



Vaakojen kalibrointiopas

Aimo Pusa | Kari Riski |
Maija Ojanen-Saloranta (Toim.)

Vaakojen kalibrointiopas

Aimo Pusa, Kari Riski & Maija Ojanen-Saloranta (Toim.)



ISBN 978-951-38-8508-3 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)

VTT Technology 286

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8508-3>

Copyright © VTT 2017

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

Teknologiska forskningscentralen VTT Ab

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Esipuhe

Mittatekniikan keskus laati vuonna 1998 yhdessä Metrologian neuvottelukunnan massasuureiden asiantuntijatyöryhmän kanssa ohjeen J6/1998 vaakojen kalibroinnista. Alkuperäisen julkaisun laatineen asiantuntijaryhmän jäseninä toimivat Alpo Hyödynmaa (Inspecta Oy), Aimo Pusa (Raute Precision Oy), Rauno Rajaniemi (Rautaruukki Oy), Kari Riski (Mittatekniikan keskus) ja Juha Savolainen (Oy G.W. Berg & Co Ab). Tämän ohjeen ovat vuonna 2016 päivittäneet Aimo Pusa, Kari Riski, Maija Ojanen-Saloranta (VTT MIKES) sekä massan akkreditoituja kalibrointilaboratoriota ja muita toimijoita kokoava Massaklubi. Ohje on yhdenmukaistettu Eurametin kalibrointiohjeen cg-18 v4.0 kanssa, ja se korvaa julkaisun J6/1998.

Päivitystyöryhmä kiittää Sampo Piristä ja Anni Repoa ohjeen julkaisukuntoon saattamisesta.

Sisällysluettelo

Esipuhe.....	3
Lyhenneluettelo	6
Symboliluettelo.....	7
1. Johdanto	9
2. Mittausten varmentaminen.....	10
2.1 Kalibrointi mittausten luotettavuuden osoittajana	10
2.2 Mittauslaitteelle asetetut suorituskykyvaatimukset	10
2.3 Puhtaus, ennakkohoito.....	11
2.4 Kalibrointi	11
2.5 Kalibrointinormaalit.....	12
2.6 Kalibrointiväli	12
2.7 Viritys	13
2.8 Lakisääteinen varmennus (aiempi termi vakaus)	13
2.9 Käyttöönotto	14
2.10 Seurantamittaukset	15
2.11 Viallisen laitteen käsittely	15
3. Mittausten varmentamiselle asetetut vaatimukset.....	17
4. Punnitsemiseen ja vaa'an kalibrointiin vaikuttavat tekijät	18
4.1 Ympäristöolosuhteet.....	18
4.2 Vaa'an sijaintipaikka.....	21
4.3 Vaa'alta vaaditun tarkkuuden toteaminen	21
4.4 Punnitusmenetelmä.....	22
4.5 Sijoitusmenettely	22
4.6 Mittaaja.....	22
5. Kalibrointi	23
5.1 Alkuseelvitykset.....	23
5.2 Toimenpiteet ennen kalibrointia kalibrointipaikalla	23
5.3 Mittaukset.....	24
5.4 Tulokset.....	26
5.5 Kalibrointitodistus	27
5.6 Mittausepävarmuuden arviointi (cg18, 7)	28
5.6.1 Näyttämän standardiepävarmuus	29
5.6.2 Referenssipunnuksista aiheutuva epävarmuus:.....	31
5.6.3 Näyttämän virheen standardiepävarmuus $u(E)$	34
5.6.4 Kalibrointikäyrän epävarmuus (cg18, C)	34
5.6.5 Käytönaikainen mittausepävarmuus	36
5.7 Virheiden lisääminen epävarmuuteen (cg18, 7.5.2)	36

6. Seurantamittaukset	37
6.1 Punnukset	37
6.2 Seurantamittausten aikaväli	37
6.3 Viritys	37
6.4 Suoritus	38
6.5 Tilastollisen menetelmän käyttö	38
7. Kalibroinnissa käytettävät punnukset	40
7.1 OIML:n punnusluokat	40
7.2 Ilman noste ja konventionaalinen massa.....	40
7.3 Punnusten kalibrointi	42
7.4 Punnusten käsittely ja säilytys.....	42
7.5 Kalibrointipunnusten valinta	43
7.5.1 Lakisääteisesti varmennetut punnukset	43
7.5.2 Kalibroidut punnukset.....	44
7.6 Punnusluokkien suurimmat sallitut virheet	45
7.6.1 OIML R111 [7].....	45
7.6.2 OIML R47 [8].....	46
8. Vaakojen luokitus standardin EN 45501 (OIML R 76) perusteella	47
Kirjallisuusluettelo:	50
Liitteet	51

Liitteet

- VAAKAKALIBROINTIOHJE, LIITE 1: Pyöristysvirheettömän näyttämän määrittäminen
- VAAKAKALIBROINTIOHJE, LIITE 2: Vaaka-alan sanastoa liittyen kalibrointiin
- VAAKAKALIBROINTIOHJE, LIITE 3: Vaa'an kalibrointiesimerkki
- VAAKAKALIBROINTIOHJE, LIITE 4: Minimipainon määrittäminen
- VAAKAKALIBROINTIOHJE, LIITE 5: Moniaskelvaa'an (moniaskelarvovaaka) virheikäyrän määrittäminen

Tiivistelmä

Lyhenneluettelo

CEN (*European Committee for Standardization*), www.cen.eu

EA, *European co-operation for Accreditation*, www.european-accreditation.org

EN, *European Standard*, www.cen.eu

EURAMET, *The European Association of National Metrology Institutes*,
www.euramet.org

FINAS, *FINAS-akkreditointipalvelu*, www.finas.fi

GUM, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, www.bipm.org

IEC, *International Electrotechnical Commission*, www.iec.ch

ISO, *International Organization for Standardization*, www.iso.org

JCGM, *Joint Committee for Guides in Metrology*, www.bipm.org

OIML, *Organisation Internationale de Métrologie Légale*, www.oiml.org

SFS, *Suomen standardisoimisliitto SFS ry*, www.sfs.fi

Tukes, *Turvallisuus- ja kemikaalivirasto*, www.tukes.fi

VIM, *International vocabulary of metrology*, www.bipm.org

Symboliluettelo

Symboli	Määritelmä (Definition)
E	näyttämän virhe (Error of indication)
I	vaa'an näyttämä (Indication)
δI	vaa'an näyttämään tehtävä korjaus
k_s	herkkyyskerroin (adjustment factor)
L	kuorma (Load)
Max	suurin käyttökuorma (Maximum capacity)
Min	pienin käyttökuorma (Minimum capacity)
R	vaa'an näyttämä (punnituksessa) (indication (reading) of an instrument not related to a test load)
U	laajennettu epävarmuus (expanded uncertainty)
U_{gl}	kokonaisepävarmuus (global expanded uncertainty)
W	punnitustulos (weighing result)
d	askel (scale interval)
d_0	askel nollakuormalla
d_l	askel kuormattuna
g	putoamiskiihtyvyys (logal gravity acceleration)
k	kattavuuskerroin (coverage factor)
m	kappaleen (todellinen) massa (mass of an object)
δm	punnuksen massaan tehtävä korjaus
m_c	konventionaalinen massa (conventional value of mass)
m_N	punnuksen nimellisarvo (nominal conventional value of mass)
m_{ref}	referenssipunnuksen massa (reference weight of a test load)
D	punnuksen massan muutos edellisen kalibroinnin jälkeen
SSV	suurin sallittu virhe (maximum permissible error, <i>mpe</i>)
n	(punnitusten) lukumäärä (number of items)
s	keskihajonta (standard deviation)
t	ilman lämpötila (temperature)
u	standardiepävarmuus (standard uncertainty)
p	ilmanpaine (pressure)
h	ilman suhteellinen kosteus (relative humidity)

ν	vapausasteiden lukumäärä (number of degrees of freedom)
ρ	tiheys (density)
ρ_0	ilman tiheyden referenssiarvo (reference density of air), $\rho_0 = 1,2$ kg/m ³
ρ_a	ilman tiheys (air density)
ρ_c	punuksen tiheyden referenssiarvo (reference density of a standard weight), $\rho_c = 8\,000$ kg/m ³
e	varmennusaskel (verification scale interval)
K_T	lämpötilakerroin (sensitivity of the instrument to the temperature varia- tion)

1. Johdanto

Mittaustulosten hyödyntäminen vaatii tietoa mittauksen oikeellisuudesta. Erityisesti laatustandardit edellyttävät, että tuotteiden laatuun ja spesifikaationmukaisuuteen vaikuttavien mittaustulosten on oltava jäljitettävissä kansallisiin tai kansainvälisiin normaaleihin.

Mittaustulosten jäljitettävyys puolestaan edellyttää mittauslaitteen asianmukaista kalibrointia ja mittausepävarmuuden tuntemista. Kalibroinnista saadaan mittauslaitteen näyttämän ja mittausuureen arvojen välinen yhteys. Kalibroinnin suorittaja on vastuussa siitä, että kalibroinnin jäljitettävyys on kunnossa ja kalibroinnin epävarmuus on tiedossa. Akkreditoidun kalibrointilaboratorion toteuttamassa kalibroinnissa nämä seikat on varmistettu ja tilaaja voi luottaa akkreditointiin.

Mittauksen varmentaminen kuuluu mittauslaitteen käyttäjälle (käyttäjällä tarkoitetaan mittauksista tai järjestelmän ylläpidosta vastaavaa). Varmentaminen käsittää

- mittaukselle asetettujen suorituskykyvaatimusten määrittämisen (sallittu virhe, mittausepävarmuus)
- mittauslaitteen toimintakunnon ja mittausten tekemisen edellytyksistä huolehtimisen
- mittauslaitteen kalibroinneista huolehtimisen, jolloin saadaan myös mittausepävarmuus, joka on oleellinen osa mittausten luotettavuuden osoitusta (VIM 2.26 [12, 13]).

Mittausten varmentaminen edellyttää tiettyjä perustietoja mittauslaitteesta ja mitaustapahtumasta. Näitä tietoja tarvitsevat sekä kalibroija että käyttäjä. Tämä opas antaa selvennystä näihin asioihin.

Lakisääteinen varmennus on kalibroinnin ohella käyttökelpoinen menetelmä. Se perustuu lainsäädäntöön ja on pakollinen, kun mittauslaitetta käytetään mittaamiseen, jolle on asetettu vaatimuksia lainsäädännössä. Yleensä lakisääteinen varmentaminen edellyttää, että laite (esim. vaaka) on tyyppihyväksytty.

Tämä julkaisu antaa perustietoja punnitsemisesta ja punnitusten varmentamisesta sekä ei-automaattisten vaakojen kalibroinnista. Julkaisu on tarkoitettu vaakojen kalibroijille, käyttäjille ja punnituksista vastaaville henkilöille. Se soveltuu ei-automaattisille vaaoille, mutta samoja periaatteita voidaan rajoitetusti soveltaa myös muille vaakatyypeille. Ohje on yhdenmukainen Eurametin kalibrointiohjeen cg-18 v4.0 [1] kanssa.

2. Mittausten varmentaminen

Varmentaminen käsittää kaikki ne toimenpiteet, joilla osoitetaan ja pidetään yllä vaa'an näyttämän luotettavuutta. Vastuu näiden toimenpiteiden suorittamisesta on sillä, joka tarvitsee mittaustulosta ja käyttää sitä hyödykseen. Käytännössä vastuu on aina vaa'an käytöstä vastaavalla tai mittausjärjestelmän ylläpitäjällä. Seuraavat toimenpiteet ovat varmentamista tai osa siitä.

2.1 Kalibrointi mittausten luotettavuuden osoittajana

Kalibrointi on määritelty mittauslaitteen näyttämän vertaamisena tunnettuun normaaliin (VIM 2.39). Kalibrointiin käytetty normaali antaa jäljitettävyyden. Laskettaessa kalibroinnille mittausepävarmuus saadaan mittauslaitteen suorituskyvystä kertova välttämätön informaatio. Laatustandardit vaativat kuitenkin jäljitettävyyden osoitusta tuotteiden laadunmukaisuuden tai spesifikaation mukaisuuden toteutumisille suoritetuista mittauksista. On huomattava, että pelkästään jäljitettävyyden vaatimus sisältää jo mittausepävarmuuden osoittamisen vaatimuksen.

Akkreditoituille kalibrointilaboratorioille asetetut yleiset vaatimukset on esitetty standardissa SFS - ISO/IEC 17025: 2005 [2]. Tämä standardi määrittelee vain toiminnalta vaaditut rakenteet. Siinä ei esitetä esimerkiksi kalibrointimenetelmiä, vain vaatimus kalibrointien tekemisestä. FINASin akkreditoimien laboratorioden myöntämät kalibrointitodistukset ovat uskottavuudeltaan samanarvoisia kuin kaikki EA:n monenkeskisissä tunnustamissopimuksissa mukana olevissa maissa myönnetty vastaavat todistukset. Käyttäjän tulee arvioida todistusten käyttöarvo todistuksen sisällön perusteella.

2.2 Mittauslaitteelle asetetut suorituskykyvaatimukset

Käyttäjä on hankkiessaan mittauslaitteen joutunut arvioimaan mittaukselle asetetut suorituskykyvaatimukset (laatujärjestelmän vaatimus, että mittausepävarmuus ja jäljitettävyys on osoitettava). Tässä on kyse nimenomaan mittauslaitteella, vaa'alla, suoritetusta mittauksesta käyttötilanteessa. Kalibroinnin suurin sallittu virhe näyttämälle ja mittausepävarmuus ovat aina pienempiä kuin itse mittaukselta vaaditut arvot. Kalibrointi tehdään asiantuntijan tekemänä, ja siinä tehtävät mittaukset poikkeavat käyttötilanteesta. Se, kuinka paljon pienempiä arvojen tulee olla, on käyttäjän arvioitava mittausten perusteella. Arviona voidaan sanoa, että mittauksella saavutetut arvot ovat 1,1...1,3 kertaa kalibroinnin arvot.

(1)

$$U_{\text{mittaus}} = a \cdot U_{\text{kalibrointi}}$$

jossa $a \approx 1,1 \dots 1,3$.

Näiden arvojen määrittäminen on olennainen osa mittauskyvyn ylläpidon hallintaa.

2.3 Puhtaus, ennakkohuolto

Vaaka on yleisesti erittäin tarkka mittaustuloksesta, mutta sen mittausepävarmuus voi kasvaa huomaamatta, jos sitä käytetään epäasiallisesti. Merkittävin mittausepävarmuuden kasvun aiheuttaja on yleensä lika: se voi kulkeutua vaa'alle joko mitattavien kappaleiden mukana tai esim. ilmavirtausten mukana. Sen lisäksi, että lika kasvattaa suoranaisesti punnitustulosta, se voi myös kulkeutua kuormankannattimen (vaakasillan) ja rungon väliin. Tämä aiheuttaa virheellisen punnitustuloksen tai voi jopa vaurioittaa vaakaa. Likaantumista ei aina huomaa mittaustuloksista tai vaa'an toiminnasta. Myös pienten vaakojen ylikuormitus voi aiheuttaa virheen, jota ei huomaa helposti. Vaa'an puhtautta ja muita käyttökuuntoon vaikuttavia tekijöitä on valvottava siihen soveltuvilla menetelmillä. Epästabiili näyttö on yleensä osoitus vaa'an toiminnallisesta häiriöstä. Ennakkohuolto on yksi keino varmentaa vaa'an luotettava toiminta.

2.4 Kalibrointi

Kalibrointi (VIM 2.39) on mittalaitteen näyttämän vertaamista suureen tunnettuun arvoon sisältäen mittausepävarmuuden määrittämisen. Kalibrointikäsite ei pidä sisällään viritystä. Kalibrointi voi osoittaa, että laite näyttää oikein, mutta se kertoo myös, kuinka paljon laite näyttää väärin. Kalibrointi voidaan tehdä mille mittalaitteelle tahansa, ja se on välttämätön toimenpide mittalaitteen näyttämän oikeellisuuden varmentamisessa. Mittausten luotettavuuden osoittamiseksi tehtyyn kalibrointiin liittyy aina jäljitettävyyden ja mittausepävarmuuden.

Kalibroinnin tuloksena saadaan mittaustuloksen näyttämän ja mittaussuureen todellisen arvon välinen yhteys. Kalibroinnin tulos annetaan usein näiden arvojen erona, jolloin sitä kutsutaan virheeksi (VIM 2.16): virhe = mittaustulos – mitta-normaalin antama referenssiarvo. Korjattu mittaustulos saadaan vähentämällä virhe vaa'an näyttämästä. Virheen lisäksi kalibroinnissa määritetään kalibroinnin mittausepävarmuus. Se esitetään esimerkiksi punnitustulokselle usein muodossa $\pm U$ ($k = 2$), esimerkiksi ± 5 g. Tämä tarkoittaa sitä, että mittaustuloksen standardiepävarmuus (keskihajonta) on kerrottu kattavuuskertoimella $k = 2$ ja että mittaustulos on n. 95 %:n todennäköisyydellä rajojen $+ U$ ja $-U$ sisällä. Vaa'an kalibroinnin mittausepävarmuuden laskentaa on käsitelty tämän ohjeen kohdassa 6.6.

Huom. Virhe ja korjaus ovat vastakkaismerkkisiä. Jos virhe on positiivinen, on mittaustulos liian suuri ja oikea tulos saadaan vähentämällä virhe mittaustuloksesta. Mittausepävarmuus on riippumaton virheestä: se kertoo, miten luotettava mittaustulos on.

Kalibroinnin avulla määritetään mittaustuloksen suorituskyky kalibrointihetkellä ja kalibrointiolosuhteissa. Tällöin tiedetään, kuinka oikeita mittaustuloksia antavat tulokset ovat. Suorituskykyyn vaikuttavat mm. kalibroinnin mittausepävarmuus, näyttämän virheet ja laitteen stabiilius.

2.5 Kalibrointinormaalit

Kalibrointinormaaleina käytetään tunnettuja punnuksia, joilta vaaditaan kalibrointitodistus osoittamaan punnuksen konventionaalista massaa ja kalibroinnin mitausepävarmuutta. Oleellista on, että punnusermaaleja valittaessa kiinnitetään huomiota siihen, että kullekin kuormalle käytettyjen punnusten yhteenlaskettu mitausepävarmuus on pienempi kuin 1/3 kyseiselle kuormalle sallitusta virheestä.

$$U_{\text{normaali}} < \text{kuormalle sallittu virhe}/3$$

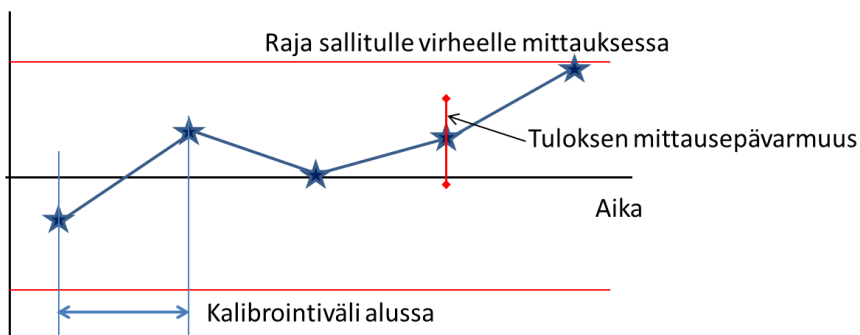
Normaalien ominaisuudet ja valinta on käsitelty kohdassa 7.

2.6 Kalibrointiväli

Kalibroinnin aikaväli perustuu

- mittauslaitteen suorituskyvyn pysyvyyteen tai
- virheellisen mittauksen riskialttiuteen.

Kun mittauslaitteelle on asetettu suorituskyvyvaatimukset, suurin sallittu virhe mitauksessa sekä vaadittu mitausepävarmuus, voidaan näiden pysyvyyttä seuraamalla asettaa sopiva aikaväli kalibroinneille. Tämä merkitsee uudelle laitteelle useampia peräkkäisiä kalibrointeja, jotka osoittavat suorituskyvyn pysyvyyden. Tämä on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Uuden mittauslaitteen kalibroinnit alussa laitteen suorituskyvyn määrittämiseksi.

Kun mittauslaitteita kalibroidaan tietyin aikavälein ja virherajat ylittyvät, on vastavasti tehtävä muutoksia kalibrointiväliin.

Toinen tapa määrittää kalibrointiväli on arvioida virheellisen mitaustuloksen aiheuttama riski. Esimerkiksi lääketeollisuudessa tämä riski on arvioitu erittäin merkittäväksi ja siksi kalibrointivälit ovat hyvin lyhyitä eivätkä riipu mittauslaitteen suoritusarvojen pysyvyydestä. Kalibrointiväli voidaan määrittää niin lyhyeksi, että jos todetaan tehdyn virhemittauksia, mittauksilla tehtyjä tuotteita ei päästetä käyttöön.

2.7 Viritys

Virityksellä saatetaan vaa'an näyttämä vastaamaan kuormana olevaa tunnettua, oikeaa massaa. Viritykseen käytetään punnusnormaaleja, joiden arvoon vaa'an antamaa näyttämää verrataan.

Viritystapoja on käytännössä kolme:

- a) täysin manuaalinen viritys, jossa käyttäjä muuttaa mekaanisesti tai sähköisesti vaa'an vahvistusta
- b) puoliautomaattinen viritys, jossa käyttäjä käynnistää virityksen ja vaaka pyytää käyttäjää asettamaan tunnetut punnukset vaa'alle
- c) automaattinen viritys, jossa vaaka joko käyttäjän käskystä tai täysin automaattisesti käynnistää virityksen käyttäen hyväksi vaa'an sisäistä referenssipunnusta.

Kohdat b) ja c) ovat mahdollisia vain sähköisille vaa'oilta. Täysin automaattisessa virityksessä vaaka itse päättää viritysjankohdan joko perustuen käyttäjän asettamien raja-arvojen ylitykseen tai aikaan. Automaattisilla virityksillä ei saada aina samaa tulosta, vaan vaa'an herkkyydessä on pientä vaihtelua. Tämä vaihtelu tulee ottaa mukaan mittaasepävarmuuteen. Viritys ei korvaa kalibrointia. Vaa'an virittäminen ei aina edellytä uutta kalibrointia, koska suorituskykyyn vaikuttavat muut tekijät yleensä eivät muutu vaakaa viritettäessä. Vaa'an näyttämän oikeellisuus tulee kuitenkin aika ajoin tarkistaa esim. tunnetun punnuksen avulla (ks. kohta 2.10 Seurantamittaukset). Useat vaa'an käyttöohjeet puhuvat kalibroinnista, vaikka kyseessä on vaa'an virittäminen

2.8 Lakisääteinen varmennus (aiempi termi vakaus)

Lakisääteisen varmennuksen tavoitteena on se, että varmennetulla mittalaitteella mittausta tuntematon käyttäjä saa aikaan luotettavan mittaustuloksen. Lisäksi lakisääteisesti varmennetun mittaustuloksen erottelukyvyn on oltava sellainen, ettei käyttäjälle muodostu väärää kuvaa laitteen tarkkuudesta. Ei-automaattisilla vaa'oilta tarkkuus on näytön 1–3 askelarvon suuruusluokkaa ja luotettava mittaustulos on saatava aikaan yhdellä mittauksella.

Lakisääteinen varmennus käsitteenä ymmärretään yleensä mittalaitteelle tehtynä tarkastustoimenpiteenä käyttöpaikalla tai käyttöä varten. Lakisääteinen varmennus -käsite sisältää kuitenkin kokonaisuutena sekä tyyppitarkastuksen että EU(ensi)- tai määräaikaistarkastuksen (direktiivi puhuu tarkastuksista, mutta OIML:n sanastossa on ensivarmennus ja määräaikaistarkastus). Tyyppitarkastuksessa todetaan, että laitteella on sisäinen virhekontrolli, riittävä mittaustarkkuus ja kyky säilyttää mittaustarkkuus riittävän pitkän ajan, kun laitetta käytetään normaaleissa ympäristöolosuhteissa. Näin ollen varmennus ottaa kantaa laitteen toimintaedellytyksiin toisin kuin kalibrointi, joka ei aseta vastaavia vaatimuksia itse laitteelle.

Lakisääteisesti varmennetulle laitteelle ei myöskään ole annettu mittausepävarmuutta. Sen sijaan sille on annettu varmennusvirheraja ja käyttövirheraja. Varmennusvirherajasta käytetään myös nimitystä suurin sallittu virhe (ssv tai englanniksi mpe, maximum permissible error). Mittalaitteen näyttämän tulee olla varmennustilanteessa edellä mainittujen suurimpien sallittujen varmennusvirheiden sisällä. Käyttövirheraja on yleensä kaksi kertaa varmennusvirheraja. Oleellisena erona lakisääteisen varmennuksen ja kalibroinnin välillä on se, että kun mittalaite on varmennettu, sen näyttämää pidetään oikeana. Mitään näytön poikkeaman korjausta ei käytetä. Näin ollen vaa'an näyttäessä 100 kg sen tuloksena käytetään myös arvoa 100 kg, vaikka varsinaisessa tarkastustilanteessa olisikin havaittu pieni poikkeama (poikkeama < ssv).

HUOM! Jos vaaka on varmennettu lakisääteisen vaatimuksen perusteella, ei sitä normaalisti tarvitse kalibroida. Suomessa Tukesin hyväksymän tarkastuslaitoksen suorittama varmennus ja siitä mahdollisesti annettu varmennustodistus vastaavat laatu järjestelmien edellyttämää jäljitettävää kalibrointia. Varmennusmenettelyt on dokumentoitu käyttäjän kannalta hyvin OIML:n suosituksissa, ei-automaattiset vaa'at R 76 tai SFS-EN 45 501:2015 [3].

2.9 Käyttöönotto

Vaa'an käyttäjän tulee olla selvillä punnituksesta vaadittavasta epävarmuudesta. Vaa'an kalibroinnille asetettujen epävarmuusrajojen tulee perustua näihin vaatimuksiin. Epävarmuudet saadaan laskemalla ketju varsinaisen mittaustehtävän vaatimasta epävarmuudesta takaisinpäin vaa'an kalibroinnin epävarmuuteen, josta edelleen saadaan vaatimukset kalibrointiin käytettävien punnusten epävarmuuksille.

HUOM! Käyttäjän tulee aina asettaa vaa'alle käytössä sallitut virherajat sekä vaa'dittu mittausepävarmuus (ks. 2.2).

Mittalaitteen kalibrointi tehdään yleensä huolellisemmin kuin tavallinen mittausta. Varsinaiseen käyttömittauksen epävarmuuteen vaikuttavat kalibroinnin lisäksi muutkin tekijät, kuten mittaustilanteen muuttuminen kalibrointien välillä, epäedullinen mittauskohde, mittaaja ja muuttuneet ympäristöolosuhteet. Varsinaisen mittaustyön epävarmuus, U_m ($U(W)$), on aina suurempi kuin kalibroinnin mittausepävarmuus, U_k ($U(E)$), eli $U_m > U_k$. Se, kuinka paljon pienempi U_k :n tulee olla, on tapauskohtaista ja käytännössä todettava esimerkiksi vertailumittauksilla. Tätä on käsitelty kohdassa 3.2 Mittauslaitteelle asetetut suorituskykyvaatimukset. Voidaan todeta, että kohdassa 3.2 esitetty kerroin on pääsääntöisesti varsin yleispätevä.

Kuten jo edellä todettiin, lakisääteisesti varmennetuille vaa'oilta on määritelty yksikäsitteiset varmennusvirherajat vaakojen luokittelun mukaisesti [3,8]. Vaa'an käyttäjä voi hyödyntää näitä virherajoja määrittäessään vaa'an mittauksille sallittuja virheitä.

Muitakin kriteerejä tulee tarkastella vaa'an sopivuutta arvioitaessa. Ensimmäinen on vaa'an punnitusalue. Mittauksissa on yleisesti tunnettu sääntö, että mittarista tulisi käyttää aluetta 30 %...100 % varsinaiseen työskentelyyn. Koska ei-automaattiset

vaa'at ovat osoittautuneet luotettaviksi mittalaitteiksi, voidaan niiden kohdalla alarajaksi hyväksyä pienempikin arvo, ehkä 5–10 % punnitusalueesta. Joka tapauksessa liian suuri mittausalue verrattuna todelliseen tarpeeseen antaa enemmän työtä laitteen ylläpidossa.

Laskentaesimerkki vaa'an suorituskyvyn arvioinnista:

Tarkastellaan mittausta, jossa materiaalin kosteuspitoisuus tulee määrittää kuivattamalla näyte-erä. Näytteen koko olkoon 100 g. Kosteus on määritettävä 2 %:n tarkkuudella. Kosteus vaihtelee välillä 5–15 %. Tämä merkitsee sitä, että pienin punnittava ero on 5 g. Ja edelleen 2 %:a 5 g:sta on 100 mg. Tämä on koko mittaukselle asetettu suurin sallittu epävarmuus. Kun kokeumusperäisesti vaa'an epävarmuuden tulee olla 1/5–1/2 koko epävarmuudesta, saa vaa'an epävarmuus olla tässä tapauksessa 20...50 mg. Vaa'an kalibroinnin perusteella voidaan todeta, täyttääkö vaaka ko. ehdon. Kokeumusperäisesti tällaisessa tapauksessa vaa'an askelarvon tulisi olla ko. mitaustehtävää varten 20 mg tai 10 mg. Vaa'an valinta tulee tehdä ko. kriteerin perusteella. Turhan tarkka vaaka aiheuttaa vain ylimääräisiä kustannuksia, koska suuremman tarkkuuden ylläpito aiheuttaa vastaavasti enemmän työtä. Edelleen, kun vaakaa kalibroidaan punnuksilla, saa punnusten epävarmuus jälleen olla vain 1/3 vaa'alta vaaditusta epävarmuudesta, eli jos vaa'an mittausepävarmuus kuormalla 100 g on 50 mg, kalibrointiin käytettyjen punnusten mittausepävarmuuden tulee olla < 18 mg.

2.10 Seurantamittaukset

Vaa'an kalibrointi antaa kuvan vaa'an toiminnasta kalibrointihetkellä. Koska vaa'alla tehtyjen punnitusten epävarmuuden on oltava tiedossa koko käytön ajan, on vaa'an suorituskykyä valvottava muillakin menetelmillä kuin kalibroinnilla (ks. kohta 2.6. Kalibrointiväli). Tässä kappaleessa käsitellään näitä muita menetelmiä. Eräs tapa tarkistaa vaa'an toimivuus on laittaa vaa'alle tietty punnus ja verrata näyttämää aikaisempaan samalla punnuksella saatuun arvoon. Myös näyttämän stabiilius (näyttämän rauhoittuminen) tietyllä kuormalla sekä nollapisteessä antaa kuvan vaa'an toiminnasta. Lisäksi ajoittain tehdyt vertailumittaukset tunnetuilla massoilla auttavat arvioimaan vaa'an luotettavuutta. Lakisääteisesti varmennetuille vaa'oilta on tehty tyyppitarkastus, johon liittyy mm. vaa'an näyttämän ajallisen luotettavuuden arviointi. Tämän takia tyyppitarkastettujen vaakojen toimivuuden luotettavuus on paremmin perusteltu kuin tyyppitarkastamattomilla vaa'oilta.

Lakisääteinen varmennus on määritetty tehtäväksi säännöllisin väliajoin, ei-automattisilla vaa'oilta väli on Suomessa kolme vuotta. Käyttäjän tulee kuitenkin aina varmistaa vaa'an toimivuus näiden varmennusten välillä käyttäen siihen esimerkiksi kalibrointia tai muita menetelmiä.

2.11 Viallisen laitteen käsittely

Mikäli vaaka on todettu vialliseksi, ei sillä saa suorittaa mittauksia. Tällainen vaaka on poistettava käytöstä ja merkittävä näkyvästi vialliseksi. Ennen uudelleenkäyttöä se on korjattava tai huollettava, viritettävä, kalibroitava ja hyväksyttävä

käyttöön sopivaksi. Ongelmaksi muodostuvat yleensä laitteella tehdyt mittaukset viimeisen toimintakunnon varmistaneen tarkastuksen ja vian havaitsemisen välillä. Nämä mittaukset tulee voida jäljittää ja tarvittaessa ne tulee uusia.

3. Mittausten varmentamiselle asetetut vaatimukset

Yleiset vaatimukset mittausten varmentamiselle saadaan usein laatujärjestelmästandardeista (esim. ISO 9000). Laatujärjestelmästandardit eivät suoraan määrittele tietyltä mittaukselta vaadittavaa tarkkuutta eivätkä kalibrointimenetelmää. Niiden perusvaatimus mittauksille on kuitenkin, että mittausten epävarmuus on tunnettu ja että mittauksille on jäljitettävyyttä. Varsinaiset vaatimukset voivat tulla esim. mittaukseen tai mittauslaitteisiin liittyvistä standardeista, tuotteen teknillisistä erittelyistä (spesifikaatioista) tai annettavalle palvelulle määritellyistä tarkkuuksista. Yksittäisen mittauslaitteen, kuten vaa'an, tarkkuusvaatimukset määräytyvät laitteella suoritettaville mittauksille asetetuista vaatimuksista (ks. kohdan 2.9 esimerkki).

Yleensä vaa'an käyttäjä päättää vaa'alle asetetuista tarkkuusvaatimuksista. Lakisääteisissä mittauksissa, joissa käytetään lakisääteisesti varmennettua vaakaa, nämä vaatimukset määräytyvät vaa'an askelmäärästä ja vaa'an suurimmasta käyttökuormasta (Max). Varmennusvaatimukset ei-automaattisille vaaoille pohjautuvat EU-direktiiviin 2009/23/EY [4] ja standardiin SFS-EN 45501:2015 [3].

Vaadittava punnitustarkkuus riippuu siitä, mihin punnitustuloksia käytetään. Usein kohteen massaa tarvitaan jonkin muun suureen, kuten pitoisuuden, tilavuuden tai neliömassan, määrittämiseen. Tällöin lopputulokseen vaikuttaa useita eri osatekijöitä, joiden tarkkuuksien (mittausepävarmuuksien) on oltava tiedossa. Esim. ISO 9000 -sarjan laatustandardit edellyttävät, että tuotteille asetettuja virherajoja tarkistettaessa tulee mittausepävarmuuden olla tiedossa. Tarkastustuloksia arvioitaessa tulee sallittuja virherajoja pienentää mittausepävarmuutta vastaavalla arvolla.

Vaakojen kalibrointia käsitteleviä standardeja ei varsinaisesti ole. Usein kalibrointi perustuu ei-automaattisten vaakojen tyyppihyväksyntää ja varmennusta koskevaan standardiin SFS-EN 45501:2015 (OIML R 76). Euramet on julkaissut ei-automaattisia vaakoja koskevan, jo aiemmin mainitun ohjeen cg-18-v.4.0, jota on myös sovellettu tähän ohjeeseen.

Punnitukselta vaadittava tarkkuus (mittausepävarmuus) tulee olla dokumentoituna, yleensä joko mittauslaitteiden vaatimustiedostossa tai prosessia koskevissa tiedostoissa.

4. Punnitsemiseen ja vaa'an kalibrointiin vaikuttavat tekijät

Punnitustulokseen ja sen tarkkuuteen vaikuttavat punnittava kohde, vaa'an suorituskyky, ympäristö, punnitusmenetelmä ja punnitsija. Kalibroinnissa tehtävissä punnituksissa ja käyttöpunnituksissa ei ole periaatteellista eroa, joten niihin vaikuttavat pitkälti samat virhelähteet.

4.1 Ympäristöolosuhteet

Vaaka olisi hyvä sijoittaa mahdollisimman rauhalliseen tilaan, jonka lämpötila on vakaa ja jossa ilmankosteus on aina alle 60 %. Yleensä Suomen ilmasto ei aiheuta suuria ongelmia lämmitetyissä sisätiloissa oleville vaa'oilta. Talvella ilman alhaisesta kosteudesta aiheutuva staattinen sähkö voi aiheuttaa virheellisiä punnitustuloksia tarkoilla vaa'oilta, joilla on pieni kuormituskyky.

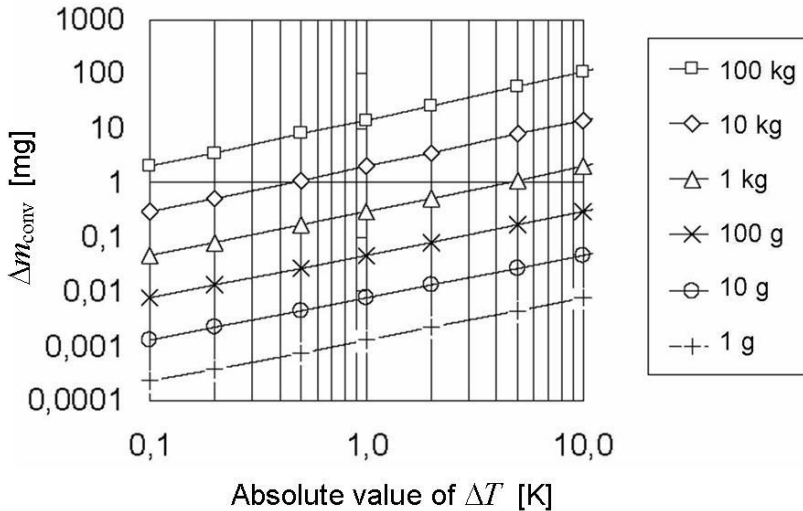
Alustan, jolla vaaka sijaitsee, on oltava riittävän tukeva, jotta vaaka säilyttää vaa'kasuoran asentonsa myös täydellä kuormalla. Alustan tukevuus ja värinättömyys ovat tärkeitä erityisesti pienillä vaa'oilta. Rakentamalla vaa'an alusta massiivisesta materiaalista ja värinäeristämällä se huoneen rakenteista voidaan vähentää edellä mainittuja häiriöitä riittävästi.

Ilmavirtaukset aiheuttavat häiriöitä. Erityisesti vaa'at, joiden kuormituskyky on pieni, sekä vaa'at, joissa on suuri vaakasilta tai epäedullinen kuorman muoto, ovat herkkiä ilmavirtauksille. Käytännössä vaakaa, jonka askelarvo on 1 mg tai sitä pienempi, ei voida luotettavasti käyttää ilman tuulisuojaa, ks. cg-18, 4.1.3, kohta 4.

Vaa'an sijaintipaikan ympäristössä voi olla sähkömagneettisia häiriöitä, staattista sähköä, lämpösäteilyä tai pölyä, jotka voivat häiritä vaa'an toimintaa. Niiden vaikutusta voidaan vähentää mm. kunnollisilla maadoituksilla sekä sähkö-, lämpö- ja pölysuojilla.

Vaa'alla, erityisesti suljettua rakennetta olevilla vaa'oilta, punnittavan kappaleen lämpötilan tulisi olla sama kuin vaa'an sisällä olevan ilman lämpötilan. Jos näin ei ole, aiheutuu lämpötilaerosta ilmavirtauksia, jotka aiheuttavat muutoksia vaa'an lukemaan. Ilmiötä kutsutaan konvektioksi (cg-18, kohta 4.2.3). Konvektion vaikutusta voidaan vähentää antamalla punnuksen lämpötilan tasaantua vaa'an ympäristön lämpötilaan (OIML R-111, B.4.3 [5]). Lisäksi jos punnukset ovat kylmempinä kuin ympäristö, voi punnusten pintaan tiivistyä kosteutta, joka aiheuttaa lisäpainoa punnukselle. Tämä on merkityksellistä erityisesti pienillä punnituskyvyillä ja suurella vaa'an askelarvomäärällä.

Figure 4.2-2 Effect of convection



Kuva 2. Konvektiosta aiheutuva näennäinen massan muutos (itseisarvo) Δm punnuksen ja sitä ympäröivän ilman lämpötilaeron ΔT vaikutuksesta erisuuruisille punnuksille. Käyrät ovat suuntaa antavia. Jos punnus on lämpimämpi kuin ympäristö, on massan muutos negatiivinen. (cg-18 kuva 4.2-2)

Vaaka mittaa kuormankannattimeen kohdistuvaa pystysuuntaista voimaa $F/g=m(1-\rho_a/\rho)$ missä m on punnittavan kappaleen massa, g on putoamiskiihtyvyyys, ρ_a on ilman tiheys ja ρ on punnittavan kappaleen tiheys. Vaaka muuntaa voiman vaa'an näyttämäksi I (massan yksikköinä).

$$I = k_s m \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho}\right) \quad (2)$$

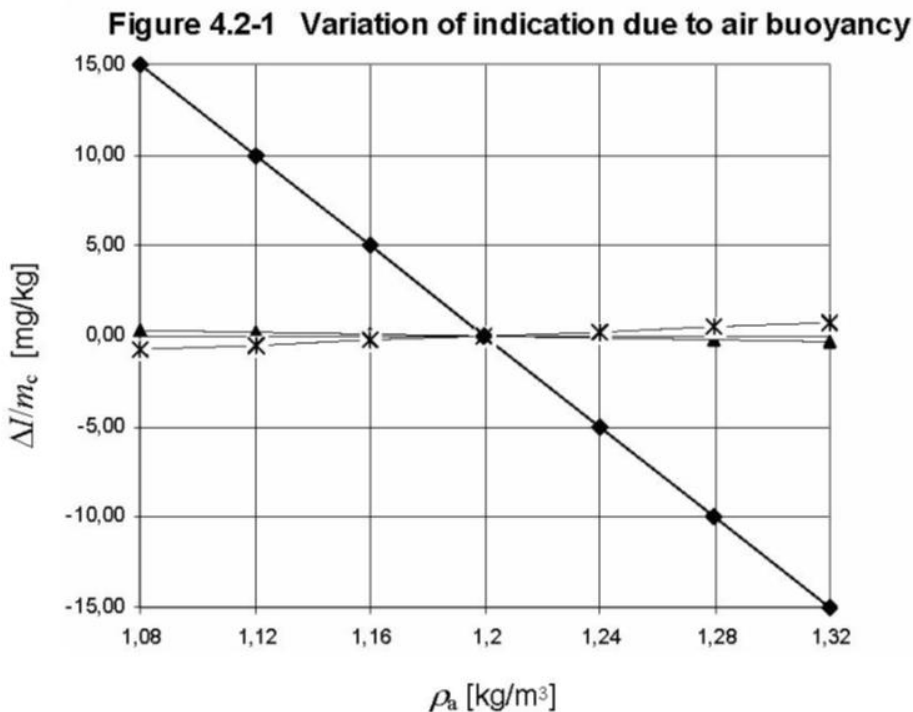
Termiä k_s kutsutaan asteikkokerroimeksi. Käytännössä se toteutuu sähköisissä vaa-oissa signaalin vahvistuksena, vahvistuskertoimena. Yhtälön (2) antamaa vahvistuskertoimen arvoa ei käytännössä käytetä. Vahvistus- tai asteikkokerroin määrätty vaa'an virityksen yhteydessä, jolloin vaa'an näyttämä asetetaan yhtä suureksi kuin virityspunnuksen konventionaalinen massan arvo.

Vaa'an näyttämä mitattavalle massalle riippuu punnittavan kappaleen massan lisäksi sen tiheydestä sekä ilman tiheydestä. Vaa'at kalibroidaan punnuksilla, joiden tiheys on lähellä arvoa 8000 kg/m^3 . Tällöin punnusten konventionaalinen massa ja todellinen massa ovat yhtä suuria. Kun punnuksen tiheys on pienempi, tilavuus on suurempi. Tästä johtuu edelleen, että punnus syrjäyttää ilmaa enemmän kuin pun-

nus, jonka tiheys on 8000 kg/m^3 . Näin myös noste on suurempi ja vaakaan vaikuttava voima on pienempi (Arkhimedeen laki). Tiheyseroista johtuvaa korjausta vaa'an lukemaan kutsutaan nostekorjaukseksi (cg--18, kohta 4.2.2).

Nostekorjaus on sitä suurempi, mitä enemmän käytetyn punnuksen ja virityspunnuksen tiheydet poikkeavat toisistaan ja mitä enemmän ilman tiheys poikkeaa virituksen aikana vallinneesta ilman tiheydestä. Käytännössä nostekorjausta joudutaan käyttämään vaa'oilta vain silloin, kun viritystä ei voi tehdä ennen kalibrointia. Useimmiten nostekorjaus on merkittävää kalibroitaessa vaa'koja, joiden askelarvo on alle 1 mg.

Käytännön punnituksissa nosteen vaikutus on aina merkittävä, sillä suurimmalla osalla punnitavista materiaaleista tiheys on lähellä 1000 kg/m^3 , tällä tiheydellä virhe on 0,1 %. Kun punnitustuloksia kuitenkin verrataan keskenään, virheellä ei ole merkitystä. Vain kun punnitaan reaalimassaa, se tulee huomioida.



Kuva 3. Ilman nosteen vaikutus vaa'an lukemaan, ρ_a on ilman tiheys, $\Delta I / m_c = (I - m_c) / m_c$ on vaa'an näyttämän suhteellinen muutos. Vaaka on viritetty punnuksella, jonka tiheys on 8000 kg/m^3 . Viritys on tehty ilman tiheyden arvolla ρ_{as} . Kahdessa tapauksessa, kohdat \blacktriangle ($\rho = 7810 \text{ kg/m}^3$) ja \times ($\rho = 8400 \text{ kg/m}^3$), vaaka viritetään välittömästi ennen punnitusta $\rho_a = \rho_{as}$. Tällöin ilman tiheyden vaikutus on vähäinen. Suurin muutos lukemassa havaitaan kohdassa \blacklozenge ($\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$), kun vaakaa ei viritetä ennen mittausta $\rho_{as} = 1.2 \text{ kg/m}^3$. (cg-18, kuva 4.2-1)

Esimerkki:

Vaa'an viritys tehdään punnuksella, jonka konventionaalinen massa on m_{cs} ja tiheys on ρ_s . Virityksen aikana ilman tiheys on ρ_{as} . Tällöin vaa'an lukema I_s virityshetkellä on m_{cs} :

$$I_s = k_s m_s \left(1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_s}\right) = m_{cs} \quad (3)$$

Asteikkokertoimeksi saadaan ilmaisemalla todellinen massa m_s konventionaalisen massan m_{cs} avulla $m_s = m_{cs} \frac{1 - \rho_0 / \rho_c}{1 - \rho_0 / \rho_s}$ (luku 7.2)

$$K_{s-I} = \left\{ \frac{1 - \rho_0 / \rho_{ref}}{1 - \rho_0 / \rho_s} (1 - \rho_{as} / \rho_s) \right\} \quad (4)$$

missä $\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$ on ilman tiheyden ja $\rho_c = 8000 \text{ kg/m}^3$ punnuksen tiheyden referenssiarvo konventionaalista massaa määritettäessä.

Virityksen jälkeen kappale, jonka konventionaalinen massa on m_c ja tiheys ρ , punnitaan. Ilman tiheys punnitushetkellä on ρ_a . Tällöin vaa'an lukema on (cg18 4.2.2)

$$I = k_s m (1 - \rho_a / \rho) \approx m_c \{1 - (\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_s) - (\rho_a - \rho_{as})/\rho_s\} \quad (5)$$

Jos ilman tiheys ei ole muuttunut virityksen jälkeen, on yhtälön viimeinen termi nolla. Jos kappaleen tiheys on lähellä virityspunnuksen tiheyttä, on yhtälön toinen termi merkityksetön.

4.2 Vaa'an sijaintipaikka

Useimpien vaakojen toiminta perustuu punnittavan kappaleen ja maan välisen vetovoiman mittaukseen. Tällöin vaa'an näyttämä on suoraan verrannollinen putoamiskiihtyvyyden g arvoon vaa'an sijaintipaikalla (g :n arvojen vaihtelu Suomessa on n. 0,08 % etelä-pohjoissuunnassa). Myös korkeuden muutos vaikuttaa putoamiskiihtyvyyden g arvoon. Sen vaikutus on n. 0,0003 %/10 m ja se näkyy vaaoilla, joiden $n > 100\,000$. Jos vaa'an paikkaa muutetaan, tulee vaa'an viritys tarkistaa ja tarvittaessa vaaka tulee virittää uudelleen. Kalibrointi voi olla tarpeellista, jos ympäristöolot uudessa sijoituspaikassa poikkeavat merkittävästi alkuperäisistä.

Vanhat mekaaniset vaa'at, joiden mittaus perustuu massojen vertailuun, eivät ole riippuvaisia g :n arvon vaihtelusta.

4.3 Vaa'alta vaaditun tarkkuuden toteaminen

Vaa'an tarkkuuden toteamisella varmistetaan, että vaaka vastaa sen suorituskyvylle asetettuja vaatimuksia. Vastuu vaa'an toiminnasta on aina käyttäjällä. Lakisääteisesti varmennettavien vaakojen tarkastusmenettelystä vastaa tarkastuslaitos,

mutta käytöstä ja käyttökunnosta vastaa käyttäjä. Myös käyttäjän tulee tuntea kyseinen tarkastusmenettely vaakakohtaisesti, jotta hän voi huolehtia vaa'an käytösäpidosta (ks. kohta 2.10 Seurantamittaukset)

4.4 Punnitusmenetelmä

Punnitseminen voidaan tehdä usealla eri tavalla. Yleensä tehdään vain yksi punnitus. Ennen punnitusta vaa'an näyttämä asetetaan nolnaan. Punnittava kohde asetetaan vaa'alle ja punnitustulos luetaan, kun näyttämä on stabiili.

Tarkkuutta voidaan parantaa tekemällä useampia peräkkäisiä punnituksia. Tällöin saaduista tuloksista lasketaan keskiarvo ja keskihajonta. Keskihajontaa voidaan käyttää epävarmuusarviointiin ja vaa'an toimintakunnon valvomiseen.

Tarkimpaan punnitustulokseen päästään vertailemalla punnittavaa kappaletta suoraan kalibroituihin punnuksiin. Tätä menetelmää käytetään mm. kalibroitaessa punnuksia.

4.5 Sijoitusmenettely

Jos käytössä ei ole tarpeeksi punnuksia, voidaan vaa'an kalibroinnissa käyttää ns. sijoitusmenettelyä, jossa tunnettujen punnusnormaalien avulla tehdään punnittavasta materiaalista tunnettu kuorma. Menetelmää voidaan soveltaa kuormituskyvyttään suuriin vaakoihin (MAX \approx 1000 kg) ja säiliövaakoihin, joihin ei ole mahdollista sijoittaa tarpeellista määrää punnuksia. Sijoitusmenettely suoritetaan standardin SFS-EN 45501:2015 (OIML R 76) kohdan 3.7.3 mukaan. Edellytyksenä luotettavalle tulokselle on se, että sijoitusmateriaali saadaan nopeasti vaa'alle ja siltä pois. Myös antureiden signaalin ryöminnän ja ympäristön lämpötilamuutosten tulee olla riittävän pieniä. Sijoitusmenetelmässä on otettava huomioon käytetystä sijoitusmateriaalista tehtyjen normaalien mittausepävarmuus, joka on suurempi kuin tunnettuja normaaleja käytettäessä. Sijoitusmenettelyn luotettava käyttö vaatii kokemusta.

4.6 Mittaaja

Mittaajan tulee yleensä tuntea punnitsemiseen liittyvät perusasiat. Mittaajalta vaadittu osaaminen riippuu mittaustehtävän vaikeusasteesta ja tulokselta vaaditusta tarkkuudesta (mittausepävarmuudesta). Lakisääteisesti varmennetuilla vaa'illa pitäisi mittausta tuntemattomankin saada luotettava mittaustulos yhdellä punnituksella.

Punnituksen perusteiden tunteminen on edellytys luotettavalle punnitsemiselle. Punnitseminen edellyttää huolellisuutta, johon liittyy mm. punnituksen samanlainen toisto ja punnittavan kohteen sysäyksetön tuonti vaa'alle. Näin menetellen on helppointa saada aikaan stabiili vaa'an näyttämä ja pieni mittausten hajonta. Myös mittaajien keskenään tekemät vertailumittaukset ovat hyvä keino todentaa mittaajien osaaminen.

5. Kalibrointi

5.1 Alkuelvitykset

Kalibroinnin toimeksiantajan tulee antaa tai yhdessä kalibroijan kanssa selvittää seuraavat asiat:

- vaa'an tekniset ominaisuudet (esim. Max, d), identifiointitiedot
- vaa'an käyttötarkoitus ja käyttötapa
- kalibroinnin laajuus
- asetettu tarkkuustavoite (suurin sallittu virhe ja mittauserävarmuus)
- virittäminen
- menettely virhetilanteissa.

Vaa'asta kalibroidaan yleensä koko punnitusalue. Kalibrointi tehdään siinä tilassa ja niissä olosuhteissa, joissa vaakaa käytetään. Vaa'an mekaniikan huollon jälkeen tulee kuormaa välittäviä osia kuormittaa riittävästi, jotta vaa'an mekaniikka asettuu paikoilleen.

Ennen kalibrointia on varmistettava, että vaaka toimii luotettavasti ja että käytössä on tarvittava määrä riittävän tarkkoja punnuksia.

5.2 Toimenpiteet ennen kalibrointia kalibrointipaikalla

Vaa'an on oltava kytkettynä verkkoon vähintään valmistajan suositteleman ajan (yleensä vähintään 30 minuuttia) ennen mittauksia.

Vaa'an ja punnusnormaalien on oltava vaa'an käyttöpaikalla riittävän ajan, jotta ne saavuttavat tasapainolämpötilan ympäristön kanssa. Lisäksi on huolehdittava siitä, että vaaka ja käytettävät punnuksot ovat puhtaita liasta ja pölystä ja että olosuhteet ovat riittävän stabiilit kalibroinnin ajan.

Ei-kiinteästi asennetuilla vaoilla (nk. pöytävaa'at) varmistetaan, että vaaka on asennonilmaisimen mukaisesti perusasennossa.

Todetaan vaakasillan liikkuvuus, joka on tärkeä erityisesti suuremmilla vaoilla. Pienillä vaoilla ei vaakasillan liikkuvuutta voi yleensä todeta. Tällöin on syytä tarkastaa nollalukeman toistuva palautuvuus kuormituksen jälkeen. Myös vaa'an muiden osien tulee toimia moitteettomasti.

Mikäli mahdollista, vaaka on syytä esikuormittaa lähelle maksimikuormaa ennen kalibrointia. Samalla saadaan selville se, tarvitseeko vaakaa virittää ennen kalibrointia. Myös vaa'an herkkyys voidaan todeta lähellä maksimia olevalla kuormalla.

Vaa'an ympäristöstä aiheutuvat ja vaa'an toimintaan selvästi vaikuttavat häiriötekijät, jotka poikkeavat normaalista punnitusilanteesta, kirjataan kalibrointipöytäkirjaan.

Tarvittaessa vaaka viritetään ohjeiden mukaisesti joko vaa'an sisäisellä tai ulkoisella tarkoitukseen sopivalla kalibrointipunnuksella, joka täyttää vaa'an tarkkuusluo-

kan vaatimukset. Yleensä kalibroija ei saa tehdä viritystä ilman kalibroinnin toimeksiantajan lupaa. Ennen viritystä ja sen jälkeen todetut vaa'an näyttämät kirjataan aina mittauspöytäkirjaan. Ne on syytä kirjata myös kalibrointitodistukseen.

Vaaoilla, joilla on suurempi kuormituskyky (Max > 100 kg) tulee kiinnittää huomiota punnusnormaalien käyttöön ja niiden liikutteluun. Erityisesti suurilla vaaoilla, joiden punnusnormaaleja liikutellaan ajoneuvonosturilla, on kuormaukset suunniteltava siten, että kuormauksen tavoitearvoja ei ylitetä tai aliteta (ylös- tai alaskuormaus), jos ajoneuvo ajaa vaa'alle.

5.3 Mittaukset

Kalibroinnin tarkoituksena on selvittää vaa'an näyttämän virhe eri kuormilla ja punnitustuloksen mittausepävarmuus.

Tässä esitetyt testit perustuvat kalibrointiohjeeseen cg-18 ja standardiin SFS-EN 45501 (OIML R-76). Standardia käytetään vaakojen tyyppitestauksessa ja lakisääteisessä varmennuksessa. Testien laajuus sovitaan tilaajan kanssa. Vaa'an maksimikuorman ja rakenteen perusteella valitaan sopiva testien suoritusjärjestys. Käytännössä kalibrointi kannattaa aloittaa epäkeskeisestä kuormauksesta, jotta välttytäisiin turhalta työltä. Normaalisti kalibroinnissa tehdään aina kuormaustesti, epäkeskeisyystesti ja toistokykystesti. Muiden testien käyttö kalibroinnin yhteydessä on harvinaisempaa ja tarkasteltava tapauskohtaisesti tarpeen mukaan.

Kaikki mittaukset kirjataan mittauspöytäkirjaan. Myös ilman lämpötila ja sen muuttuminen kalibroinnin aikana mitataan. Lämpötilan muutosnopeuden tulee olla pienempi kuin 5 °C/h. Mikäli vaa'assa on enemmän kuin 50 000 askelta, mitataan lämpötilan lisäksi myös ilmanpaine ja, jos mahdollista, ilman kosteus. Mittaamiseen tulee käyttää laitteita, jotka on jäljitettävästi kalibroitu. Jos käytetään OIML:n ohjeen R111 mukaisia punnuksia, ei ilman tiheyttä tarvitse laskea eikä sen vaikutusta tarvitse ottaa huomioon kuin vaaoilla, joilla $d < 1$ mg.

Kuormaustesti (cg 18, 5.2; EN45501, A.4.4.1)

Testi voidaan tehdä seuraavien vaihtoehtoisten menettelyn mukaisesti (cg18, 5.3 kohdat 1–4). EN 45501:2015 käyttää vain kohdan 3) mukaista menettelyä:

1. Vaaka kuormataan pisteittäin pienimmästä kuomasta suurimpaan kuormaan. Jokaisen kuormauspisteen jälkeen kuormitus poistetaan. Vaa'an lukemat kirjataan kuormattuna ja kuormaamattomana.
2. Vaaka kuormataan jatkuvasti kuormaa lisäämällä vain nolasta maksimikuormaan. Lukemat kirjataan.
3. Vaaka kuormataan jatkuvasti kuormaa lisäämällä nolasta maksimikuormaan ja sen jälkeen jatkuvasti kuormaa vähentämällä maksimikuormasta

takaisin nollakuormaan. Lukemat (myös nollakuormilla alussa ja lopussa) kirjataan.

4. Vaaka kuormataan jatkuvasti kuormaa vähentämällä maksimikuormasta nollakuomaan. Lukemat kirjataan.

Kuormaukseen käytetään nollakuorman lisäksi 5–10 muuta kuormaa. Suurimman kuorman tulisi olla lähellä vaa'an suurinta käyttökuormaa (Max) ja pienimmän kuorman lähellä pienintä käyttökuormaa (Min). Jos pienintä käyttökuormaa ei ole määritetty, voidaan pienimmäksi kuormaksi valita $Max/10$ tai vaihtoehtoisesti vaa'alla normaalisti punnittava pienin kuorma. Yleensä kuormauspisteet pyritään valitsemaan tasavälisiksi. Jos vaakaa käytetään paljon punnitusalueen alapäässä, voidaan sille alueelle lisätä kuormauspisteitä. Monialuevaoissa kukin alue tutkitaan erikseen. Ennen testiä vaa'an näyttämä asetetaan nolnaan. Normaalisti kuoma asetetaan vaa'alle kerran kuormauksen aikana.

Tarvittaessa määritetään pyöristsyvirheetön näyttö $d/10$ tarkkuudella esim. kytkemällä vaaka nk. huoltotilaan, jossa näytön askelarvo on $d/10$, tai käyttämällä $d/10$ suuruisia punnuksia (Liite 1 yleensä vain, jos $d > 1$ g ja vaa'an askelmäärä on pieni). Liitteen 1 menettelyä ei suositella käytettäväksi laboratoriovaakojen kalibroinneissa.

Menettelyissä 2), 3) ja 4) vaa'an kuormausta suurennetaan (pienennetään) jatkuvasti eli vaa'an kuormaa kasvatettaessa (pienennettäessä) sille lisätään (vähennetään) punnuksia koko ajan. On huomattava, että tavoitearvoa ei saa ylittää ylöskuormauksessa ja tavoitearvoa ei saa alittaa alaskuormauksessa (punnusten käsittelyjärjestys on käänteinen purettaessa kuormaa kuin kuormattaessa).

Mikäli joudutaan käyttämään sijoituspunnitusta (punnuksia ei joko ole tai niitä ei voida käyttää koko mittausalueella), löytyy menettelyohje cg18:n kohdasta 4.3.3.

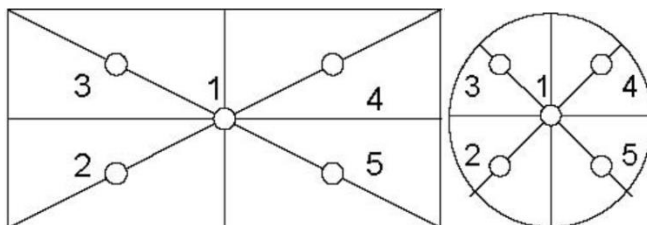
Epäkeskeisyydesti (cg 18, 5.3; EN45501:2015, A.4.7)

Normaalirakenteisissa (1–4 anturia) siltavaaoissa epäkeskeisen kuormauksen vaikutus näyttämään tutkitaan sillan neljällä sektorilla ja keskellä n. $Max/3$ -kuormalla. Muilla vaakatyypeillä toimitaan standardin EN45501 (OIML R76) mukaisesti. Mittaukset tehdään, mikäli mahdollista, yhtä suurta punnusta käyttäen. Jos käytetään pieniä punnuksia, ne voidaan pinota päällekkäin. Kuitenkin on varottava, etteivät punnukset pääse kaatumaan. Kuorma on asetettava tutkittavan sektorin painopisteeseen, tai se jaetaan tasaisesti koko alueelle. Kuorman sijoituspaikat on merkittävä mittauspöytäkirjaan. Moniaskelvaa'assa testi tehdään sen kuorman alueella, jossa on maksimikapasiteetti. EN 45501:2015 edellyttää tunnetun massan käyttöä, kalibroinneissa voidaan käyttää myös vakiona pysyvää massaa tuntematta sen arvoa tarkemmin.

Yleisin menettely on seuraava:

- Vaa'an näyttämä asetetaan nolnaan ja lukema kirjataan.
- Testipunnus laitetaan kuormasillan keskelle (paikka 1), lukema kirjataan.
- Punnus siirretään vuorotellen paikkoihin 2–5, lukemat kirjataan.

- Testipunnus laitetaan uudestaan kuormasillan keskelle ja tarkistetaan, että lukema ei ole muuttunut edellisestä arvosta. Vaihtoehtoisesti punnus poistetaan vaa'alta ja lukema kirjataan.



Kuva 4. Punnuksen sijoittaminen kuormasillalle.

Toistokykytesti (cg 18, 5.1, EN45501:2015, A.4.10)

Toistokykytesti tehdään vähintään yhdellä kuormalla. Kuorman tulisi olla lähellä maksimikuormaa. Toistokyky tutkitaan yleensä suorittamalla $n = 5-10$ punnitusta. Poikkeuksena ovat yli 100 kg:n vaa'at, joille käytännön syistä tehdään usein vain kolme punnitusta. Jos punnituksia on vähemmän kuin kolme, tulee vaa'an toistokyvyn olla etukäteen tiedossa. Nollakohtan muutokset korjataan asettamalla vaaka nolnaan ennen kutakin kuormausta tai vähentämällä nollalukema saaduista lukemista. Jos vaa'assa on itsetoimiva nollanseuranta, sen tulisi olla toiminnassa. Tällöin ennen kutakin kuormausta todetaan, että vaa'an näyttämä on nollalukeman seurannan avulla asetunutta nolnaan. Moniaskelvaa'alle kuorma, joka on lähellä mutta alle kuormaa Max_1 , on usein riittävä.

Muita testejä, kuten erottelukykytesti (EN 45501, A4.8), taaraustesti (EN45501, A.4.6), magneettisuustesti (cg18, 5.4) ja stabiiliustesti (EN45501, A.4.11), voidaan tehdä tarvittaessa.

Minimipainotesti (liite 4) ei kuulu kalibrointiin, ja sen tulokset kirjataan erilliseen dokumenttiin. Liitteessä 4 on selostettu minimipainon määrittelyn kahta käytössä olevaa menettelyä.

5.4 Tulokset

Vaa'an näyttämä I on kuorman L kanssa saadun näyttämän I_L ja kuormaamattoman vaa'an näyttämän I_0 ero $I = I_L - I_0$.

Mittaustuloksista lasketaan:

- Kuormaustestin tuloksista kullekin testikuormalle j lasketaan lukeman virhe $E_j = I_j - m_{ref,j}$ vähentämällä vaa'an lukemasta I_j kuorman massa $m_{ref,j}$. Kuorman massa on ko. kuormassa käytettyjen kalibroittujen punnusten yhteenlaskettu tunnettu massa tai varmennettuja punnuksia käytettäessä niiden nimellisarvojen yhteenlaskettu massa. Jos kuormasta on useampi arvo I_j ,

lasketaan niiden keskiarvo. Jos halutaan laskea pyöristysvirheetön näyttö, voidaan käyttää liitteessä 1 kuvattua menettelyä.

- Hystereesi saadaan kuormauksesta mittaustuloksista suurenevan ja pienenevän kuorman lukemien erona $I_{ylös} - I_{alas}$ kullekin kuormalle. Jos nollakuorman lukema muuttuu kalibroinnin aikana, saadaan myös nollakuormalle hystereesi. Yleensä kun kuorma poistetaan, näyttämän tulisi palata lähelle nollaa. Jos nollapisteen hystereesi $> 1d$, tulee varmistaa, että mittauksessa ei ole virhettä. Jos vaakasiltaan on liitetty laitteita, joihin tulee esimerkiksi sähkökaapeleita tai ilmaletkuja, ne voivat aiheuttaa hystereesiä. Jos hystereesi todetaan todelliseksi, on epävarmuustavoitetta kasvatettava tai syy suureen hystereesiin on poistettava.
- Toistokykyydestin mittaustuloksista I_{ji} ($i = 1 \dots n$) tietyllä kuormalla L_{Tj} lasketaan keskihajonta s_j .

$$s_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2}}{\sqrt{n-1}}, \quad \bar{I}_j = \sum_{i=1}^n \frac{I_{ji}}{n} \quad (6)$$

Jos testituloksia on vähemmän kuin kolme, toistokyvyn tulee olla etukäteen tiedossa.

- Epäkeskeisyydestin tuloksista lasketaan kuormauspisteen i virheet $\Delta I_{ecc, i} = I_{Li} - I_{L1}$ vaakasilan keskellä olevaan arvoon nähden I_{L1} .
- Jos keskellä olevasta mittauksesta on kaksi arvoa (testin alusta ja lopusta), käytetään niiden keskiarvoa
- Huom. Jos jostain syystä keskellä olevaa arvoa ei pystytä mittaamaan (esim. säiliövaaka), käytetään keskellä olevana arvona muiden arvojen keskiarvoa.

5.5 Kalibrointitodistus

Kalibrointitodistuksen tehtävänä on antaa tiedot tilaajalle vaa'an suorituskyvystä kalibrointiolosuhteissa. Lisäksi tilaajan on voitava arvioida mittausepävarmuuden käytettävyys eli ne epävarmuuskomponentit, joille mittausepävarmuuden tulos perustuu.

Kalibrointitodistuksia koskevat vaatimukset on otettu standardista ISO 17025. Sen mukaan kalibrointitodistuksessa tulee ilmetä

- kalibrointitodistuksen numero *
- tilaajan nimi ja osoite *
- akkreditoitun toimijan tai muun kalibroijan tiedot ja akkreditointitunnus* (jos on)
- tiedot kalibroidusta vaa'asta, esim. valmistaja, tyyppi, valmistusnumero, kuormattavuus, askelarvo, vaa'an tarkka sijaintipaikka *

- kalibroitipäivämäärä ja todistuksen kirjoituspäivämäärä *
- kalibroititodistuksen allekirjoittaa sen teknisistä tiedoista vastaava(t) henkilö(t) *
- todistuksen sivumäärä*
- huomautus siitä, että todistuksen osittainen kopiointi on sallittu ainoastaan kalibrointilaboratorion luvalla
- kalibrointiolosuhteet: lämpötila ja sen muuttuminen kalibroinnin aikana, ilmankosteus (jos on mitattu), ilmanpaine (jos on mitattu)
- käytetyt punnusnormaalit ja niiden jäljitettävyys
- kuvaus kalibrointimenetelmästä tai viittaus käytettyyn menetelmään
- kalibroinnin mittausepävarmuus** ja sen laskentaperiaate tai viittaus ko. periaatteeseen (käytetyt epävarmuuskomponentit)
- kattavuuskerroin k (yleensä $k = 2$)
- kalibroinnin tulokset: kuormaa vastaava mittausepävarmuus ilmoitetaan lukuna (ei kaavana).

HUOM!

*:Ilä merkityt kohdat sijoitetaan yleensä todistuksen kansilehdelle.

** kalibroinnin mittausepävarmuus ei saa perustua laajennetun näyttämän käyttöön.

Lisäksi voidaan ilmoittaa vaa'alle tehdyt muut testit ja niiden tulokset: esim. epäkeskisyysvirhe, hystereesi, toistokyky.

Jos vaakaa ei kalibroida koko punnitusalueella, tulee todistuksessa olla maininta osittaiskalibroinnista. Jos vaakaa viritetään, tulee siitä olla maininta todistuksessa. Myös vaa'an lukemat ennen viritystä ja sen jälkeen tulee antaa todistuksessa.

Todistukseen voidaan liittää mittauspöytäkirja. Joskus siihen liitetään myös graafinen virhekiärrä.

5.6 Mittausepävarmuuden arviointi (cg18, 7)

Tässä yhteydessä ei ole tarkoitus käsitellä varsinaisesti epävarmuuden laskennan perusteita vaan ainoastaan antaa yleiskuvaus vaakaan ja punnitsemiseen liittyvistä epävarmuustekijöistä.

Mittauksen ja kalibroinnin epävarmuutta arvioitaessa tulee noudattaa viitteissä [5] (*Guide to the expression of uncertainty in measurement*, ISO/IEC Guide 98) ja [6] (*Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration*, EA4/02) esitettyjä periaatteita.

Monet epävarmuuskomponentit aiheutuvat pienistä korjauksista δm_i , joiden suuruus on suoraan verrannollinen massaan. Tällöin epävarmuuden suuruus ilmaistaan usein suhteellisena epävarmuutena: $u_{rel}(\delta m_i) = u(\delta m_i)/m$.

Yksittäisen muuttujan X vaikutusta vaa'an näyttämään kuvataan standardiepävarmuudella u_x . Tilastollisesti määritetylle muuttujalle se vastaa keskiarvon

keskihajontaa. Vaikutuksen suuruus saadaan selville tekemällä mittauksia ja hyödyntämällä jo olemassa olevaa tietoa. Kun muuttujat ovat riippumattomia toisistaan, voidaan niiden standardiepävarmuudet laskea neliöllisesti yhteen (varianssien yhteenlasku). Mitä useampi tekijä on otettu huomioon, sitä luotettavampi kuva saadaan mittauksen epävarmuudesta.

Vaa'an kalibroinnin epävarmuuden määrittäminen perustuu mittauksilla saatuihin vaa'an toimintaa kuvaaviin osatekijöihin sekä muilla tavoilla arvioituihin korjauksiin. Jatkossa luetellut tekijät vaikuttavat vaa'an näyttämän epävarmuuteen. Se, mitä tekijöitä otetaan mukaan kalibroinnin epävarmuuteen, riippuu tilaajan vaatimuksista ja kalibroijan toteuttamasta kalibroinnista. Kalibroinnin tulos on aina kalibroijan vastuulla. Tässä on noudatettu ohjetta cg18. Kalibroijan tulee kuitenkin aina ottaa mukaan ne epävarmuustekijät, jotka vaikuttavat vaa'an näyttämän epävarmuuteen kalibroinnin aikana.

Epävarmuuslaskennassa määritetään vaa'an näyttämän virheen $E = I - m_{ref}$ epävarmuus.

5.6.1 Näyttämän standardiepävarmuus

Mittaussuureeseen (vaa'an näyttämä I) on usein mittaustuloksista lasketun arvon ($I_L - I_0$) lisäksi tehtävä korjauksia δI_x . Usein korjaukset ovat pieniä, eikä niiden tarkkoja numeroarvoja tunneta. Tällöin laskennassa oletetaan, että korjausten numeroarvot ovat nollia. Korjauksiin liittyy kuitenkin epävarmuuksia $u(\delta I_x)$, jotka pitää ottaa mukaan epävarmuuslaskentaan. Jos korjauksia ei oteta mukaan, mittausepävarmuusarvio ei ole luotettava ja mittausepävarmuus on usein liian pieni.

Jotta epävarmuuskomponentit saadaan mukaan epävarmuuslaskelmaan, on näyttämään sisällytettävä ainakin seuraavat korjaukset:

$$I = I_L + \delta I_{digL} + \delta I_{rep} + \delta I_{ecc} - I_0 - \delta I_{dig0} \quad (7)$$

missä I_L on vaa'an näyttämä kuormattuna, I_0 on vaa'an näyttämä ilman kuormaa, δI_{digL} on näytön äärellisestä askelarvosta aiheutuva korjaus kuormalla L ja δI_{dig0} on vastaava korjaus ilman kuormaa, δI_{rep} on toistokyvystä aiheutuva korjaus ja δI_{ecc} on epäkeskeisestä kuormituksesta aiheutuva korjaus. Tässä oletetaan, että korjausten arvot ovat nollia.

$u(\delta I_{dig0})$ ja $u(\delta I_{digL})$, näytön askelarvosta aiheutuvat standardiepävarmuudet:

$$u(\delta I_{dig0}) = d_0 / (2\sqrt{3}) \quad \text{ja} \quad u(\delta I_{digL}) = d_T / (2\sqrt{3}) \quad (8)$$

missä d_0 on näytön askelarvo nollakuomalla ja d_T näytön askelarvo kuormattuna. Näyttämä on oletettu tasajakautuneeksi vaihteluvälille $\pm d/2$ ($\pm d_T/2$).

Analogianäytön askelarvo arvioidaan vaa'an näytöstä.

Jos kalibrointi on tehty käyttäen pyöristysvirheettömiä lukemia, voidaan olettaa, että $u(\delta I_{dig0}) = u(\delta I_{digL}) = 0$

$u(\delta I_{rep})$, toistokyvystä aiheutuva standardiepävarmuus:

Jos kuormaustestin tulos I_j perustuu yhteen mittaukseen, niin

$$u(\delta I_{rep}) = s(I_j) \quad (9)$$

missä $s(I_j)$ on toistokykymittauksen tulos.

Jos mittaustulos I_j on keskiarvo N :stä mittauksesta, on

$$u(\delta I_{rep}) = \frac{s(I_j)}{\sqrt{N}} \quad (10)$$

Yleensä toistokykymittaus on tehty vain yhdellä kuormalla ja samaa epävarmuutta käytetään koko mittausalueella.

Oletetaan, että toistokykymittauksen tulokset noudattavat normaalijakaumaa.

$u(\delta I_{ecc})$, kalibrointipunnusten epäkeskeisestä kuormauksesta aiheutuva standardiepävarmuus.

Voidaan käyttää seuraavia oletuksia.

- Mitatut erot ΔI_{ecc} ovat verrannollisia kuorman etäisyydestä kuormankannattimen keskipisteeseen (paikka 1).
- Mitatut erot ΔI_{ecc} ovat verrannollisia kuorman suuruuteen.
- Kuorman L_{ecc} painopisteen etäisyys kuormankannattimen keskipisteestä ei ole enempää kuin puolet epäkeskeisyyssysteissä käytetyistä etäisyyksistä.

Näillä oletuksilla ja käyttämällä suurinta mitattua eroa $\Delta I_{ecc,i}$ saadaan arvio korjaukselle δI_{ecc} :

$$\delta I_{ecc} \leq \left\{ \Delta I_{ecc,i} \Big|_{\max} / (2L_{ecc}) \right\} I \quad (11)$$

Olettaen tasajakauma saadaan standardiepävarmuudeksi:

$$u(\delta I_{ecc}) = I \left| \Delta I_{ecc,i} \Big|_{\max} / (2L_{ecc} \sqrt{3}) \quad (12)$$

$u(\delta I_{hyst})$, hystereesistä aiheutuva standardiepävarmuus

Hystereesi on mahdollista määrittää vain, jos tehdään ylös–alaskuormaus.

Standardiepävarmuus lasketaan hystereesin $I_{ylös} - I_{alas}$ maksimiarvosta

$$u(\delta I_{hyst}) = \left| I_{ylös} - I_{alas} \Big|_{\max} / (2\sqrt{3}) \quad (13)$$

Tämä termi on mukana harkinnan mukaan kalibroinnin epävarmuudessa.

$u(h_{te})$, vaa'an lämpötilan muutoksesta aiheutuva standardiepävarmuus

Jos vaa'an lukemille on annettu suhteellinen lämpötilakerroin c_{te} (yksikkönä usein ppm/°C) ja lämpötilan vaihteluväli Δt tunnetaan, voidaan lämpötilan vaikutus arvioida. Epävarmuudeksi saadaan olettamalla tasajakauma ja lämpötilan vaihteluväliksi $\pm \Delta t/2$:

$$u(I_{te}) = \frac{\Delta t \cdot c_{te} \cdot I}{\sqrt{12}} \quad (14)$$

Tämä termi ei ole mukana kalibroinnin epävarmuudessa.

$u(I)$, näyttämän epävarmuus

Laskemalla yllä olevat epävarmuuskomponentit neliöllisesti yhteen saadaan:

$$u^2(I) = d_0^2/12 + d_1^2/12 + s^2(I) + u^2(\delta I_{ecc}) \quad (15)$$

5.6.2 Referenssipunnuksista aiheutuva epävarmuus:

Referenssipunnusten massa sisältää ainakin seuraavat tekijät

$$m_{ref} = m_c + \delta m_B + \delta m_D + \delta m_{conv} + \delta m_{B1} \quad (16)$$

- m_c on referenssipunnukselle kalibrointitodistuksessa annettu massa.
- δm_B ja δm_{B1} ovat ilman nosteesta aiheutuvia korjauksia.
- δm_D on punnuksen massan muutoksesta edellisen kalibroinnin jälkeen aiheutuva korjaus.
- δm_{conv} on konvektiosta aiheutuva korjaus.

Huom. m_{ref} sisältää korjauksia, jotka riippuvat esim. kalibrointiolosuhteista eivätkä näin ollen ole suoranaisesti massoja.

$u(m_c)$ referenssipunnuksen standardiepävarmuus

Punnuksen laajennettu epävarmuus $U(m_c)$ saadaan punnusten kalibrointitodistuksesta. Standardiepävarmuus $u(m_c)$ saadaan jakamalla $U(m_c)$ kattavuuskertoimella k (yleensä $k=2$). Oletetaan normaalijakauma.

$$u(m_c) = U(m_c)/k \quad (17)$$

Jos punnuksen massalle käytetään sen nimellisarvoa m_N (esim. varmennetut punnuksset), tulisi mittauserpävarmuutena käyttää kyseessä olevan punnusluokan suurinta sallittua virhettä, ssv (ks. 7.6). Tämä edellyttää, että punnuksen massan on todettu olevan epävarmuuksineen virherajojen sisällä.

$$u(m_c) = ssv/\sqrt{3} \text{ (tasajakauma)} \quad (18)$$

Jos käytössä on useita punnuksia, lasketaan niiden epävarmuudet lineaarisesti (ei neliöllisesti) yhteen.

$u(\delta m_B)$, ilman nosteesta aiheutuva standardiepävarmuus

Nostekorjauksen suuruus riippuu punnuksen tiheydestä ρ ja ilman tiheydestä ρ_a :

$$\delta m_B = -m_c (\rho_a - \rho_0) (1/\rho - 1/\rho_c) \quad (19)$$

Tässä on oletettu, että $\rho_s = \rho_c$ (kalibrointipunnusten tiheys on referenssitiheys $\rho_c = 8000 \text{ kg/m}^3$).

Lisäksi on oletettu, että vaaka on viritetty ennen kalibrointia ja ilman tiheys on pysynyt vakiona, jolloin $\rho_a = \rho_{as}$.

$$u^2(\delta m_B) = m_c^2 (u^2(\rho_a) (1/\rho - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho) / \rho^4) \quad (20)$$

missä $u(\rho)$ on punnuksen tiheyden standardiepävarmuus. Sen arvo saadaan materiaalien ominaisuuksista (esim. OIML R 111, B.7.9.3 tai cg18, E1), punnuksen OIML-luokan tiheyden sallitusta vaihtelurajoista (OIML R 111, 10) tai kalibrointitodistuksessa ilmoitetuista tiheyksistä (esim. OIML-luokan E1 punnuksset).

Ilman tiheys voidaan laskea riittävällä tarkkuudella kaavasta (cg18, A1.1)

$$\rho_a = \frac{0,34848 p - 0,009 h \exp(0,061 t)}{273,15 + t} \quad (21)$$

missä p on ilman paine (hPa), t on ilman lämpötila ($^{\circ}\text{C}$) ja RH on ilman suhteellinen kosteus (%RH).

Ilman tiheyden epävarmuus riippuu parametrien p , t , ja RH mittaustarkkuudesta. Jos ilmanpaine (lämpötila) tunnetaan tarkkuudella 1 hPa (1 $^{\circ}\text{C}$), ilman tiheyden suhteellinen epävarmuus on 0,1 % (0,4 %). Kosteuden vaikutus ilman tiheyden epävarmuuteen on käytännössä mitätön.

Jos tiedetään, että punnuksset ovat tietyn OIML R111 -luokan mukaisia, eikä punnusten tiheyttä tai ilman tiheyttä tunneta, ilman nostekorjausta ei voida tehdä. Nosteen standardiepävarmuus voidaan määrittää OIML R 111:n kohdan 10.1 mukaan:

$$u(\delta m_B) \approx mpe / (4\sqrt{3}) \quad (22)$$

$u(\delta m_{B1})$, ilman tiheyden muutoksesta aiheutuva standardiepävarmuus

Jos ilman tiheys on muuttunut virityksen jälkeen, tulee ilman nosteeseen lisäkorjaus:

$$\delta m_{B1} = m_c \{ -(\rho_a - \rho_{as}) / \rho_c \} \quad (23)$$

Korjausta ei yleensä tehdä, ja se sisällytetään korjauksen epävarmuuteen:

$$u(\delta m_{B1}) = m_c |(\rho_a - \rho_{as})| / (\rho_c \sqrt{3}) \quad (24)$$

Jos virityksen ajankohtaa ei tiedetä, voidaan epävarmuus määrittää ilman tiheyden suurimmasta mahdollisesta vaihteluvälillä $\pm 0,1 \rho_0$ ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$):

$$u(\delta m_{B1}) \approx 0,1 m_c \rho_0 / \rho_c / (\sqrt{3}) \quad (25a)$$

Tarkempi arvio epävarmuudelle saadaan, jos lämpötilan maksimivaihteluväli ΔT vaa'an ympäristössä tunnetaan:

$$u(\delta m_{B1}) \approx \sqrt{1,1 \cdot 10^{-4} + 1,3 \cdot 10^{-6} K^{-2} \Delta T^2} \cdot m_c \rho_0 / \rho_c / (\sqrt{3}) \quad (25b)$$

$u(\delta m_D)$, punnuksen massan muutoksesta aiheutuva standardiepävarmuus

Punnuksen massa ei pysy vakiona, vaan muuttuu ajan mukana. Yleensä muutosta kalibrointien välillä ei korjata vaan punnuksen massalle käytetään edellisessä kalibroinnissa saatua arvoa.

Muutoksen epävarmuus voidaan arvioida peräkkäisistä kalibroinneista. Jos tällaista tietoa ei ole saatavilla, käytetään epävarmuudelle usein arviota:

$$u(\delta m_D) = k_D U(m_c) / \sqrt{3} \quad (26)$$

missä kerroin k_D vaihtelee välillä 1...3 punnusten laadusta, huolenpidosta ja käytöstä riippuen.

$u(\delta m_{conv})$, konvektiosta aiheutuva standardiepävarmuus

Konvektion suuruus voidaan arvioida ohjeen EURAMET cg 18 kohdan F mukaan, jos punnuksen ja ympäristön lämpötilojen ero tunnetaan.

Konvektion vaikutusta ei korjata mittaustuloksiin, mutta konvektio voidaan sisällyttää mittaasepävarmuuteen, olettamalla konvektion olevan tasan jakautunut välille $\pm \Delta m_{conv}$.

$$u(\delta m_{conv}) = \Delta m_{conv} / \sqrt{3} \quad (27)$$

$u(m_{ref})$, referenssipunnusten standardiepävarmuus

Laskemalla yllä olevat epävarmuuskomponentit neliöllisesti yhteen saadaan:

$$u^2(m_{ref}) = u^2(m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) + u^2(\delta m_{B1}) \quad (28)$$

Jos osa punnuksista korvataan muulla kuormalla, on käytettävä sijoituspunnitusta. Epävarmuuden laskentamenettely löytyy ohjeen cg18 kohdasta 7.1.2.6.

5.6.3 Näyttämän virheen standardiepävarmuus $u(E)$

Kun yllä luetellut tekijät yhdistetään neliöllisesti, saadaan vaa'an näyttämän virheen standardiepävarmuudeksi:

$$u^2(E) = u^2(\delta I_{dig0}) + u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) + u^2(\delta m_{B1}) \quad (29)$$

Virheen laajennettu epävarmuus saadaan kertomalla standardiepävarmuus kattavuuskertoimella k :

$$U(E) = ku(E) \quad (30)$$

Kattavuuskerroin tulisi määrittää sellaiseksi, että laajennetun epävarmuuden kattavuustodennäköisyys on 95 %. Käytännössä kertoimelle käytetään arvoa $k=2$, joka saadaan normaalijakaumasta, kun vapausasteiden määrä on suuri.

5.6.4 Kalibrointikäyrän epävarmuus (cg18, C)

HUOM: Vaikka eräillä muilla suureilla kalibrointikäyrän laskeminen on rutiinia, vaakakalibroinneissa sitä ei ole käytetty vaakojen lineaarisen käyttäytymisen takia. On nähtävissä, että tarve sen käyttöön lisääntyy.

Kalibroinnissa näyttämän virhe E_j saadaan tietyissä mittauspisteissä I_j ($j=1 \dots n$ kpl). Vaa'an käyttäjä on kuitenkin kiinnostunut virheestä ja sen epävarmuudesta koko mittausalueella. Tässä vaa'an lukemaa merkitään symbolilla R . Lukema on fiktiivinen eikä siihen liity punnitusta.

Virhekäyrä voidaan approksimoida usealla eri tavalla. Voidaan käyttää maksimi-virhettä ja epävarmuutta koko mittausalueella, interpoloida kalibrointipisteiden välillä tai sovittaa mittauspisteisiin polynomi (cg18 C2.2.1).

Tässä käsitellään lineaarisovitusta eli mittaustuloksiin sovitaan suora: Lisäksi oletetaan, että virhe nollakuormalla on nolla. Matemaattinen malli $f(I)$ on muotoa

$$E(I) = f(I) = a_1 I \quad (31)$$

Laskennassa kalibroinnin mittaustuloksia E_j painotetaan kalibroinnissa saaduilla epävarmuuksilla $u(E_j)$ seuraavasti:

$$p_j = 1/u^2(E_j) \quad (32)$$

Kertoimen a_1 arvo saadaan pienimmän neliösumman lineaarisovituksesta:

$$a_1 = \sum p_j I E_j / \sum p_j I^2 \quad (33)$$

Kertoimen a_1 epävarmuus on

$$u^2(a_1) = 1 / \sum p_j I^2 \quad (34)$$

Sovituksen hyvyttä kuvaa khii toiseen -arvo χ^2

$$\chi^2 = \sum p_j (a_1 I_j - E_j)^2 \quad (35)$$

Sovitusmalli on matemaattisesti hyväksyttävissä, jos seuraava ehto täyttyy

$$\chi^2 \leq \nu \quad (36)$$

missä $\nu = n - n_{par} = n - 1$ on kalibrointipisteiden ja sovituspärametrien erotus. Jos ehto ei täyty, pitää joko muuttaa mallia tai kasvattaa painokertoimissa olevia epävarmuuksia esimerkiksi lisäämällä epävarmuuksiin sovituksesta aiheutuva hajonta.

$$p'_j = 1 / [u^2(E_j) + \sum_j \frac{(a_1 I_j - E_j)^2}{\nu}] \quad (37)$$

Sovituksen epävarmuus on:

$$u^2(E_{appr}) = a_1^2 u^2(I) + I^2 u^2(a_1) \quad (38)$$

missä $u(I)$ on näyttämän epävarmuus.

$$u^2(I) = d_0^2 / 12 + d_I^2 / 12 + s^2(I) \quad (39)$$

5.6.5 Käytönaikainen mittausepävarmuus

Vaa'alla tapahtuvan punnituksen epävarmuutta on käsitelty ohjeen cg18 kohdassa 7.4 ja tässä ohjeessa kohdassa 2.2. Käytönaikaista vaa'an lukemaa on merkitty symbolilla R ja punnitustulosta symbolilla W . Punnitustulos saadaan vaa'an lukemasta tekemällä riittävä määrä korjauksia:

$$W \approx R_L - R_0 - E + \delta R_{\text{dig}} + \delta R_{\text{rep}} + \delta R_{\text{ecc}} + \delta R_{B1} + \delta R_{\text{te}} + \delta R_{\text{adj}} + \delta R_{\text{Tare}} + \delta R_{\text{hyst}} + \dots \quad (40)$$

Vaa'alla punnittaessa useat tekijät poikkeavat kalibrointitilanteesta, minkä seurauksena punnituksen epävarmuus on aina suurempi kuin kalibroinnin epävarmuus. Vaa'an käytönaikainen epävarmuus saadaan yhdistämällä vaa'an kalibroinnin epävarmuus sekä mittaustapahtuman omia epävarmuustekijöitä: näytteen edustavuus, mittauksen aiheuttama epävarmuus jne. Tämä määrittely on hyvin pitkälle tapauskohtainen eikä liity varsinaisesti vaa'an kalibrointiin. Kalibroinnissa vaa'an näyttämän virhe on määritetty vain tietyillä kuormilla. Jos virhe on kuorman suhteen lineaarinen, voidaan virheeseen sovittaa suora, jonka avulla arvioidaan virheet myös kuormituspisteiden välissä. Usein vaa'an näyttämän virhettä ei korjata. Tällöin näyttämän virhe tulee käsitellä epävarmuutena eli virhe otetaan yhdeksi epävarmuuskomponentiksi.

Käyttäjän kannalta on tärkeintä tuntea punnituksen mittausepävarmuus, ei pelkästään kalibroinnin mittausepävarmuus, joka on osa punnituksen mittausepävarmuutta.

5.7 Virheiden lisääminen epävarmuuteen (cg18, 7.5.2)

Kalibroinnissa havaittuja näytön virheitä ei useinkaan ole mahdollista korjata punnitustuloksiin. Tällöin voidaan ottaa käyttöön kokonaisepävarmuus $U_{gl}(W)$, joka sisältää virheet

$$W = R \pm U_{gl}(W) \quad (41)$$

Kalibrointiohje cg18 antaa eri tapoja yhdistää mittausepävarmuus ja virhe. Ohessa on yksi niistä:

$$U_{gl}(W) = ku(W(R)) + |E(R)| \quad (42)$$

missä $ku(W)$ on punnitustuloksen laajennettu epävarmuus (cg18 7.4.5) ja $E(R)$ on näyttämän virhe kuormalla R .

Joissain tapauksissa vaa'alle on määritelty suurin sallittu virhe ssv . Jotta ssv :tä voidaan käyttää epävarmuutena, tulee seuraavan ehdon olla voimassa:

$$(|E(R)| + U(W(R))) \leq ssv \quad (43)$$

6. Seurantamittaukset

Seurantamittauksilla tarkoitetaan vaa'an toiminnan seuraamista tunnetuissa pisteissä. Mittauksia tulee tehdä säännöllisin väliajoin. Käytännössä seurantamittaukset tehdään tunnetuilla punnuksilla tai tunnetusti vakiona pysyvillä massoilla (suuret vaa'at). Punnusten massat on syytä valita niin, että ne ovat mahdollisimman lähellä normaalisti vaa'alla punnittavien kappaleiden massoja. Lisäksi tulee seurata vaa'an nollapisteen vaihtelua (nollapisteen palautuminen punnituksen jälkeen) sekä yleensä näyttämän stabiiliutta (muutoksia). On huomattava, että tarkoilla vaa'oilla, $d < 1 \text{ mg}$, päivittäisellä tai viikoittaisella seurannalla tarkastuspunnuksilla saatujen tulosten tulisi seurata ilmanpaineen muutoksia, koska muutokset aiheuttavat ilman tiheyden muutoksen nosteen vaihtelua. Jos vaaka viritetään päivittäin ennen tarkistuspunnitusta, ei ilmanpaineen vaikutusta havaita.

6.1 Punnukset

Seurantamittauksissa on suositeltavaa käyttää OIML-suositusten mukaisia luokiteltuja punnuksia (ks. kohta 7).

Myös muita tunnettuja punnuksia voidaan käyttää, mutta tällöin täytyy varmistua siitä, että ne täyttävät tietyt rakenteelliset vaatimukset, esimerkiksi tiheyden ja stabiiliuden osalta. Suurilla vaa'oilla voidaan käyttää vakiona pysyviä massoja, kun punnusunormaalien käyttö ei ole mahdollista tai järkevää. Ne täytyy kuitenkin voida määrittää käyttöä varten riittävän tarkasti.

6.2 Seurantamittausten aikaväli

Seurantamittausten aikavälin määrittää punnituksesta vastuussa oleva henkilö. Aikavälin pituuteen vaikuttavia seikkoja ovat

- mittauksen kriittisyys eli kuinka vakavia ongelmia aiheutuu vääristä punnitustuloksista
- käyttöolosuhteet
- vaa'asta saadut aikaisemmat kokemukset.

Yksi mahdollinen aikaväli on jokaisen käyttöpäivän alussa tehty seurantamittaus. Suurilla vaa'oilla voi aikaväli olla kuukausiakin.

6.3 Viritys

Vaa'an viritys voidaan tehdä tarvittaessa, säännöllisin aikaväleihin tai se voi tapahtua automaattisesti, mikäli vaa'assa on automaattinen viritystoiminta (ks. kohta 3.2). Automaattisessa virityksessä esiintyvä herkkyyden vaihteluväli on otettava huomioon mittauksen epävarmuuslaskennassa.

Viritys ei ole välttämätöntä, jos seurantamittaukset osoittavat vaa'an näyttämien olevan sallituissa rajoissa.

6.4 Suoritus

Seuraavassa eräs malli, jonka avulla seurantamittaukset voidaan suorittaa:

- päättää seurantamittauksessa käytettävän punnuksen (tai punnusten) suuruus (esim. 1 kg),
- selvittää käytettävän punnuksen massa (esim. 1000,020 g), joko:
 - a) punnitsemalla punnus juuri kalibroidulla riittävän tarkalla vaa'alla,
 - b) vertailemalla punnusta kalibroituun punnukseen tai
 - c) katsomalla punnuksen massa kalibrointitodistuksesta, jos punnus on kalibroitu.
- määrittää seurantamittauksissa sallitut vaihtelurajat (esim. 1000,005 g ... 1000,035 g),
- määrittää seurantamittauksen aikaväli (esim. joka käyttöpäivä),
- laadi päiväkirjanomainen taulukko, johon tehdyt seurantamittaukset merkitään ja
- tee seurantamittaus:
 1. ennen mittausta vaa'an on oltava päällä tai stand by -tilassa vähintään 30 min,
 2. tarkista, että vaaka on suorassa (tasain tai vesivaaka),
 3. tarkista, että vaa'an näyttämä on nollassa, ja aseta näyttämä nolnaan tarvittaessa,
 4. aseta seurantapunnus vaa'alle,
 5. kirjaa tulos,
 6. ota seurantapunnus pois vaa'alta,
 7. tarkista, että näyttämä palaa nolnaan,
 8. mikäli näyttämä ei ole sallittujen vaihtelurajojen sisällä, viritä vaaka tai pyydä vaa'an toiminnasta vastaavaa viritämään vaaka,
 9. toista kohdat 3–7 ja
 10. mikäli tulos vieläkin ylittää sallitut vaihtelurajat, poista vaaka käytöstä ja toimita se huoltoon.

6.5 Tilastollisen menetelmän käyttö

Seuranta voidaan tietyissä tapauksissa tehdä tilastollisten menetelmien avulla. Tällöin vaa'alta saadut punnitustulokset kerätään tiedostoon ja niistä lasketaan tiettyjä

tunnuslukuja (esim. keskiarvot, hajonnat), joita verrataan aikaisempiin arvoihin käyttäen hyväksi tilastollisia jakaumia ja niiden todennäköisyyksiä. Tuloksista päätellään vaa'an jatkuva toimintakunto.

7. Kalibroinnissa käytettävät punnukset

7.1 OIML:n punnusluokat

Suomessa on yleisesti käytössä OIML:n (Organisation Internationale de Métrologie Légale = kansainvälinen lakisääteisen mittaamisen järjestö) suositusten OIML R 111 (Punnusluokat E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ ja M₃) [7] ja OIML R 47 (tarkastuspunnukset suurille käyttökuormille) mukaisia punnuksia [8]. Suosituksilla pyritään mm. siihen, että normaalissa käytössä punnukset ovat riittävän tarkkoja ja stabiileja ja että ne soveltuvat vaakojen kalibrointiin ja varmennukseen.

Suosituksen R 111 taulukko 1, punnusten suurimmat sallitut virheet ($\pm \delta m$ mg:na), tarkoittaa, että punnuksen mitatun arvon tulee olla näiden rajojen sisällä punnusta varmennettaessa. Silloin punnuksia voidaan käyttää nimellisarvoillaan.

Suositus R 111 koskee punnuksia, joiden nimellismassa on välillä 1 mg – 5000 kg. Se asettaa vaatimuksia punnusten tarkkuuteen, käyttöön ja stabiiliuteen vaikuttaville tekijöille. Näistä esimerkkejä ovat punnusten suurimmat sallitut virheet, kalibroinnissa sallitut mittausepävarmuudet sekä punnusten muoto, rakenne ja materiaali. Suosituksessa on käytännössä kaikki informaatio punnusunormaalien hallintaan, mm. laskentamenetelmät kalibroinnille.

Suositus R47 koskee punnuksia, joiden nimellismassa on 50 kg tai sitä suurempi. Suositus määrittelee tietyt rakenteellisia seikkoja, mutta ei täsmällistä muotoa. Lisäksi suositus antaa virheen laskentamenettelyn. Suosituksen esimerkeissä on annettu virherajat punnuksille 50 kg...5000 kg perustuen vaaossa käytettyihin suurimpiin askelmääriin.

Punnusten nimellisarvojen tulee olla $k \times 10^n$, missä k on 1, 2 tai 5 ja n on kokonaisluku.

7.2 Ilman noste ja konventionaalinen massa

Kun punnus asetetaan vaa'alle, kohdistuu vaa'kaan sekä punnuksen massasta ja putoamiskiihtyvyydestä aiheutuva voima että ilman nosteesta aiheutuva voima. Ilman noste on ilman tiheyden, punnuksen tilavuuden ja putoamiskiihtyvyyden tulo. Ilman tiheyden laskukaavat on annettu viitteissä [1, 7, 9]. Normaalisti ilman tiheys vaihtelee välillä $1,2 \pm 0,12$ kg/m³, tällöin ilman noste 1 kg:n punnukselle, jonka tiheys on 8000 kg/m³, on 150 ± 15 mg. Toisaalta jos punnuksen tiheys on 7200 kg/m³, on noste vastaavasti 166 ± 17 mg.

Ilman nosteesta johtuen punnuksen massan tarkka laskeminen edellyttää, että punnuksen tilavuus (tiheys) tunnetaan. Koska useimpien punnusten tarkkaa tilavuutta ei tunneta ja koska ilman nosteen vaihteluväli on vain kymmenesosa itse nosteesta, on otettu käyttöön nk. konventionaalinen massa [11]. Punnuksen konventionaalinen massa on sellaisen kuvitellun punnuksen massa, jonka tiheys on ρ_c

= 8000 kg/m³ ja joka ilman tiheyden ollessa $\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$ antaa lämpötilassa 20 °C saman punnitustuloksen kuin varsinainen punnus. Todellisen massan m ja konventionaalisen massan m_c välinen yhteys voidaan esittää muodossa [11]:

$$m_c = m \frac{1 - \rho_0 / \rho(20^\circ)}{1 - \rho_0 / \rho_c} = \frac{m(1 - \frac{1,2 \text{ kg/m}^3}{\rho(20^\circ \text{C})})}{0,99985} \quad (44)$$

missä $\rho(20^\circ \text{C})$ on punnuksen tiheys lämpötilassa 20 °C. Kun punnuksen massa on kalibroinnissa annettu konventionaalisenä massana, on punnuksen ”paino” sama kuin tiheyden 8000 kg/m³ omaavalla punnuksella. Käytettäessä konventionaalista massaa ei punnitustuloksiin yleensä tarvitse tehdä ilman nostekorjausta. Korjaus on sitä pienempi, mitä lähempänä punnuksen tiheys on referenssiarvoa 8000 kg/m³. Tästä syystä suosituksessa R111 on määritelty punnusten tiheyden suurimmat sallitut vaihtelurajat. Jos kuitenkin punnuksen tiheys poikkeaa näistä vaihtelurajoista tai jos ilman tiheys poikkeaa enemmän kuin 10 % referenssiarvosta 1,2 kg/m³, tulee punnuksilla saatuihin tuloksiin tehdä ilman nostekorjaus.

Vaakojen kalibrointiin käytettävien punnusten massana tulisi käyttää konventionaalista massaa. Tällöin vaakaa kalibroitaessa ei punnitustuloksiin tarvitse tehdä ilman nostekorjausta. Pyrkimyksenä on, että vaakaa näyttää oikein, kun punnusten tiheys on 8000 kg/m³ ja ilman tiheys on 1,2 kg/m³. Koska ilman tiheyteen ei vaa’an kalibrointihetkellä voida vaikuttaa, jää ilman tiheyden vaihtelun tutkiminen vaa’an käyttäjälle.

Jos punnitustuloksesta halutaan laskea kappaleen todellinen massa (reaali-massa) m , tulee punnitustulokseen W , joka on likimain punnuksen konventionaalinen massa m_c , tehdä ilman nostekorjaus, jonka suuruus on

$$\rho_a W \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right),$$

missä ρ_a ilman tiheys ja ρ on punnuksen tiheys.

Esim.

Kappale, jonka tiheys on ρ punnitaan kalibroidulla vaa’alla. Punnitus tehdään olosuhteissa, joissa ilman tiheys on ρ_a . Punnitustulokseksi saadaan W . Tällöin kappaleen massa m on

$$m = W \left[1 + \rho_a \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (45)$$

ja sen standardiepävarmuus on

$$u^2(m) = u^2(W) + W^2 \left(u^2(\rho_a) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right)^2 + \rho_a^2 \frac{u^2(\rho)}{\rho^4} \right) \quad (46)$$

Vastaavasti kappaleen konventionaalinen massa m_c on

$$m_c = W \left[1 + (\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (47)$$

ja sen epävarmuus

$$u^2(m_c) = u^2(W) + W^2 \left(u^2(\rho_a) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 \frac{u^2(\rho)}{\rho^4} \right) \quad (48)$$

7.3 Punnusten kalibrointi

Punnusten kalibrointiin on syytä käyttää joko punnusten kalibrointiin akkreditoitua kalibrointilaboratoriota tai massan kansallista mittanormaalilaboratoriota. Kalibrointi voidaan teettää myös ulkomaisissa vastaavissa laboratorioissa. Punnusten kalibrointiväli on normaalisti 1–5 vuotta. Kalibrointivälin päättää käyttäjä. Sopiva kalibrointiväli on arvioitava käytön ja peräkkäisissä kalibroinneissa havaittujen muutosten perusteella. Pienten punnusten, < 500 g, osalta on syytä ottaa huomioon niiden alttius käsittelyvaurioille.

On myös mahdollista, että vaa’an käyttäjä itse kalibroi vaa’an kalibrointiin tarvittavat punnukset. Tällöin käyttäjällä on oltava referenssinä kalibroitu punnusnormaali, jonka nimellisarvon on oltava sama ja tarkkuusluokan parempi kuin kalibroitavalla punnuksella. Punnusten kalibrointiin käytettävän vaa’an askelmäärän ja toistokyvyn tulee olla sellainen, että haluttu mittaasepävarmuus punnusten kalibroinnille saavutetaan. Kalibrointi tehdään vertailupunnituksena referenssipunnuksen ja kalibroitavan punnuksen välillä. Kalibrointimenettelyn tulee olla kirjattu ja sen tulee käsittää myös mittaasepävarmuus kalibroinnille. Suositeltavia punnusten kalibrointimenetelmiä on kuvattu OIML R111:n ohjeessa.

7.4 Punnusten käsittely ja säilytys

Punnusten käsittely ei saa muuttaa punnusten metrologisia ominaisuuksia, kuten massaa tai sen stabiiliuden pysyvyyttä. OIML R111:n F ja E luokan punnuksia ei saa käsitellä paljain käsin eikä niitä saa laskea naarmuttaville tai likaisille pinnoille. Kalibroitavan vaa’an ja sen ympäristön tulee olla sellainen, ettei punnusten tarkkuus vaarannu.

Kun punnuksia ei käytetä, ne tulisi säilyttää mieluiten omissa laatikoissaan, jotka puolestaan on hyvä pitää lukitussa kaapissa. Kalibrointipunnuksia saa normaalisti käyttää vain vaakojen kalibrointiin oikeutettu henkilö.

Suuret punnuksot, joilla ei ole omia säilytyslaatikoita, olisi hyvä säilyttää peitetynä esim. lavan päällä paikassa, jonka ympäristöolosuhteet ovat mahdollisimman stabiilit. Punnuksiin ei saa tiivistyä kosteutta.

Ennen käyttöä punnuksot on puhdistettava irrallisesta liasta ja pölystä ja varmistettava siitä, että punnuksia on käsitelty ja säilytetty asianmukaisesti.

Kaikkien vaakojen kalibrointiin käytettävien punnusten tai punnussarjojen on oltava yksilöitävissä (punnuksiin ei saa laittaa tarroja). Punnusten tai punnussarjojen tiedot kirjataan mittauspöytäkirjaan. Huom. jos käytetään kahta punnussarjaa samanaikaisesti, punnuksot voivat sekoittua.

7.5 Kalibrointipunnusten valinta

Asetetut tarkkuusvaatimukset määrittävät, minkä tarkkuusluokan mukaisia punnuksia tarvitaan. Tähän tulee kiinnittää erityistä huomiota. On tunnettava punnusten, myös lakisääteisesti varmennettujen punnusten, epävarmuudet sekä vaa'alle sallitut suurimmat epävarmuudet. Punnusten tulee olla joko lakisääteisesti varmennettuja tai jäljitettävästi kalibroituja.

Huom!

Lakisääteisesti varmennettun vaa'an tarkastuksessa ei edellytetä lakisääteisesti varmennettuja punnuksia, vaan riittää, kun punnuksista on virallinen kalibrointitodistus. Jos vaa'an varmennuksessa halutaan käyttää varmennettuja punnussormaaleja, on käytettävä kalibroituja punnuksia, joiden vastaavuus OIML-R111:n luokkaan on todettu. Vain myyntimittauksiin (mekaaniset vaa'at; esim. torikauppa, ns. kippivaa'at) käytettyjen punnusten tulee olla lakisääteisesti varmennettuja

7.5.1 Lakisääteisesti varmennettut punnuksot

Lakisääteinen varmennus takaa, että punnuksot täyttävät rakenteelliset vaatimukset ja että tarkastuslaitos on kolmantena osapuolena tarkastanut ja hyväksynyt punnuksen tai punnussarjan sekä varustanut sen varmennusleimalla tai varmennustarralla (tarraa ei saa kiinnittää punnukseseen). Leimassa tai tarrassa on kruunun kuva, vuosiluku sekä tarkastuslaitoksen tunnusnumero. Leiman vuosiluku ei saa olla kolme vuotta vanhempi. Käytettäessä lakisääteisesti varmennettuja punnuksia kalibroinnissa tulee epävarmuutena ($k = 2$) niille käyttää **varmennuksen virherajoja (ssv)**. Toisin kuin kalibroinnissa lakisääteisesti varmennetuille punnuksille ”oikeana arvona” käytetään nimellisarvoa ja epävarmuutena käytetään em. varmennusvirherajaa. Punnuksot varmennetaan OIML R 111:n mukaisesti. Lakisääteinen varmennus koskee luokkia F₂, M₁, M₂ ja M₃.

7.5.2 Kalibroidut punnukset

Kalibroitavia punnuksia eivät periaatteessa sido rakenne- tai muotomääräykset. Kuitenkin OIML:n ohjeiden mukainen punnusten rakenne on hyvä myös kalibroituille punnuksille, koska näin saavutetaan edellytetyt metrologiset ominaisuudet.

Vaakojen kalibroinnissa tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää tarkkuusluokitettuja punnuksia (OIML R 111). Jos vaakojen kalibrointiin käytettävät punnukset eivät ole minkään tarkkuusluokan mukaisia, tulee käyttäjän varmistua siitä, että punnukset täyttävät mittausepävarmuusvaatimuksen ja suositusten oleelliset metrologiset vaatimukset. Vaakojen kalibroinnissa punnusten massana tulee aina käyttää konventionaalista massaa.

Taulukossa 1 on annettu suurimmat sallitut askelmäärät (määriteltynä EN 45 501:n tai OIML R 76:n mukaisesti), jotka vaa'asta pystytään kalibroimaan käytettäessä OIML tarkkuusluokkien E₂ ... M₃ mukaisia punnuksia. Myös OIML:n luokan E₁ mukaisia punnuksia voidaan käyttää vaakojen kalibroinneissa, jos vaa'an resoluutio on 1 µg tai 0,1 µg.

Taulukko on saatu olettamalla, että kalibroidun punnuksen mittausepävarmuus on korkeintaan 1/3 kunkin kuorman suurimmasta sallitusta virheestä ja että punnuksen massan muutos on tätä pienempi. Lakisääteisesti varmennetuille punnuksille on oletettu, että punnuksen massan epävarmuus ($k = 2$) on varmennusvirheraja. Taulukko on voimassa punnuksille, joiden nimellismassat ovat välillä 100 g...50 kg. Taulukon arvot ovat ohjeellisia.

Taulukko 1. Ohjeellinen taulukko punnusluokan valinnaksi vaakojen kalibroinnissa

Punnuksen tarkkuusluokka	Kalibrointi/Varmennus	Kalibroitavien askelten lukumäärä
E2	Kalibrointi	≤ 1 500 000
F1	Kalibrointi	≤ 500 000
F2	Kalibrointi	≤ 150 000
F2	Varmennus	≤ 30 000
M1	Varmennus	≤ 10 000
M2	Varmennus	≤ 3 000
M3	Varmennus	≤ 1 000

Yleensä kalibroitavien askelten lukumäärä on yhtä suuri kuin vaa'an askelmäärä eli maksimikuorma jaettuna vaa'an askelarvolla ($n = \text{Max}/d$). Mikäli vaa'an askelmäärä on tarpeettoman suuri haluttuun tarkkuuteen verrattuna, saadaan laskennallinen kalibroitavien askelten lukumäärä kuorman ja sille sallitun epävarmuuden suhteesta.

Suurpunnusten ($m > 50$ kg) avulla kalibroitavien vaakojen suurimmat sallitut askelmäärät on merkitty punnuksiin, ja sen lisäksi on kalibrointitodistuksessa annettu mittausepävarmuus.

7.6 Punnusluokkien suurimmat sallitut virheet

7.6.1 OIML R111 [7]

OIML R111:n punnusluokkien suurimmat sallitut virheet on annettu taulukossa 2 silloin, kun punnuksia käytetään lakisääteisesti varmennettuna.

Punnusta, nimellismassa m_0 , luokiteltaessa määritetään punnuksen konventionaalinen massa m_c ja sen epävarmuus U ($k = 2$). Vaatimuksena on, että punnuksen massan virhe ei saa olla suurempi kuin suurin sallittu virhe δm vähennettynä mittausepävarmuudella U eli:

$$m_0 - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_0 + (\delta m - U) \quad \text{OIML R111, yhtälö (5.3-1)}$$

Lisäksi punnusluokilta $E_2 \dots M_3$ vaaditaan, että mittausepävarmuuden on oltava pienempi kuin $1/3$ suurimmasta sallitusta virheestä eli $U < \delta m/3$.

Taulukko 2. OIML R 111:n mukaiset suurimmat sallitut virheet mg:ina

Nimellisarvo	E_1	E_2	F_1	F_2	M_1	M_{1-2}	M_2	M_{2-3}	M_3
5000 kg			$25 \cdot 10^3$	$80 \cdot 10^3$	$0,25 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$	$0,8 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$
2000 kg			$10 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^6$	$0,2 \cdot 10^6$	$0,3 \cdot 10^6$	$0,6 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$
1000 kg		1600	$5 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$	$0,1 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$	$0,3 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$
500 kg		800	2 500	$8 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$	$0,08 \cdot 10^6$	$0,16 \cdot 10^6$	$0,25 \cdot 10^6$
200 kg		300	1 000	$3 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$0,03 \cdot 10^6$	$0,06 \cdot 10^6$	$0,1 \cdot 10^6$
100 kg		160	500	$1,6 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$
50 kg	25	80	250	800	2 500	5 000	8 000	$16 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$
20 kg	10	30	100	300	1 000		3 000		$10 \cdot 10^3$
10 kg	5	16	50	160	500		1 600		5 000
5 kg	2,5	8,0	25	80	250		800		2 500
2 kg	1,0	3,0	10	30	100		300		1 000
1 kg	0,5	1,6	5	16	50		160		500
500 g	0,25	0,8	2,5	8,0	25		80		250
200 g	0,10	0,30	1,0	3,0	10		30		100
100 g	0,05	0,16	0,5	1,6	5		16		50
50 g	0,030	0,10	0,30	1,0	3,0		10		30
20 g	0,025	0,080	0,25	0,8	2,5		8		25
10 g	0,020	0,060	0,20	0,6	2,0		6		20
5 g	0,016	0,050	0,16	0,5	1,6		5		16
2 g	0,012	0,040	0,12	0,4	1,2		4		12
1 g	0,010	0,030	0,10	0,3	1,0		3		10
500 mg	0,008	0,025	0,08	0,25	0,8		2,5		
200 mg	0,006	0,020	0,06	0,20	0,6		2,0		
100 mg	0,005	0,016	0,05	0,16	0,5		1,6		
50 mg	0,004	0,012	0,04	0,12	0,4				
20 mg	0,003	0,010	0,03	0,10	0,3				
10 mg	0,003	0,008	0,025	0,08	0,25				
5 mg	0,003	0,006	0,02	0,06	0,2				
2 mg	0,003	0,006	0,02	0,06	0,2				
1 mg	0,003	0,006	0,02	0,06	0,2				

Suosituksessa vaaditaan, että punnusluokkien E₁ ja E₂ mukaisista punnuksista kirjoitetaan aina kalibroitodistukset. Myös muiden punnusluokkien tulee täyttää taulukossa 2 annettu luokitusehto.

7.6.2 OIML R47 [8]

Yli 50 kg:n punnuksille on OIML:n suosituksessa R 47 annettu virherajat, jotka määräytyvät vaa'an askelmäärän mukaan. Kalibroinneissa näitä virherajoja voidaan käyttää punnusten epävarmuuksina.

8. Vaakojen luokitus standardin EN 45501 (OIML R 76) perusteella

Vaikka lakisääteinen varmennus sinällään ei liity suoranaisesti kalibrointiin, voidaan siihen liittyviä suosituksia ja standardeja hyödyntää myös kalibroinnissa. Kalibroinnin kannalta, kuten aiemmin on todettu, on tarpeellista määritellä vaa'an suorituskyvyille tarkkuusvaatimus. Vaikka vaa'an mittausepävarmuuden tulisikin perustua käytön tarpeisiin, usein vaa'an tarkkuusvaatimus voidaan perustaa yleisesti hyväksytyihin kriteereihin. Tällainen on standardin EN 45501 (OIML R76) mukainen vaakojen luokitus, jonka perusteella pystytään määrittelemään vaa'an suorituskyky. Standardi perustuu OIML:n suositukseen R 76.

Varmennuksessa ja sitä koskevia säädöksiä harmonisoivassa järjestössä, OIML:ssä, vaakojen jaotus on tehty toimintatavan mukaisesti. Koska tämä ohje käsittelee vaakoja, joita kutsutaan ei-automaattisiksi vaa'oiiksi, annetaan tässä lyhyt kuvaus ko. vaa'oista.

Ei-automaattiset vaa'at

Tämä ryhmä on käytännössä merkittävin, koska siihen kuuluvat kaikki staattiset vaa'at, joita on käytössä ehdottomasti eniten. Nimike merkitsee sitä, että punnittava kappale tai materiaali tuodaan joko käsin tai automaattisesti vaa'alle ja punnitustulos saadaan vasta, kun vaa'an näyttö on stabiili. Alkuaan ryhmitys on merkinnyt sitä, että punnitustapahtumaan on todella osallistunut vaa'an käyttäjä. Nytemmin automaation kasvun myötä punnittava kohde voi siirtyä vaa'alle ja vaa'alta automaattisesti, jolloin vaa'an rauhoittumisilmaisoin ohjaa punnituksen hyväksyntää ja edelleen punnittavan kappaleen siirtoa vaa'alta, jolloin pikemmin käyttäjä kuin vaaka on automatisoitu. Selkeä tulkinta siitä, milloin vaaka on ei-automaattinen tai automaattinen, on vaikeutunut. Ohjeen "Welmec Guide 2, directive 2009/23/EC: Common application" kohta 3.1.9 antaa siitä tarkemman selvityksen [15].

Standardissa EN 45501 [3] vaa'at on jaettu neljään luokkaan niiden tarkkuuden mukaan:

- Luokka I Tarkkuusvaa'at (special accuracy)
- Luokka II Täsmävaa'at (high accuracy)
- Luokka III Kauppavaa'at (medium accuracy)
- Luokka IIII Harvajakovaa'at (ordinary accuracy)

Luokan I tarkkuusvaakoihin kuuluvat mm. analyysi-, mikro- ja puolimikrovaa'at. Luokan II vaa'at ovat laboratoriovaakoja, ja niistä käytetään nimitystä täsmävaa'at. Luokan III vaa'at ovat kauppavaakoja, ja niitä käytetään yleisesti myynnissä, tuotannossa ja teollisuudessa. Luokan IIII vaakoja ovat epätarkimpiin punnituksiin, esimerkiksi soran punnitukseen, käytettävät vaa'at.

Vaa'an pienintä näytön porrasta kutsutaan varsinaiseksi askelarvoksi = d . Tunnusta d käytetään, kun puhutaan tästä pienimmästä askelarvosta, ja tunnusta e ,

kun on kyseessä *lakisääteisesti varmennetun vaa'an näyttämän askelarvo*. Yleensä nämä ovat yhtä suuret eli $e = d$. Laboratoriovaaoilla $d < e$ on joskus käytössä. Useimmiten tätä käytäntöä esiintyy vaa'oilta, joiden $d < 1\text{ mg}$, jolloin $e = 1\text{ mg}$.

Vaa'an suurin käyttökuorma on Max. Luokkajaon perusteena on näytön askelmäärä n ($n = \text{Max}/e$) ja varmennusaskel e .

Taulukko 3. EN 45501, ei-automaattisten vaakojen luokitus

Tarkkuusluokka	Vakausaskel e	Vaa'an askelmäärä $n = \text{Max}/e$		Pienin punnitusalue
		Minimi	Maksimi	<i>Min</i> (Alaraja)
Tarkkuus I	$0,001\text{ g} \leq e$	50 000 ¹⁾	-	100 e ²⁾
Täsmä II	$0,001\text{ g} \leq e \leq 0,05\text{ g}$ $0,1\text{ g} \leq e$	100 5 000	100 000 100 000	20 e 20 e
Kauppa III	$0,1\text{ g} \leq e \leq 2\text{ g}$ $5\text{ g} \leq e$	100 500	10 000 10 000	20 e 20 e
Harvajako IIII	$5\text{ g} \leq e$	100	1 000	10 e

¹⁾ jos $d < 0,1\text{ mg}$, n voi olla pienempi kuin 50 000

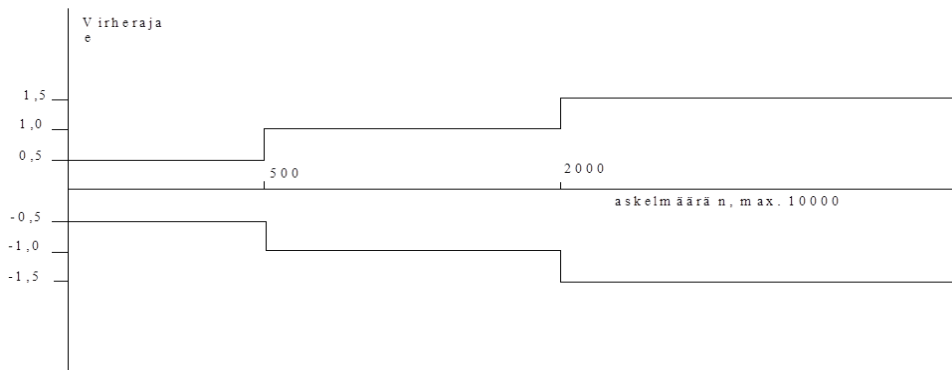
²⁾ jos $d < 1\text{ mg}$, $\text{Min} = 100\text{ d}$

Vastaavasti näille tarkkuusluokille on annettu varmennusvirherajat, jotka on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. EN 45501, ei- automaattisten vaakojen suurimmat sallitut virheet, varmennusvirherajat

Ssv	Luokka I	Luokka II	Luokka III	Luokka IIII
$\pm 0,5\text{ e}$	0...50 000 e	0...5 000 e	0...500 e	0...50 e
$\pm 1,0\text{ e}$	50 000 e...200 000 e	5 000 e...20 000 e	500 e...2 000 e	50 e...200 e
$\pm 1,5\text{ e}$	> 200 000 e	> 20 000 e	> 2 000 e	> 200 e

Suurin sallittu virhe (ssv) on sidottu askelarvoon, ja sen suuruus on joko 0,5 e, 1,0 e tai 1,5 e. Piirrettäessä virhekäyrästä kuvaaja asia tulee oleellisesti selkeämmäksi. Kuvassa 5 on esitetty virhekäyrä luokan III vaaolle.



Kuva 5. EN 45501:n mukaiset, ei-automaattisten vaaojen varmennusvirherajat, luokka III

Muiden luokkien virherajat saadaan kertomalla vaaka-akselin arvot luvuilla 100 (luokka I), 10 (luokka II) tai 0,1 (luokka III).

Vakaustilanteessa tulee kaikkien lukemien olla edellä mainittujen virherajojen sisällä. Käyttötilanteessa virherajat ovat kaksinkertaiset.

Esimerkki:

Vaa'an suurin käyttökuorma Max = 3000 kg ja näytön askelarvo $d = e = 2$ kg.

Askelmäärä $n = 3000 \text{ kg} / 2 \text{ kg} = 1500$ (Luokka III).

Virherajat ovat:

$ssv = 0,5 e = 1 \text{ kg}$ alueella 0–1000 kg (0–500 e)

$ssv = 1,0 e = 2 \text{ kg}$ alueella 1000–3000 kg (500–1500 e)

ssv on vaa'an näyttämän suurin sallittu virhe varmennushetkellä. Se sisältää useiden virhelähteiden, kuten punnusten, hystereesin ja lämpötilan, vaikutuksen.

Liitteessä 5 on esitetty moniaskelvaa'an virhekäyrän määrittely. Se on osoittautunut käytännössä vaativaksi tehtäväksi ja siksi liitteen esimerkki asian ymmärtämiseksi.

Kirjallisuusluettelo:

- [1] EURAMET cg-18 version 4.0, *Guidelines on the calibration of non-automatic weighing instruments*, Euramet, 2015. www.euramet.org
- [2] SFS-EN ISO/IEC 17025:2005, *Testaus- ja kalibrintilaboratorioiden pätevyys. Yleiset vaatimukset*, ISO.
- [3] SFS-EN 45501:2015, *Metrological aspects of non-automatic weighing instruments*, Suomen standardisoimisliitto SFS, 2015.
- [4] Vaakadirektiivi (NAWI) 2009/23/EY, *Muut kuin itsetoimivat vaa'at*, 2009. www.tukes.fi/Tiedostot/mittaaminen/ohjeet/NAWI_dir_su.pdf/
- [5] JCGM 100:2008 (GUM), *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, Geneva, JCGM, 2008. www.BIPM.org
- [6] EA-04/02 M:2013: *Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, EA 2013.
- [7] OIML R111: *Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ and M₃*, OIML, 2004. www.OIML.org
- [8] OIML R47: *Standard weights for testing of high capacity weighing machines*, OIML 1979. www.OIML.org
- [9] CIPM-2007, A. Picard, R.S. Davis, M. Gläser, K. Fujii, *Revised formula for the density of moist air*. *Metrologia* **45**, 149–155, 2008.
- [10] OIML D 28: *Conventional value of the result of weighing in air*, OIML 2010.
- [11] OIML R60: *Metrological regulations for load cells*, OIML Edition 2000 (E).
- [12] SFS-OPAS-99: *Kansainvälinen metrologian sanasto (VIM). Perus- ja yleiskäsitteet ja niihin liittyvät termit*, SFS 2010.
- [13] JCGM 200:2012, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*, JCGM 2012. www.BIPM.org
- [14] *International vocabulary of terms in legal metrology (VIML)*, OIML 2013.
- [15] *Welmec Guide 2*, directive 2009/23/EC.3

Liitteet

VAAKAKALIBROINTIOHJE, LIITE 1

Pyörästysvirheettömän näyttämän määrittäminen

Pyörästysvirheettömän näyttämä saadaan määritetyksi 0,1 d (tai vähemmän tarkasti 0,2 d) suuruisten punnusten avulla seuraavasti:

Vaa'alla on kuorma m , jolloin näyttämä on I . Vaa'alle asetetaan 0,1 d suuruisia punnuksia yhteensä Δm verran, kunnes näyttämä vaihtuu pysyvästi arvoon $I + d$. Pyörästysvirheettömän näyttämä P on silloin:

$$P = I + 0,5 d - \Delta m.$$

Vastaavasti näyttämän virheelle E saadaan arvo:

$$E = P - m = I + 0,5 d - \Delta m - m.$$

Edellä mainitut lausekkeet ovat voimassa myös moniaskelvaaioille. Jos sattumalta näyttämät osuvat eri alueille, käytetään P :n ja E :n kaavoissa d_{i+1} :n arvoa, joka on voimassa välillä $I \dots I + d_{i+1}$. Lisäpainot määräytyvät kuitenkin pienemmän d_i -arvon mukaan.

Vaaka-alan sanastoa liittyen kalibrointiin

Vaakoihin liittyvät termit ovat pääosin standardeista SFS-EN 45501:2015 [1] ja OIML R 60 [13] sekä lakisääteisen metrologian kansainvälisestä sanastosta VIML 2013 [16]. Metrologiaan liittyvät termit ovat kansainvälisestä metrologian sanastosta SFS-OPAS 99 [14]. Termeillä, joilla ei ole standardiviitettä, ei myöskään ole määritelmää käytetyissä standardeissa.

Analoginen asteikko (*Analog scale*)

Asteikko, jolla näytön muuttumista voidaan seurata jatkuvasti.

Analoginen näyttämä (EN 45501:T.5.1.2) (*Analog indication*)

Näyttämä, jota vastaava tasapainotilan asema voidaan arvioida askelarvon osissa.

Asennonvirityslaitte (EN 45501:T.2.7.1) (*Levelling device*)

Laitte, jolla vaaka asetetaan perusasentoon (vaakasuoraan).

Askel, vaa'an askel (EN 45501:T3.2) (*Scale division*)

Vaa'an askel

Selvennys:

Kahden peräkkäisen asteikkomerkin väli. Peräkkäinen asteikkomerkki voi olla esimerkiksi analogia-asteikolla kaksi peräkkäistä asteikon jakoviivaa. Digitaalisessa näyttölaitteessa askel muodostuu kahden peräkkäisen lukeman pienimmästä erosta. Vaakatekniikassa puhutaan nykyisin näytön askeleesta, johtuen digitaalinäytöistä, joissa näyttö muuttuu askeleittain, mutta myös analogisissa näytöissä on näytön askel (kahden peräkkäisen asteikkoviivan välinen arvo). Aiemmin on käytetty nimitystä jakoväli tai näytön porras.

Askelarvo (*d*) (EN 45501:T.3.2.2) (*Actual scale interval*)

Massan yksiköin ilmaistu lukuarvo, jota vastaa

- jatkuvan (analogisen) asteikon kahden peräkkäisen asteikkomerkin ero tai
- epäjatkuvan (digitaalisen) asteikon kahden peräkkäisen näyttämän pienin ero.

(Vaaissa askelarvon muoto voi olla ainoastaan $1, 2, 5 \cdot 10^k$ g, missä k on positiivinen tai negatiivinen kokonaisluku tai nolla. EN 45501:4.3.1.)

Askelmäärä (vakauskaskelmäärä) (*n*) (T.3.2.5) (*Number of verification scale intervals, n*)

Vaa'an suurin käyttökuorma jaettuna askelarvolla antaa askelmäärän.

Esim. $60000 \text{ kg} / 20 \text{ kg} = 3000$.

OIML R 60: Anturin askelmäärä määritetään suurimman käyttökuorman ja tarkastusaskeleen (*v*) suhteena.

Asteikkomerkki (EN 45501:T.2.4.2) (*Scale mark*)

Näyttöosassa oleva viiva tai muu merkki, joka vastaa tiettyä massan arvoa.

Automaattiset vaa'at (OIML/ R 51-1:T1.2; R 61-1:T.1.7; R 106-1:0.1.2; R107-1:T.1.2; R 134-1:T.1.2) (*Automatic weighing instruments*)

Vaaka, joka suorittaa massan määrittystä ennalta tehdyn ohjelman mukaisesti ilman käyttäjän toimenpiteitä. Aiemmin on käytetty myös nimitystä itsetoimivat vaa'at.

Brutto (G tai B) (EN 45501:T.5.2.1) (*Gross value*)

Vaa'an näyttämä ilman että taaraus tai esiaseteltava taara on toiminnassa.

Yleisesti:

Tavaran paino, joka sisältää myös astian tai pakkauksen (taara) painon.

Ei-itseasettuva vaaka (EN 45501:T.1.2.5) (*Non-self-indicating weighing instrument*)

Vaa'at, joiden tasapainotila voidaan saada aikaan vain käyttäjän toimenpitein.

Ensivarmennus (VIML:2.12) (*Initial verification*)

Aiemmin varmentamattoman mittauslaitteen varmentaminen.

Epäjatkua asteikko (*Digital scale*)

Asteikko, jolla näytön muuttumista ei voida seurata jatkuvasti, digitaalinen (numeerinen) asteikko.

Epäjatkua (digitaalinen) näyttämä (EN 45501:T.5.1.3) (*Digital indication*)

Näyttämä, jota vastaavat asteikkomerkit muodostuvat numerojonosta (vierekkäin asetetuista). Näyttämää ei ole mahdollista lukea askelarvon osina.

Epäjatkuvan (digitaalisen) näyttämän pyöristysvirhe (EN 45501:T.5.4.3) (*Rounding error of digital indication*)

Digitaalisen (epäjatkuvan) näytön ja analogisen näytön antamien näyttämien ero.

Epälineaarisuus (*Nonlinearity*)

Mittauslaitteen tarkkuuden kuvaajan muotovirhe verrattuna ideaaliseen suoraan. Epälineaarisuus määritellään yleensä joillakin seuraavista menetelyistä:

- päätepisteisiin sidotun suoran suhteen,
- nollapisteeseen sidotun suoran suhteen ja
- vapaasti sijoitetun suoran suhteen.

OIML R 60: Epälineaarisuus on suurenevilla kuormauksella määritetyn anturin ominaiskäyrän poikkeama suorasta, joka kulkee ensimmäisen kuormauksen 0-pisteen ja 75 %:n pisteen kautta.

Epäkeskeinen kuormaus (EN 45501:3.6.2; A.4.7.1) (*Eccentric loading*)

Vaa'an tulee antaa sama mittaustulos samalle kappaleelle riippumatta kuorman paikasta kuormankannattimella. Sen testaamiseksi vakiomassa sijoitetaan epäkeskisesti kuormankannattimelle. Sijoittaminen lähelle kuormituspistettä antaa luotettavimman tuloksen. Varmennustestissä massa tulee sijoittaa keksipisteen ja tuentapisteen puoliväliin.

Epävarmuus ks. Mittausepävarmuus

Erottelukyky (EN45501:T4.2.) (*Discrimination*)

Vaa'an kyky muuttaa tasapainoasentoa pienillä kuorman muutoksilla.

Tiettyä kuormaa vastaava erottelukynnys on pienimmän lisäkuorman arvo, joka aiheuttaa havaittavan muutoksen näyttämässä, kun lisäkuorma asetetaan tai poistetaan sysäyksettömästi.

Erottelukynnys (SFS-OAS 99:4.16) (*Discrimination threshold*)

Suurin mitattavan suureen arvon muutos, joka ei aiheuta havaittavaa muutosta vastaavassa näyttämässä.

Havaitsemisen kokonaisepätarkkuus (EN 45501:T.5.4.2) (*Overall inaccuracy of reading*)

Analogisella näytöllä varustetulla vaa'alla se on saman näyttämän keskihajonta, näyttämä on saatu normaaliolosuhteissa ja käyttäen useaa havainnoitsijaa. Tavallisesti käytetään vähintään kymmentä havaintoa.

Herkkyyys (*Sensitivity*)

EN 45501:T.4.1:

Tietyllä massan arvolla havainnoidun muuttujan I muutoksen ΔI ja vastaavan mitatun massan m muutoksen Δm suhde.

SFS-OPAS 99:

Mittausjärjestelmän näyttämän muutoksen suhde sitä vastaavaan muutokseen mitattavan suureen arvossa.

Hystereesi (OIML R60) (*Hysteresis error*)

Hystereesi on anturin havaittujen vastearvojen ero samalla mittauskuormalla, kun tähän kuormaan on päädytty toisaalta kuormauksen muutossuuntaa suurentamalla pienimmästä taarakuormasta ja toisaalta pienentämällä anturin suurimmasta käyttökuormasta.

Interpoloimislaite (EN 45501:T2.5.2) (*Vernier tai Nonius*) (*Device for interpolation of reading, vernier or nonius*)

Näyttölaitteeseen liitetty laite, joka jakaa asteikon pienempiin osiin ilman erityistä asettelua.

Itseasettuvuusalue (EN 45501:T.3.1.3) (*Self-indication capacity*)

Punnitusalue, jolla tasapaino saavutetaan ilman käyttäjän toimenpiteitä.

Itseasettuvuusalueen siirtoväli (EN 45501:T.3.1.5) (*Extension interval of self-indication*)

Arvo, jolla itseasettuvuusaluetta voidaan siirtää punnitusalueen sisällä.

Jatkuva näyttämä (EN 45501:T.5.1.2) (*Analogue indication*)

Näyttämä, jota vastaava tasapainotila arvioidaan askelarvon osissa.

Jäljitettävyys, metrologinen jäljitettävyys (SFS-OPAS 99:2.41) (*Metrological traceability*)

Mittaustuloksen ominaisuus, jonka avulla tulos voidaan yhdistää referenssiin dokumentoidulla katkeamattomalla kalibrointien ketjulla, jonka jokainen kalibrointi vaikuttaa mittausepävarmuuteen.

Kalibrointi (SFS-OPAS 99:2.39) (*Calibration*)

Toimenpide, jonka avulla ensin määritellyissä olosuhteissa saadaan mittanormaalien antamien suureiden arvojen ja niiden mittausepävarmuuksien sekä vastaavien mittaustulosten näyttämien ja niihin liittyvien mittausepävarmuuksien välinen yhteys, minkä perusteella näyttämästä voidaan tämän jälkeen johtaa mittaustulos.

Kulmien hionta (*Adjusting of eccentric error*)

Vaa'an punnitustuloksen tulee olla riippumaton kuorman sijaintipaikasta vaakasilalla. Sen vuoksi joudutaan kaikissa vaa'issa tekemään viritustoimenpiteitä ns. kulmavirheen poistamiseksi. Mekaanisissa vaa'issa se tehdään täsmäämällä vipujen pituudet sellaisiksi, että vaa'an näyttö on riippumaton kuorman paikasta vaakasilalla. Toimenpide sai kyseisen nimen, koska se suoritettiin hiomalla, jolloin terän linja siirtyi haluttuun suuntaan ts. muutettiin vipusuhteita. Tämä nimitys on säilynyt "ammattislangina" nykypäivään myös, kun tehdään kulmaviritys sähköisille vaa'oilta, vaikka se niillä onkin toimenpiteenä täysin erilainen.

Kuormankannatin (EN 45501:T.2.1.1) (*Load receptor*)

Vaa'an osa, jolle kuorma asetetaan. (Puhkielessä vaakasilta.)

Kuormauskäyrä

Kuormauskäyrä antaa vaa'an lukeman ja kuormaukseen käytettyjen punnusten massan välisen riippuvuuden graafisesti, jolloin yleensä Y-akselilla on virhe, poikkeama oikeasta arvosta. Kuormauskäyrä mitataan normaalisti suurenevalla ja pienenevällä kuormalla.

Luettavuus (*Readability*)

Termi, joka kuvaa näyttämän havaitsemistarkkuutta analogisilla vaa'oilta: kuinka tarkasti voidaan arvioida kahden peräkkäisen asteikkomerkin välissä olevan osoittimen antama näyttämä.

Lämpenemisaika (EN 45501:T.4.5) (*Warm-up time*)

Aika virran kytkemisestä siihen hetkeen, jolloin vaaka toimii vaatimusten mukaisesti.

Metrologia (SFS_OPAS 99: 2.2) (*Metrology*)

Mittaustiede ja sen soveltaminen.

Mittaustarkkuus (SFS-OPAS 99:2.13) (*Measurement accuracy*)

Suureen mitatun arvon ja mittaussuureen todellisen arvon yhtäpitävyys.

Mittausepävarmuus (SFS-OPAS 99:2.26) (*measurement uncertainty*)

Ei-negatiivinen parametri, joka käytettyjen tietojen perusteella kuvaa mittaussuurelle saatujen arvojen oletettua vaihtelua.

Mittaussuure (SFS-OPAS 99:2.3) (*Measurand*)

Suure, joka on tarkoitus mitata.

Mittausvirhe (SFS-OPAS 99) (*Measurement error*)

Suureen mitatun arvon ja suureen vertailuarvon erotus.

Huom.

Kun on tarpeen erottaa ”virhe” suhteellisesta virheestä, edellistä kutsutaan joskus absoluuttiseksi mittausvirheeksi. Vaakatekniikassa käytetään yleensä absoluuttista virhettä ei-itsetoimiville vaa'oilta ja suhteellista virhettä, kun on kyseessä itsetoimivat vaa'at.

Moniaskelvaaka (moniaskelarvovaaka) (EN 45501:T.3.2.6) (*Multi-interval instrument*)

Vaaka, jossa punnitusalue on jaettu osa-alueisiin kukin omalla askelarvollaan, jotka vaihtuvat automaattisesti kuorman suuruudesta riippuen sekä suurenevalta että pienenevällä kuormalla. (Moniaskelarvovaakaa voidaan havainnollistaa siten, että mitausalueeltaan erilaisia vaa'koja on päällekkäin, ja kutakin vaa'kaa käytetään aina sille sopivalla mitta-alueella.)

Monialuevaaka (EN 45501:T.3.2.7) (*Multiple range instrument*)

Vaaka, jossa on kaksi tai useampia punnitusalueita ja yksi kuormankannatin. Kullakin punnitusalueella on eri käyttökuormat ja askelarvot. Kullakin alueella vaaka toimii nolasta alueen suurimpaan käyttökuormaan.

Määräaikaisvarmennus (VIML:2.14) (*Mandatory periodic verification*)

Mittauslaitteen uudelleenvarmennus, joka tehdään määräajoin säädösten mukaisesti.

Nykyisin (2015) varmennusjakso vaa'ille on Suomessa kolme vuotta. Muissa maissa on päädytty erilaisiin jaksoihin vaihdellen 1...4 vuoden välillä riippuen esim. mittalaitteen tyypistä.

Netto (EN 45501:T.5.2.2) (*Net value (N)*)

Vaa'an näyttämä taarauslaitteen toimiessa.

Nollaan asettelulaite (EN 45501:T.2.7.2) (*Zero setting device*)

Laitte, jolla kuormaamattoman vaa'an näyttämä asetetaan nolnaan.

Nollan seurantalaitte (EN 45501:T.2.7.3) (*Zero-tracking device*)

Laitte, joka pitää automaattisesti näyttämän nollassa tietyin rajoituksin.

Näyttämä (*Indication*)

Vaa'an antama punnitustulos joko lukemana näytössä tai tulostettuna paperille.

Näyttämän laajennus (EN 45501:T.2.6) (*Extended indicating device*)

Laitte, jolla voidaan väliaikaisesti käsin annetulla käskyllä muuttaa askelarvo (d) pienemmäksi kuin varmennusaskel (e).

Oikaiseminen, oikaisu (*Adjusting*) ks. *viritys*

Toimenpide, jolla näyttämän pieni virhe saadaan korjattua tai punnuksen massan arvo täsmättyä oikeaksi. Sana periytyy mekaanisten vaakojen toimenpiteistä.

OIML (*Organisation Internationale de Métrologie Légale*)

Kansainvälinen lakisääteisen mittaamisen järjestö, jonka tehtävänä on harmonisoida lakisääteisesti varmennettavia mittalaitteita koskevia suosituksia. Tällä pyritään siihen, että kaikissa maissa olisi yhtenäinen menettely tällaisten mittalaitteiden osalta. Lähes kaikki teollistuneet maat ovat sen jäseniä ja sitoutuneet moraalisesti noudattamaan suosituksia.

Pienin käyttökuorma (EN 45501:T.3.1.2) (*Minimum capacity, Min*)

Kuorma, jota pienemmät punnitustulokset voivat sisältää liian suuria suhteellisia virheitä.

Pienin lukuetaisyys (EN 45501:T.5.4.4) (*Minimum reading distance*)

Pienin lukuetaisyys, jolle havaintaja tavallisissa olosuhteissa voi esteettömästi lähestyä näyttölaitetta havaitakseen näyttämän normaaliolosuhteissa.

Tämä lähestyminen katsotaan esteettömäksi, jos näyttölaitteen eteen jää vähintään 0,8 m vapaata tilaa.

Punnitusalue (EN 45501:T.3.1.4) (*Weighing range*)

Pienimmän ja suurimman käyttökuorman välinen alue. Käytännössä usein käytetään tätä termiä, kun tarkoitetaan suurinta käyttökuormaa.

Putoamiskiihtyvyys (g) (*Acceleration of free fall (g)*)

Vapaasti putoavan kappaleen kiihtyvyys maan vaikutuspiirissä. Suure ilmaisee gravitaatiokentän voimakkuuden kappaleen kohdalla.

Putoamiskiihtyvyyteen vaikuttavat mm. maan tiheys, maan pyörimisliike ja muut taivaankappaleet. Sen arvo on erilainen eri paikkakunnilla. Arvoon vaikuttavat mm. leveyspiiri, korkeus merenpinnasta ja maan tiheyden vaihtelut. Suomessa g:n arvo vaihtelee välillä 9,818–9,826 m/s² eli 0,08 %. Tällä on merkitystä vaa'oilte, joiden toiminta perustuu voiman mittaukseen.

Pysyvyys (EN 45501:T.4.4) (*Durability*)

Vaa'an kyky säilyttää suorituskykyarvonsa tietyn ajanjakson.

Sijoitusmenettely (EN 45501:3.7.3;A.4.4.5) (*Weighing test using substitution material*)

Sijoitusmenettelyllä tarkoitetaan vaa'an viritystä, jolloin on käytettävissä vain osa kuormaukseen tarvittavista tunnetuista painoista. Näiden avulla tehdään vaa'alle tuodusta muusta materiaalista tunnettu massa. Yleisimmin sitä käytetään suurten säiliövaakojen virityksessä.

Sinetöinti (VIML:2.20) (*Securing*)

Toimenpiteet, joiden tarkoituksena on suojata mittauslaitetta luvattomilta muutoksilta, uudelleenviritykseltä, osien poistolta, ohjelmistojen muutoksilta jne.

Huom. Tämä voidaan tehdä laitetasolla, ohjelmistolla tai näiden yhdistelmällä.

Vaaka, jossa sinetöinti on rikottu, ei enää täytä varmennusvaatimuksia, eikä sillä voida suorittaa punnituksia, joissa vaaditaan varmennettua vaakaa.

Suhteellinen virhe (*Relative error*)

Mittausvirhe jaettuna mittaussuureen tosiarvolla.

Esim. Jos oikea massa $m = 1001$ g ja punnitustulos $l = 998$ g, on virhe $e = l - m = 998 \text{ g} - 1001 \text{ g} = -3 \text{ g}$. Tällöin suhteellinen virhe

$$\frac{e}{m} = -3 \text{ g} / 1001 \text{ g} \approx -0,003 \text{ eli } -0,3 \%$$

Suureen tosiarvo (SFS-OPAS 99:2.11) (*True quantity value*)

Suureen arvo, joka on suureen määritelmän mukainen.

Suurin käyttökuorma, Max. (EN 45501:T.3.1.1) (*Maximum capacity (Max)*)

Suurin punnittava kuorma, kun lisäävää taaraa ei oteta huomioon.

OIML R 60: Suurin käyttökuorma on anturille sovellettava suurin kuorma (massa), jonka vaikuttaessa ei ylitetä suurimpia sallittuja virheitä.

Suurin sallittu virhe (ssv) (EN 45501:T.5.5.4) (*Maximum permissible error (mpe)*)

Säädösten sallima suurin ero, positiivinen tai negatiivinen, vaa'an näyttämän ja vastaavan oikean arvon välillä määritettynä vertailumassoilla tai vakiopunnuksilla, vaa'an näyttämän ollessa nolla ilman kuormaa ja vaa'an ollessa perusasennossa.

Sähkömekaaninen vaaka

Vaaka, jossa mittaus tapahtuu anturilla tai antureilla, jotka muuttavat kuorman vaikuttavan voiman sähköiseksi signaaliksi. Vaa'assa ei välttämättä ole mekaanisia vipuja niiden perinteisessä merkityksessä, esimerkiksi venymäliuska-antureilla tehdyt vaa'at.

Sähkötoiminen vaaka (EN 45501:T.126) (*Electronic instrument*)

Vaaka, jossa on elektronisia laitteita tai osia.

Taarattavuus (T=+ ..., T- ...) (EN 45501:T.3.1.6) (*Maximum tare effect (T=+..., T-...)*)

Lisäävällä tai vähentävällä taarauslaitteella taarattavissa oleva suurin kuorma.

Taaraus (Tare)

Taarauksella poistetaan vaa'an näyttämästä pakkauksen paino. Taaratessa asetetaan pakkauksella kuormatun vaa'an näyttämä nolnaan.

Huom!

Tyhjän vaakasillan näyttämän asettaminen nolnaan ei ole taarausta, ks. nolnaanasettelulaite.

Taarauslaite (EN 45501:T.7.2.4) (*Tare device*)

Laite, jolla asetetaan kuormatun vaa'an näyttämä nolnaan:

- muuttamatta vaa'an punnitusaluetta nettokuormalla (lisäävä taara),
- pienentämällä punnitusaluetta nettokuormalle (vähentävä taara)

Se voi toimia:

- ei-automaattisena (käyttäjä taaraa vaa'an),
- osittain automaattisena (kuorma taarautuu automaattisesti käyttäjän antamalla käskyllä) tai
- automaattisena (kuorma taarautuu automaattisesti ilman käyttäjän toimenpiteitä).

Tarkastuslaitoksen varmentaja (*Verification officer*)

Henkilö, joka puolueettomana osapuolena suorittaa mittalaitteen tarkastuksen ennen sen käyttöönottoa (ensivarmennus) ja käytön aikana säännöllisin välein (määräaikaivarmennus). Tehtävänä on todeta, että mittalaite vastaa tyyppihyväksyntää ja että mittausvirheet ovat sallittujen virherajojen sisällä. Varmennuksessa myös sinetöidään mittalaitteen mittaustarkkuuteen vaikuttavat osat. (Huom. Tarkastuslaitoksen varmentaja ei enää ole virkamies, vaan varmennuksia voivat suorittaa hyväksytyjen tarkastuslaitosten tähän tehtävään koulutetut ja pätevoidyt henkilöt.)

Tarkkuus ks. Mittauksen tarkkuus

Tarkkuusluokka (SFS-OPAS 99:4.25) (*Accuracy class*)

Mittauslaitteiden tai mittausjärjestelmien luokka, joka asettaa metrologiset vaatimukset, jotta mittausvirheet tai mittauslaitteiden epävarmuudet pysyvät määritellyissä rajoissa määritellyissä käyttöolosuhteissa.

Vaakojen osalta tarkkuusluokalla ilmaistaan vaa'an suorituskykyä, ja OIML jakaa ei-automaattiset vaa'at neljään ryhmään. Näiden osalta luokitus perustuu pääasiassa askelmäärään, joskin muitakin reunaehtoja on asetettu, tarkemmin R 76 tai EN 45501.

Toistokyky (EN 45501:T.4.3) (*Repeatability*)

Vaa'an kyky antaa yhtäpitäviä tuloksia, kun sama kuorma asetetaan useita kertoja kuormankannattimelle käytännössä samalla tavalla ja samanlaisissa koeolosuhteissa.

Tyyppiarviointi (VIML:2.04) (Type (pattern) approval)

Vaatimustenmukaisuuden arviointimenetelmä mittauslaitteen tietyn tyyppin (mallin) yhdelle tai useammalle näytekappaleelle, jonka tuloksena on arviointiraportti ja/tai arviointitodistus.

Mittalaitteen mittausominaisuuksien ja pysyvyyden tutkimiseksi tehtävä tarkastus. Varmennettavan mittalaitteen varmentamisen edellytyksenä on, että laitteella on tyyppihyväksyntä ja sillä on hyväksyntätunnus. Tyyppiarvioinnin tekee ilmoitettu laitos.

Tyyppihyväksyntä (VIML:2.05) (Type approval)

Lakiin ja tyyppiarviointiraporttiin perustuva päätös, jonka mukaan mittauslaitteen tyyppi on asianomaisten lakisääteisten vaatimusten mukainen ja jonka perusteella myönnetään tyyppihyväksyntätodistus.

Täydentävä askel (EN 45501:T.2.5.4) (Indicating device with a differentiated scale division)

Digitaalinen näyttölaite, jossa viimeinen numero desimaalipilkun jälkeen on selvästi erotettu muista näyttämien numeroista.

Täydentävä lukulaite (EN 45501:T.2.5.3) (Complementary indicating device)

Aseteltava laite, jonka avulla on mahdollista arvioida massan yksiköin näyttämä (tai näyttämien lukuarvo) asteikkomerkin ja näyttöosan välillä.

Uudelleenvarmennus (VIML:2.13) (Subsequent verification)

Aiemmin varmennetun mittauslaitteen varmennus.

HUOM: Varmennus, joka tehdään silloin kun vaakaa on jouduttu korjaamaan esimerkiksi rikkoutumisen vuoksi. Tällöin, mikäli on puututtu sinetöityihin laitteisiin tai vaa'an mittaustekniset ominaisuudet ovat voineet muuttua, on vaakaa uudelleenvarmennettava riippumatta määräaikaismennuksen jaksosta.

Vaa'an pääosat (EN 45501:T.2.1) (Main devices of a weighing instrument)

Vaa'an pääosiksi luetaan kuormankannatin, tasapainotuslaite ja näyttölaite. Jako on perua mekaanisen vaa'an ajoilta eikä kovin hyvin sovellu esimerkiksi sähkömekaanisille vaa'oilta (anturit, kuormanvälitin, kuormankannatin, signaalinkäsittely ja näyttö).

Vaaka (EN 45501:T.1.1) (Weighing instrument)

Vaaka on mittauslaite, jolla kappaleen massa voidaan määrittää siihen vaikuttavaa painovoimaa hyväksi käyttäen.

Vaakasilta (*Weighing bridge, weighing platform*)

Katso kuormankannatin.

Käytännön nimitys vaa'an osalle, jolle punnittava kappale asetetaan tai tuodaan automaattisesti punnitusta varten. Virallisesti tämän osan nimitys on kuormankannatin. Vaakasilta voi olla myös varsin monimuotoinen, esim. säiliö, rullaradan osa, hihnakuuljetin tai koko hihnakuuljetin.

Varmennus (*Verification*)

Varmennuksella ymmärretään käytännössä useimmiten ainoastaan kentällä tapahtuvaa ensivarmennusta, uusintavarmennusta tai määräaikaisvarmennusta. Toimenpide käsitteenä pitää sisällään kuitenkin myös tyyppitarkastuksen sekä varmentajan suorittaman toimenpiteen mittalaitteen toiminnan tarkastamiseksi. Laajemmin ymmärrettynä koko varmennus toimintona käsittää myös kansainvälisen kanssakäymisen, säännösten ylläpidon, tyyppitarkastuksen ja kenttätöiminnan.

Varmennusaskel (e) (EN 45501: T.3.2.3) (*Verification scale interval*)

Massan yksiköin ilmaistu askelarvo, jota käytetään vaa'an luokittelussa ja varmennuksessa.

Varmennusaskelmäärä (EN 45501:T.3.2.5) (*Number of verification scale intervals*)

Suurimman käyttökuorman ja vakausaskelen osamäärä, $n = \text{Max} / e$.

Varmennusleima (-tarra) (*Mark of verification*)

Leima, jonka varmentaja joko lyö mittalaitteessa olevaan lyijyyn tai liimaa tarralla mittalaitteeseen. Leimasta käy ilmi vuosiluku, jolloin varmennus on tehty, lisäksi siinä on varmentajan numerotunnus sekä kruunun kuva. Lisätarroissa voi lisäksi olla vielä muuta tietoa, esimerkiksi seuraava varmennusvuosi.

Virhe ks. Mittausvirhe

Viritys, mittausjärjestelmän viritys (SFS-OPAS 99:3.11) (*Adjustment of measuring system*)

Joukko mittausjärjestelmälle tehtyjä toimenpiteitä, jotta se antaa mitattavan suureen arvoja vastaavia näyttämiä.

Huomautukset eivät ole SFS-OPAS 99:stä:

Huom. 1: Sanan viritys sijasta käytetään joskus samaa tarkoittavia sanoja tarkkuus tai täsmäys.

Huom. 2: Mittauslaitteen saattamista toimintakuntoon on aiemmin sanottu myös säädöksi. Tätä tulisi kuitenkin välttää, sillä mittaustekniikka on varsin läheisesti tekemisissä säätötekniikan kanssa, ja mainitulla alalla säädöllä on vakiintunut ja täsmällinen merkitys; kyseessä on tavallisesti jonkin teknisen järjestelmän automaattinen ja jatkuvatoiminen mittaukseen perustuva ohjaus.

VAAKAKALIBROINTIOHJE, LIITE 3

Vaa'an kalibrointiesimerkki

Laboratoriovaa'an kalibrointi, $MAX = 610 \text{ g}$, $d = 0,1 \text{ mg}$

1 Kalibrointiolosuhteet

Vaaka	Elektroninen laboratoriovaaka
Kapasiteetti (MAX) / askel-arvo (d)	610 g / 0,1 mg
Lämpötilakerroin	$TC \leq 1 \times 10^{-6} / \text{K}$ (laitteen manuaali)
Viritys	Vaaka virittää itsensä automaattisesti: sovituin välein tai kun $\Delta T \geq 1,5 \text{ K}$
Käyttäjän suorittama viritys	Sisäinen viritys ennen kalibrointia (Asiakkaan kanssa on sovittu, että vaaka voidaan virittää ennen kalibrointia.)
Lämpötila kalibroinnin aikana	21,1 °C mitattu mittauskammiosta ennen kalibrointia ja sen jälkeen
Ympäristöolosuhteet	Ilman lämpötila alussa 21,1 °C, lopussa 21,1 °C. Ilmanpaine alussa 987,2 hPa, lopussa 987,1 hPa Ilman suhteellinen kosteus 44 %RH Ilman tiheys $1.1642 \pm 0.0005 \text{ kg/m}^3$
Testipunnukset	Kalibroidut OIML-luokan F ₁ -punnukset, jotka ennen kalibrointia ovat olleet vaa'an läheisyydessä.

2 Punnukset, niiden massat ja tiheydet standardiepävarmuuksineen

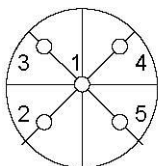
m_N	m_c / mg	$u(m_c) / \text{mg}$	$\rho / \text{kg/m}^3$	$u(\rho) / \text{kg/m}^3$
50 g	50 000,09	0,01	8006,9	0,5
100 g	99 999,97	0,01	8006,5	0,5
100 g*	99 999,85	0,03	7962,0	13
200 g	200 000,07	0,02	8006,4	0,5
200 g*	200 000,02	0,02	8008,8	0,5
500 g	500 001,16	0,02	8010,5	0,5

3 Testit ja niiden tulokset

Toistokykkytesti	Kuorma 500 g (10 mittausta)
Lukema nolllakuormalla on tarkistettu ennen jokaista kuormausta ja tarvittaessa vähennetty kuormauksesta saadusta lukemasta	500 001,3 mg
	500 001,2 mg
	500 001,2 mg
	500 001,2 mg
	500 001,2 mg
	500 001,2 mg
	500 001,2 mg
	500 001,1 mg
	500 000,9 mg
	500 000,9 mg
Mittausten hajonta	s = 0,13 mg

Epäkeskeisyystesti 200 g punnuksella:

Punnusten paikat kuormankannattimella. Kulmat tulee tunnistaa vaa'an rakenteseen nähden, esimerkiksi merkitsemällä näytön paikka.



Näyttö

Epäkeskeisyystesti	Paikka kuorman kannattimella	Lukema
Näyttämä on nolllattu ennen kuormausta. Nollaa ei ole tarkistettu kuormauksen välissä	1, keskellä (alussa)	199 999,6 mg
	2, edessä vasemmalla	199 999,4 mg
	3, takana vasemmalla	199 999,4 mg
	4, takana oikealla	199 999,8 mg
	5, edessä oikealla	199 999,8 mg
	1, keskellä (lopusssa)	199 999,6 mg
Suurin poikkeama		0,2 mg

Kuormaustesti: Tehty jatkuvasti kuormaa lisäämällä nolasta maksimikuormaan ja sen jälkeen jatkuvasti kuormaa vähentämällä maksimikuormasta takaisin nolakuormaan (ylös-alaskuormaus). Vaa'an näyttämä on nolattu ennen testiä.

Kuormaustesti (ylös-kuormaus)	Vaaka on kuormattu nolasta maksimikuormaan. Kuormausta on kasvatettu jatkuvasti.	
Kuorma <i>L</i> (konventionaalinen massa)	Lukema <i>I</i>	Virhe <i>E</i>
0,0 mg	0,0 mg	0,0 mg
50 000,09 mg	49 999,8 mg	-0,3 mg
99 999,97 mg	99 999,6 mg	-0,4 mg
150 000,06 mg	149 999,7 mg	-0,4 mg
200 000,07 mg	199 999,6 mg	-0,5 mg
250 000,16 mg	249 999,6 mg	-0,6 mg
300 000,04 mg	299 999,5 mg	-0,5 mg
350 000,13 mg	349 999,8 mg	-0,3 mg
400 000,09 mg	400 000,4 mg	0,3 mg
450 000,18 mg	450 000,8 mg	0,6 mg
500 000,06 mg	500 001,0 mg	0,9 mg
599 999,91 mg	600 001,8 mg	1,9 mg

Kuormaustesti (alaskuormaus)	Vaaka on kuormattu maksimikuormasta nolllakuormaan. Kuormausta on vähennetty jatkuvasti.		Hystereesi on $I_{y\ddot{o}s} - I_{alask}$
Kuorma L (konventionaalinen massa)	Lukema I	Virhe E	Hystereesi
0,0 mg	0,8 mg	0,8 mg	-0,8 mg
50 000,09 mg	50 000,6 mg	0,5 mg	-0,8 mg
99 999,97 mg	100 000,4 mg	0,4 mg	-0,8 mg
150 000,06 mg	150 000,3 mg	0,2 mg	-0,6 mg
200 000,07 mg	200 000,2 mg	0,1 mg	-0,6 mg
250 000,16 mg	250 000,2 mg	0,1 mg	-0,6 mg
300 000,04 mg	300 000,1 mg	0,1 mg	-0,6 mg
350 000,13 mg	350 000,4 mg	0,3 mg	-0,6 mg
400 000,09 mg	400 000,5 mg	0,4 mg	-0,1 mg
450 000,18 mg	450 000,9 mg	0,7 mg	-0,1 mg
500 000,06 mg	500 001,2 mg	1,2 mg	-0,3 mg
599 999,91 mg	600 001,8 mg	1,9 mg	

4 Virheet ja niihin liittyvät epävarmuudet

- Epäkeskeisestä kuormauksesta aiheutuva epävarmuus.

$$u(\delta I_{ecc}) = I |\Delta I_{ecc,i}|_{\max} / (2L_{ecc} \sqrt{3})$$

. Punnukset on keskitetty mahdollisimman hyvin.

- Lukema nolllakuormalla on muuttunut kalibroinnin aikana. Tästä aiheutuu hystereesiä. Muutosta ei korjata mittaustuloksiin. Epävarmuuteen on lisätty tekijä

$$u(\delta I_0) = \delta I_0 \cdot I / L_{MAX} / (2\sqrt{3})$$

, missä $\delta I_0 = |I_{y\ddot{o}s} - I_{alask}|_{L=0} = 0,8$ mg (muutos nolllakuormalla) ja $L_{MAX} = 600$ g

- Punnusten massoille on käytetty kalibroitidistuksessa annettuja arvoja. Punnusten standardiepävarmuus $u(m_c)$ on saatu jakamalla laajennettu epävarmuus $U(m_c)$ kattavuuskertoimella $k = 2$.

Lähtö- ja vaikutussuureet	Kuorma, näyttämä, virhe epävarmuus (mg)					
	Kuorma m_{ref}	0,0	50000,09	99999,97	150000,06	200000,07
Näyttämä I	0,0	49999,8	99999,6	150000,7	199999,6	249999,6
Virhe E	0,0	-0,29	-0,37	-0,36	-0,47	-0,56
Toistokyky $u(\delta I_{rep})$	0,0	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Resoluutio $u(\delta I_{dig0})$	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
Resoluutio $u(\delta I_{digL})$	0,0	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
Epäkeskeisyys $u(\delta I_{ecc})$	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07
Hystereesi nolllakuormalla $u(\delta I_0)$	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
Näyttämän epävarmuus $u(I)$	0,03	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19
Käytetyt punnukset m_c	0,0	50000,09	99999,97	99999,97 50000,09	200000,07	200000,07 50000,09
Punnusten massa $u(m_c)$	0,0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Punnusten muuttuminen $u(\delta m_D)$	0,0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Ilman noste $u(\delta m_B) < \delta m_B$	0,0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Referenssipunnusten epävarmuus $u(m_{ref})$	0,00	0,014	0,014	0,028	0,028	0,042
Virheen epävarmuus $u(E)_{/g}$	0,03	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19
k (95 %)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$U(E) = ku(E)$	0,06	0,28	0,30	0,32	0,34	0,38

- Punnusten massan muutoksista aiheutuvaksi standardiepävarmuudeksi on arvioitu

$$u(\delta m_D) = k_d u(m_c) / \sqrt{3} = 1,0 * u(m_c) \quad (k_d \approx 0.9)$$

- Ilman nosteesta aiheutuva epävarmuus

Nostekorjausta ei ole tehty. Nostekorjauksen epävarmuutena on käytetty nostekorjauksen maksimiarvoa

$$u(\delta m_B) = \left| -m_N (\rho_a - \rho_0) (1/\rho - 1/\rho_c) \right|_{MAX}$$

- Koska vaaka viritettiin ennen kalibrointia ja ilman tiheys ei ole muuttunut kalibroinnin aikana, on muutoksesta aiheutuva epävarmuus $u(\delta m_{B1}) \approx 0$.

- Punnukset ovat olleet riittävän kauan vaa'an läheisyydessä, joten voidaan olettaa, että ne ovat stabiloituneet vaa'an lämpötilaan ja konvektiosta aiheutuva epävarmuus $u(\delta m_{conv}) \approx 0$.

Lähtö- ja vaikutussuure	Kuorma, näyttämä, virhe epävarmuus (mg)					
	Kuorma m_{ref}	300000,03	350000,13	400000,09	450000,18	500000,06
Näyttämä I	299999,5	349999,8	400000,4	450000,8	500001,0	600001,8
Virhe E	-0,54	-0,33	0,31	0,62	0,94	1,89
Toistokyky $u(\delta I_{rep})$	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Resoluutio $u(\delta I_{digO})$	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
Resoluutio $u(\delta I_{digL})$	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
Epäkeskeisyys $u(\delta I_{ecc})$	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,17
Hystereesi nollakuormalla $u(\delta I_0)$	0,12	0,14	0,15	0,17	0,19	0,23
Näyttämän epävarmuus $u(I)$	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,32
Käytetyt punnukset m_c	200000,07 99999,97	200000,07 99999,97 50000,09	200000,07 200000,02	200000,07 200000,02 50000,09	200000,07 200000,02 99999,97	200000,07 200000,02 99999,97 99999,85
Punnusten massa $u(m_c)$	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,08
Punnusten muuttuminen $u(\delta m_D)$	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,08
Ilman noste $u(\delta m_B) < \delta m_B$	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Referenssipunnusten epävarmuus $u(m_{ref})$	0,042	0,057	0,057	0,071	0,071	0,113
Virheen epävarmuus $u(E)$	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,34
k (95 %)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$U(E) = ku(E)$	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,68

On hyväksyttävää, että todistuksessa ilmoitetaan ainoastaan suurin laajennettu epävarmuus, $U(E) = 0,00068$ g kattavuuskerroin $k = 2,0$ ja toteamus, että kattavuus todennäköisyys on vähintään 95 % kaikille kuormille.

5. Kalibrointikäyrä ja sen epävarmuus

Mittauksista saatuihin virheisiin voidaan sovittaa polynomi.

Lineaarisoitus (ensimmäisen asteen polynomi): $E(l) = a_1 * l$

sovitus	painokerroin	a1	u(a1)	χ^2
1	$1/u^2(E_j)$	1,89E-7	2.2E-7	88
2	p'_j	9,64E-7	6.7E-7	7

$$p'_j = 1/[u^2(E_j) + \sum_j \frac{(a_1 l_j - E_j)^2}{n-1}]$$

Sovituksessa 1 on painokertoimina p_j käytetty virheiden standardiepävarmuuksia. Sovitukseen 2 on painokertoimeen lisätty kohdan 1 sovituksen ja virheiden erotuksesta tuleva lisäepävarmuus

Lineaarisoitus antaa huonon tuloksen, koska kalibrointikäyrä on epälineaarinen.

Polynomisoitus (kolmannen asteen polynomi): $E(l) = a_0 + a_1 * l + a_2 * l^2 + a_3 * l^3$

Sovitustulokset

a_0	a_1	a_2	a_3	χ^2
3.8440E-02	-5.9076E-03	-5.9076E-03	-1.4511E-10	7

Painokerroin on $1/u^2(E_j)$

Kolmannen asteen polynomisoitus antaa hyvän yhteensopivuuden.

6. Virheiden lisääminen epävarmuuteen

Kokonaisepävarmuus saadaan yhdistämällä virheet ja epävarmuus $U_{gr}(l) = U(l) + |E(l)|$

Oheessa oleva taulukko on laskettu kalibroinnin epävarmuuksilla. Siinä ei ole otettu huomioon muita epävarmuuksia, kuten taarauksesta tai virityksestä aiheutuvia lisäepävarmuuksia.

W (g)	U_{gl} (mg)
0	0,28
50	0,58
100	0,67
150	0,68
200	0,82
250	0,94
300	0,95
350	0,78
400	0,80
450	1,16
500	1,52
600	2,57

7. minimikuorma (ei liity kalibrointiin, tehdään jos asiakas haluaa)

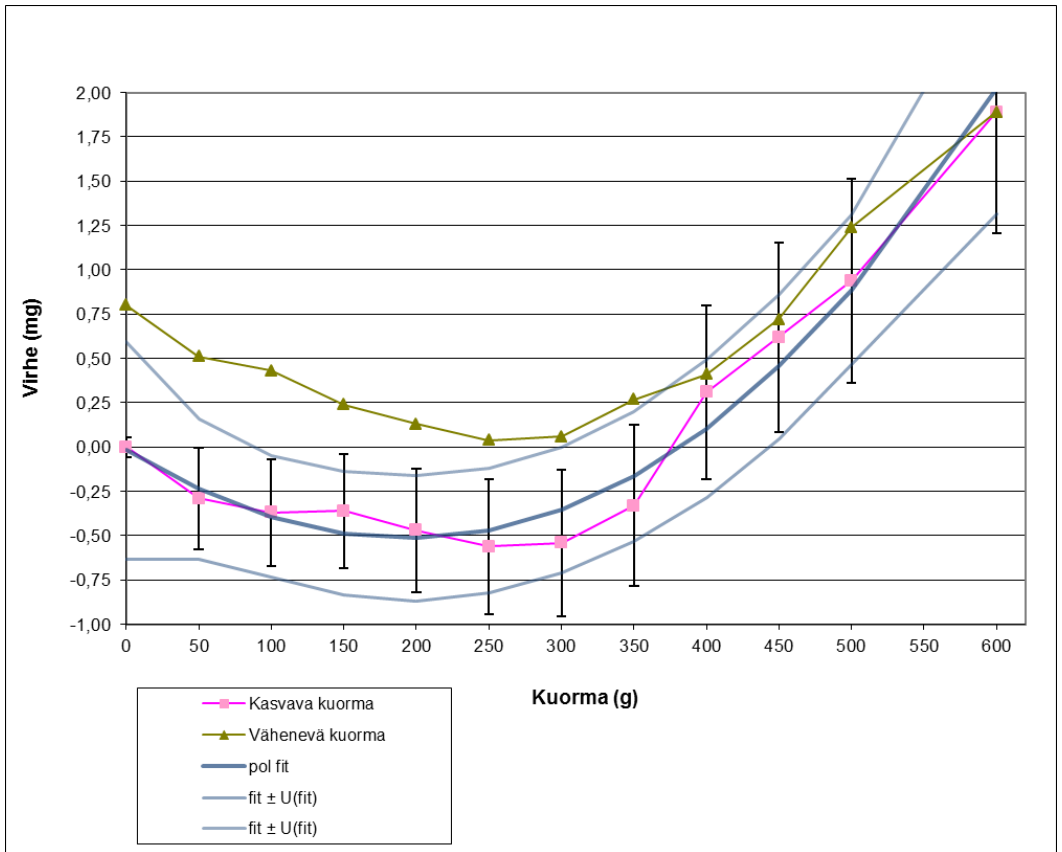
Minimikuorma lasketaan cg-18 liitteen G mukaisesti

kokonaisepävarmuus	$U_{gl}=\alpha+\beta*R$	0,28 mg + 9,4E-6*R
vaatimus (suhteellinen)	Req	0,001
varmuustekijä	SF	2
minimikuorma	$R_{min}=\alpha/(Req/SF-\beta)$	570 mg

Kokonaisepävarmuus on saatu kohdan 6 taulukosta.

8. Kalibrointitulokset kuvana

Polynomisovitus on kohdan 5 kolmannen asteen polynomi.



Kuva 6. Kalibroinnin tulokset. Neliöt ovat kasvavasta kuormauksesta laskettuja virheitä. Kuvaan on merkitty myös niiden epävarmuudet ($k=2$). Kolmiot ovat vastaavasti vähenevästä kuormauksesta laskettuja virheitä. Yhtenäinen sininen käyrä on kolmannen asteen polynomisovitus kasvavaan kuormaan ja vaaleammat käyrät ovat sovituksen epävarmuuksia.

VAAKAKALIBROINTIOHJE, LIITE 4

Minimipainon määrittäminen

Tämän liitteen tavoitteena on selventää minimipainokäsitettä ja sen käyttöä. Minimipainon määrittäminen ei kuulu vaa'an kalibroinnin normaaleihin käytäntöihin. Yleisesti minimipainon määrittämisellä pyritään selvittämään vaa'alla punnittavaa pienimmän massan arvoa, jonka tuloksen voidaan katsoa olevan luotettava. On kuitenkin muistettava, että minimipainon määrittäminen on vaa'alla mittaamista, jolloin ympäristöolosuhteiden vaikutus on merkittävä ja olosuhteet voivat vaikuttaa ratkaisevasti lopputuloksen luotettavuuteen. Tämän käyttö painottuu lähinnä laboratoriovaakoihin.

HUOMATUS: US Pharmacopeia ei enää käytä termiä "minimum weight" vaan käsite on "käytettävä punnitusalue", jonka avulla voidaan määrittää haluttu pienin punnittavan massan arvo.

1. Käytettävän punnitusalueen määrittäminen US Pharmacopeia, chapter 41 (entisen minimipainon määrittäminen)

Tämä minimipainon määrittäminen on ollut käytännössä eniten esillä. Se perustuu USA:n lääketeollisuuden laadunvalvonnan vaatimukseen (FDA). Yksinkertaistettuna tällä testillä haettiin vaa'an toistettavuuden suorituskykyä pienimmällä painolla siten, että toistuvuuden keskihajonta on alle tietyn prosenttiarvon punnittavasta massasta.

Nykyisin tämän vaatimuksen arvoja sekä terminologiaa on muutettu, sillä testillä haetaan vaa'an käyttökelpoista toiminta-aluetta mittaamalla vaa'an toistokkykyä ja samalla saadaan laskennallisesti myös pienin haluttu luotettavasti punnittavan massan arvo.

Nykyiset vaatimukset

Toistokyvyn toleranssi	0,1 %
Laajennuskerron	2
Toistokyvyn punnituskerrat	10
Hyväksymiskriteeri	$(2 \times \text{keskihajonta/massa}) \leq 0,10 \%$
Minimipainoarvon käytön pienin askelmäärä	820 d

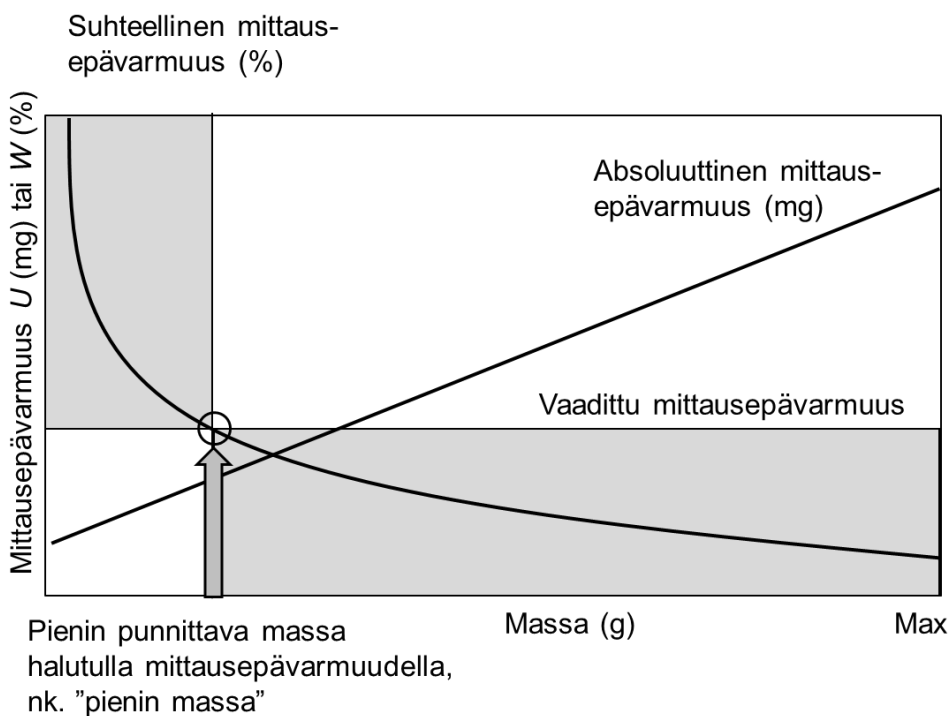
Määrittäminen uudistunut perusajatus on, että toistokyvyn määrittäminen voidaan tehdä millä tahansa massan arvolla, jolloin toistokyvyn oletetaan olevan vakio koko punnitusalueella.

2. Minimipainon määrittäminen liite G cg 18:ssa

cg 18:n liitteen G "minimum sample weight" perustuu siihen, että Euroopassa on haluttu käsitellä asiaa teoreettisesti oikealla perusteella. Ohjeessa on esitetty laskennalliset perusteet, joten niitä ei tässä toisteta. Kyse on siitä, että jokaiselle vaa'an kuormituspisteelle voidaan määrittää mittausepävarmuus. Valitsemalla kalibroitaessa haluttu pienin punnittava massa ensimmäiseksi kalibrointipisteeksi saadaan

tälle pisteelle mittausepävarmuus, jonka arvon tulee olla pienempi kuin käyttäjän asettama vaatimus ko. massan määrittelykselle.

Pienen massan määrittelyksen ongelma tulee selvemmin esille, kun mittausepävarmuutta tarkastellaan suhteellisenä arvona. Vaa'an punnitusalueen alapäässä mittausepävarmuuden osuus nousee prosentteihin ja jopa kymmeniin prosentteihin määritetyn massan arvosta, jolloin mittaustuloksen luotettavuus vastaavasti huononee. Lisäksi liitteessä G otetaan huomioon olosuhteet käytännön mittauksessa varmuuskertoimella SF (safety factor). Tämä on itse asiassa vastaava tekijä, jota on käsitelty tämän ohjeen kohdassa 3.2. Alla oleva kuva esittää asian kuvaajana. Käyttäjän tulee asettaa vaatimukset halutusta pienimmästä punnittavasta massasta ja siltä vaaditulta mittausepävarmuudesta.

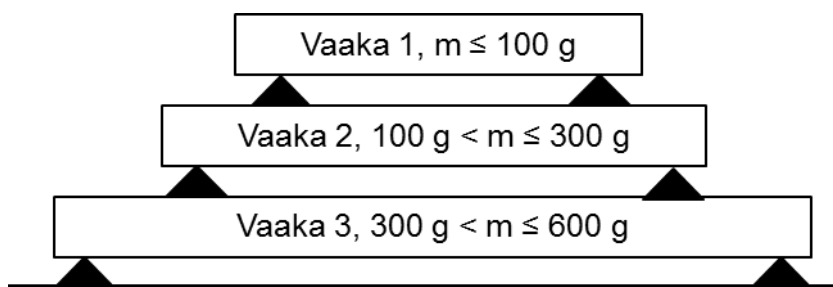


Kuva 7. Absoluuttisen ja suhteellisen mittausepävarmuuden sekä vaaditun mittausepävarmuuden kuvaajien käyttäytyminen vaa'alla.

Moniaskelvaa'an (moniaskelarvovaaka) virhekyrän määrittäminen

Moniaskelvaa'an virhekyrän määrittäminen, kun käytetään EN 45501:2015:n tai OIML R 76 mukaisia virherajoja.

Moniaskelvaa'an (OIML R 76, Terminologia; T.3.2.6) voidaan ajatella muodostuvan kolmesta erillisestä vaa'asta, joilla kullakin on oma mittausalue. Esimerkissä on vaaka, jonka suurin mittauskyky on 600 g ja sen näyttämän askelarvo on 5 mg. Tällä askelarvolla punnitaan massat arvoltaan $300 \text{ g} < m \leq 600 \text{ g}$. Kun punnittavan kappaleen massa on arvoltaan $100 \text{ g} < m \leq 300 \text{ g}$, vaa'an näyttämän askelarvo on 2 mg. Kun punnittava massa on $\leq 100 \text{ g}$, näyttämän askelarvo on 1 mg.



Kuva 8. Moniaskelarvovaa'an kuvitteellinen rakenne

Yksittäisen vaa'an virherajat määräytyvät R 76:ssa kohdan 3.5.1 taulukon 6 mukaan.

Ssv	Luokka I	Luokka II	Luokka III	Luokka IIII
$\pm 0,5 \text{ e}$	0...50 000 e	0...5 000 e	0...500 e	0...50 e
$\pm 1,0 \text{ e}$	50 000 e...200 000 e	5 000 e...20 000 e	500e...2 000 e	50e...200 e
$\pm 1,5 \text{ e}$	> 200 000 e	> 20 000 e	> 2 000 e	> 200 e

On huomattava, että virherajat on annettu askelarvoina ja askelmäärän suhteen. Absoluuttiset virherajat määräytyvät kunkin vaa'an askelarvon ja askelmäärän avulla, askelmäärä ($n = \text{MAX}/d$).

Kun virherajoja sovelletaan moniaskelarvovaa'alle, virherajana käytetään kunkin alueen virherajaa. Esimerkkivaa'an lähtötiedot, kutakin punnitusalueetta merkitään alaindeksillä 1,2...n.

Punnitusalue 1.

$\text{MAX}_1 = 100 \text{ g}$, $d_1 = 1 \text{ mg}$, josta $n = 100\ 000$ ($n = \text{MAX}_1/d_1 = 100 \text{ g} / 1 \text{ mg}$)

Punnitusalue 2.

$MAX_2 = 300 \text{ g}$, $d_2 = 2 \text{ mg}$, josta $n = 150\ 000$ ($n = MAX_2/d_2 = 300 \text{ g} / 2\text{mg}$)

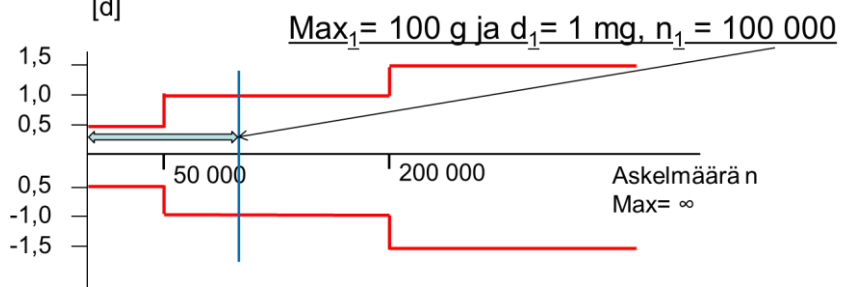
Punnitusalue 3.

$MAX_3 = 600 \text{ g}$, $d_3 = 5 \text{ mg}$, josta $n = 120\ 000$ ($n = MAX_3/d_3 = 600 \text{ g} / 5\text{mg}$)

Seuraavissa kuvissa virherajat on esitetty graafisesti, **ensin askelarvoon perustuvalla asteikolla** ja sitten sama **massaan perustuvalla asteikolla**

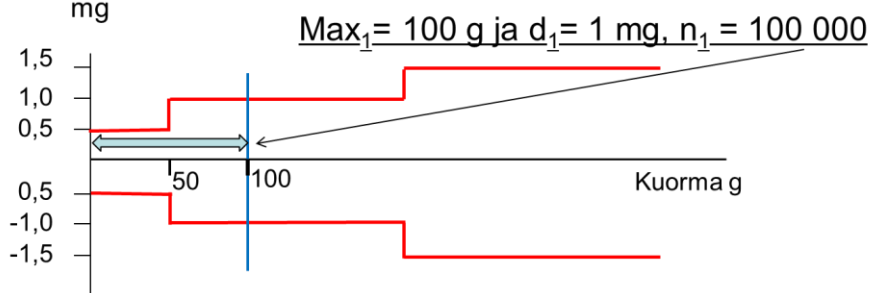
Ensimmäisen punnitusalueen virheikäyrä on esitetty kuvassa 9a, josta näkee, että käytettävä alue ulottuu askelmäärään 100 000.

Virheraja, askelarvona
[d]



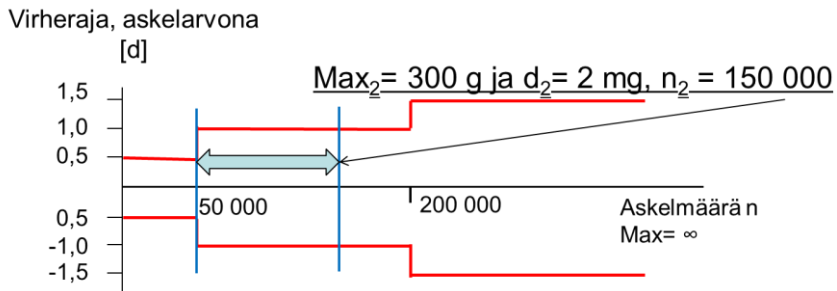
Kuva 9a. Ensimmäisen punnitusalueen virheikäyrä askelarvoon perustuvalla asteikolla

Virheraja
mg

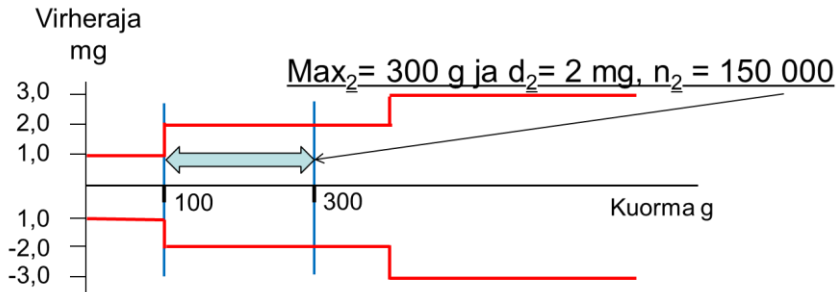


Kuva 9b. Ensimmäisen punnitusalueen virheikäyrä massaan perustuvalla asteikolla

Toisen punnitusalueen virheikäyrä ulottuu 30 g:aan saakka, mutta sen alku on 100 g:n kohdassa, johon ensimmäisen punnitusalueen virheraja päättyi. Se on kuvassa 50 000:n askelmäärän kohdalla.

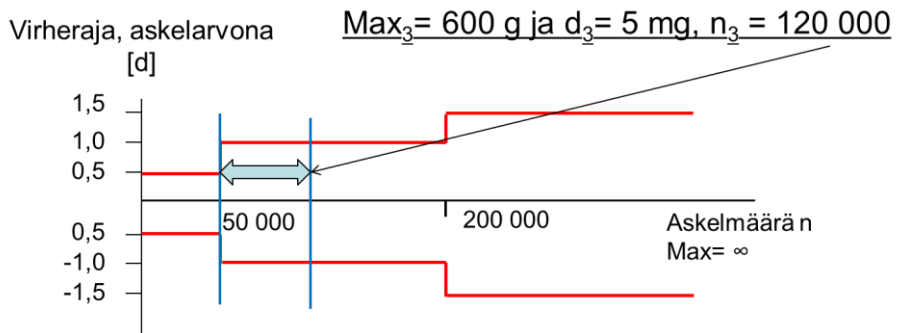


Kuva 10a. Toisen punnitusalueen virheikäyrä askelarvoon perustuvalla asteikolla

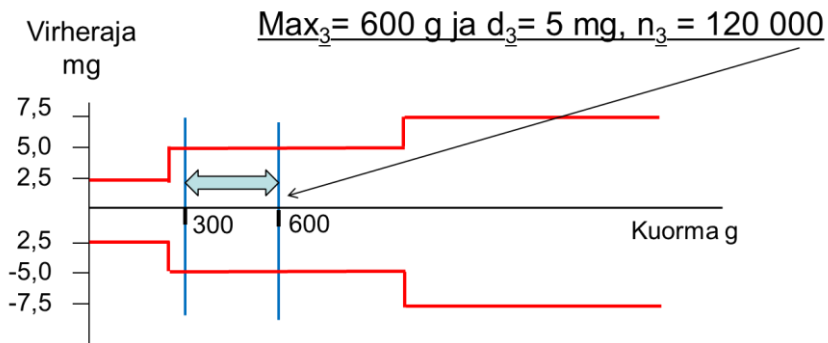


Kuva 10b. Toisen punnitusalueen virheikäyrä massaan perustuvalla asteikolla

Kolmannen punnitusalueen virheikäyrä ulottuu 600 g:an saakka, mutta sen alku on 300 g:n kohdassa, johon ensimmäisen punnitusalueen virheraja päättyi. Se on kuvassa 120 000:n askelmäärän kohdalla.

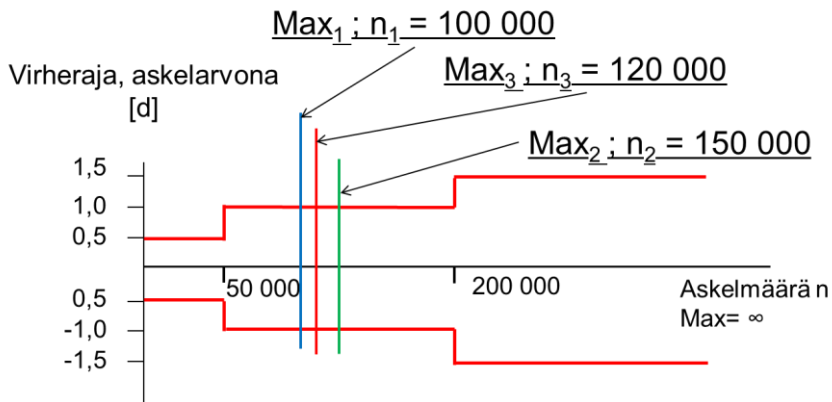


Kuva 11a. Kolmannen punnitusalueen virheikäyrä askelarvoon perustuvalla asteikolla



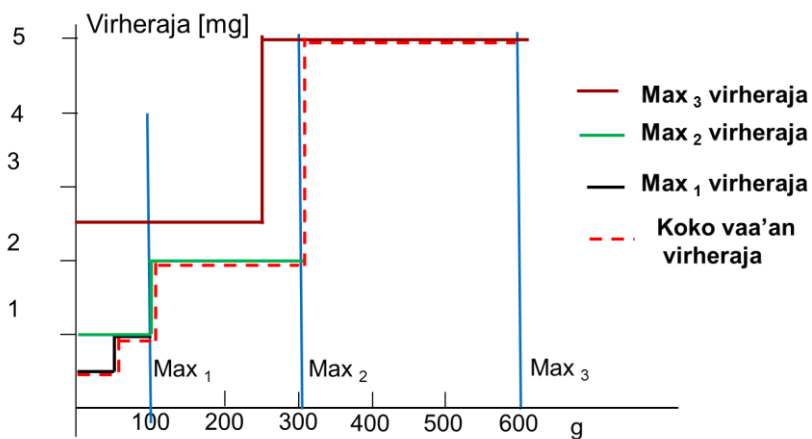
Kuva 11b. Kolmannen punnitusalueen virheikäyrä massaan perustuvalla asteikolla

Yhdistettäessä vaa'an virherajat askelarvoperusteiseen kuvaajaan huomataan, että se ei anna kovin selkeää kuvaa asiasta. Tämä johtuu virherajojen esitystavasta, jolla kaikkien vaa'ojen virherajat on helppo esittää askelarvon perusteella, mutta eri vaa'ojen vertailuun on käytettävä absoluuttista kuvaajaa.



Kuva 12a. Vaa'an eri punnitusalueiden kuvaajat askelarvoon perustuvalla asteikolla

Kun virherajat yhdistetään, saadaan seuraavanlainen virhekäyrä absoluuttiarvoina koko vaa'alle, kuva 12b.



Kuva 12b. OIML R76:n luokan I virherajat absoluuttisina. Esimerkkivaa'alle virheraja on esitetty vain positiiviselle puolelle, negatiivinen on peilikuva.

Nimeke	Vaakojen kalibrointiopas
Tekijä(t)	Aimo Pusa, Kari Riski & Maija Ojanen-Saloranta (Toim.)
Tiivistelmä	<p>Tämä julkaisu antaa perustietoja punnitsemisesta ja punnitusten varmentamisesta sekä ei-automaattisten vaakojen kalibroinnista. Julkaisu on tarkoitettu vaakojen kalibroijille, käyttäjille ja punnituksista vastaaville henkilöille. Se soveltuu ei-automaattisille vaaoille, mutta samoja periaatteita voidaan rajoitetusti soveltaa myös muille vaakatyypeille. Ohjeessa käsitellään kalibroinnin lisäksi myös muita punnitusten varmentamisen edellyttämiä toimenpiteitä. Lisäksi ohjeessa käsitellään punnitukseen vaikuttavia ympäristötekijöitä, punnusten käyttöä ja valintaa sekä vaakojen luokitusta. Ohjeessa on erillinen sanasto ja esimerkkejä vaakojen kalibrointitodistuksista. Ohje on yhdenmukainen Eurametin kalibrointiohjeen cg-18 v4.0 kanssa.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8508-3 (URL: http://www.vtt.fi/julkaisut) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkojulkaisu) http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8508-3
Julkaisu aika	Helmikuu 2017
Kieli	Suomi
Sivumäärä	50 s. + liitt. 30 s.
Projektin nimi	
Rahoittajat	
Avainsanat	Vaaka, kalibrointi, varmennus, lakisääteinen varmennus, punnus
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Vaakojen kalibrointiopas

Tämä julkaisu antaa perustietoja punnitsemisesta ja punnitusten varmentamisesta sekä ei-automaattisten vaakojen kalibroinnista. Julkaisu on tarkoitettu vaakojen kalibroijille, käyttäjille ja punnituksista vastaaville henkilöille. Se soveltuu ei-automaattisille vaa'oil, mutta samoja periaatteita voidaan rajoitetusti soveltaa myös muille vaakatyypeille. Ohjeessa käsitellään kalibroinnin lisäksi myös muita punnitusten varmentamisen edellyttämiä toimenpiteitä. Lisäksi ohjeessa käsitellään punnitukseen vaikuttavia ympäristötekijöitä, punnusten käyttöä ja valintaa sekä vaakojen luokitusta. Ohjeessa on erillinen sanasto ja esimerkkejä vaakojen kalibrointitodistuksista. Ohje on yhdenmukainen Eurametin kalibrointiohjeen cg-18 v4.0 kanssa.

ISBN 978-951-38-8508-3 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)
ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8508-3>