköisten anturikaapeleiden laatu ja ylläpito
- tietoa koulutuspaikoista puuttuu

Laadunvarmistus, jäljitettävyys yms. (K6)

- käytämme ulkomaista toimittajaa (mittanormaalilab.)
- toimittajana (kalibr. lab.) on kansainvälinen anturivalmistaja
- ostamme meluannosmittareiden kalibrointeja kotimaiselta toimittajalta
- ostamme kalibrointeja vertailulaitteistolle, vertailumittauksia joskus asiakkaiden laitteille

Metrologian neuvottelukunta, akustiset suureet

Värähtelytyöryhmän jäsenet

Aimo	Pusa, puheenjohtaja	Raute Precision Oy
Jukka	Christersson	Finnrock Oy
Björn	Hemming	VTT Valmistustekniikka
Kari	Kantola	TKK Lujuusopin laboratorio
Jouni	Lappalainen	Työterveyslaitos
Antti	Lassila	MIKES
Olavi	Nevalainen	VTT Automaatio
Asko	Parri	Itäisen Maanpuolustusalueen Esikunta
Arto	Tulonen	Kvaerner Masa-Yards
Seppo	Nevalainen, sihteeri	MIKES

Kyselyn jakelun järjestämisen apua ja muuta tukea työryhmän toimintaan ovat antaneet:

Ilkka	Kyttälä	Sosiaali- ja terveysministeriö, työsuojeluosasto
Asko	Ainikkamäki	NC-Point Oy
Jarmo	Halla	Intotel Oy

Edellisten lisäksi on useilta kyselyyn vastanneilta asiantuntijoilta saatu lisätukea puhelinkeskusteluihin kyselyn aihepiiriin liittyvistä kohteista, erilaisista ongelmista ja niiden ratkaisumahdollisuuksista, mistä työryhmän sihteeri lausuu täten parhaat kiitöksensä.

Kirjallisuusviitteet


- [alt]** Työpaikkamelua koskevia altistusnormeja:
- Valtioneuvoston päätös (1404/93) työntekijän suojelusta työssä esiintyvän melun aiheuttamilta vaaroilta ja haitoilta.
- VnP Koneiden turvallisuudesta 1314/1994
- Euroopan Unionin (melun)altistusnormi: EY:n direktiivi 86/188/EEC, työntekijän melualtistus: Council Directive 12.6.1986 on the protection of workers from risks related to exposure to noise at work, Official Journal of the European Communities no L 137, ss. 28-34). Käännös on julkaistu Työsuojeluhallituksen julkaisussa "Euroopan yhteisön työolodirektiivejä" Tampere 1991
- Työministeriön päätös (495/1993) räjäytys- ja louhintatyötä koskeviksi turvallisuusmääräyksiksi*
- [mek1]** Mekaanisten värähtelysuureiden kalibrointi (TR 1047-2), Suomen Akustiikkakeskus Oy, Heikki Tuominen, 19.10.1983
- [mek2]** ISO 8041/1990 Human response to vibration - Measuring instrumentation
- [mik1]** MIKES: J13/1997 Äänitasomittarit tarkastuksen tarpeessa).
- [mel]** *Melupäästöihin liittyviä dokumentteja:*
- SFS 4578 (1986-06-30) Melualtistuksen mittaaminen
- Melupäästöjen hallinnan dokumentteja: Euroopan yhteisön konedirektiivi, kts. valtioneuvoston päätös (1410/93) koneturvallisuudesta.
- Meluntorjuntalaki (382/1987), tuli voimaan 1.3.1988, Meluntorjuntalain nojalla valtioneuvosto on antanut yleiset melutason ohjeavot (993/1992).
- [sta]** ISO 1925, 1990-05-00 Mechanical vibration; balancing; vocabulary
- ISO 1940-1 1986-09-00 Mechanical vibration, Balance quality requirements of rigid rotors; Part 1: Determination of permissible residual unbalance
- ISO 2954 1975-07-00 Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery; Requirements for instruments for measuring vibration severity
- ISO 4866 AMD 2 1996-12-10 Mechanical vibration and shock - Vibration in buildings - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings; Amendment 2
- ISO 5347-1...19 *Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups*
- ISO/DIS 5347-1 1998-03-00 Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups -Part 1: Primary vibration calibration by laser interferometry (Rev. of ISO 5347-1:1993)
- ISO 5349 1987-05-00 Mechanical vibration; Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration
- ISO 2631-1, -2 (...human body exposure)
- ISO 6954 1984-12-00 Mechanical vibration and shock; Guidelines for the overall evaluation of vibration in merchant ships
- ISO 7919-1...5: Mechanical vibration of non-reciprocating machines, Measurements on...
- ISO 8662-11 1999-02-00 Hand-held portable power tools - Measurement of vibrations at the handle - Pt 11: Fastener driving tools
- ISO 9668 1990-12-00 Mechanical vibration and shock; analytical methods of assessing shock resistance of mechanical systems; information exchange between suppliers and users of analyses
- ISO/DIS 10326-2 1996-10-00 Mechanical vibration - Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration - Part 12: Application to railway vehicles
- ISO/DIS 14964 1999-01-00 Mechanical vibration and shock - Vibration of stationary structures -Specific requirements for quality management in measurement and evaluation of vibration.
- SO/DIS 14253 -1 Geometrical product specification (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring instruments
- Svensk Standard SS 02 52 11 Förslag 1999-02-17 Vibration och stöt - Rikvården och mätmetod för vibrationer i byggnader häärörande från pålning, sponning, schaktning och packning för bedömning av skaderisk
- [Tie]** Tieliikennemelun mittaaminen, Ympäristöministeriö H:ki 1996
- Kalibrointikokeilu kiihtyvyyssanturien herkkyydelle pituuden kansallisen mittaustilan (VTT/Val5) laserinterferometrillä. Raportti VALB-121, Björn Hemming, Timo Knuutila 12/1995
- Käyttövarmuuden tekniikat, VTT Tiedotteita 1557, VTT Espoo 1994, toim. Kenneth Holmberg & Helena Ronkainen, VTT Valmistustekniikka
- EUROMET-raportti CIPM/97-7 (Kansainvälisen kyselyn tulokset: akustisten suureiden kalibrointi)

Internet-linkkejä

- [SP]** <http://www.sp.se/pne/acoustics/metrology.htm>
- [B&K]** <http://www.bk.dk>
- [DKD]** <http://www.dkd.ptb.de/english/kurzvre.doc>
- [PTB]** <http://www.ptb.de/english/org/1/12/122/122ecali.htm>
- [Nor]** <http://www.justervesenet.no/na/akkreditert>



MITTATEKNIIKAN KESKUS
PL 239
00181 HELSINKI
Puh. (09) 616 761 (vaihde)
Telekopio (09) 616 7467



ISBN 952-5209-39-3
ISSN 1235-5704