



Upute za umjeravanje neautomatskih vaga

EURAMET/cg-18/v.01

Prijašnja oznaka EA-10/18

Svrha

Ovaj je dokument izrađen kako bi se poboljšalo usklađivanje u mjerenju tlaka. On daje savjet umjernim laboratorijima za uspostavljanje praktičnih postupaka.

Ovaj dokument sadržava dva podrobna primjera procjene mjerne nesigurnosti.

Sastavljači

Ovaj je dokument izvorno je priredio Odbor 2 EA-a (Tehničke djelatnosti) na temelju nacrtu koji je izradila privremena radna skupina "Mehanička mjerenja". Ponovno ga je pregledao tehnički odbor EURAMET-a za masu i srodne veličine.

Službeni jezik

Verzija ove publikacije na engleskome jeziku smatra se točnom. Tajništvo EURAMET-a može dati odobrenje za prevođenje ovoga teksta na druge jezike pod određenim uvjetima koji su na raspolaganju za primjenu.

Pravo umnožavanja

Pravo umnožavanja ovog teksta zadržava EURAMET, e.V. 2007. Izvorno ga je objavio EA kao upute EA-10/17. Tekst se ne smije umnožavati radi preprodaje.

Upute

Ovaj dokument predstavlja praksu kojoj se daje prednost o tome kako bi se odgovarajuće odredbe norma o akreditaciji mogle primijeniti u kontekstu predmeta ovoga dokumenta. Preporučeni pristupi nisu obvezatni i služe kao upute umjernim laboratorijima. Unatoč tomu, ovaj je dokument izrađen kao sredstvo promicanja dosljednoga pristupa akreditaciji laboratorija.

Ne daje se nikakvo jamstvo ili upozorenje da će ovaj dokument ili podatci sadržani u njemu biti prikladni za bilo koju posebnu svrhu. EURAMET, autori ili bilo tko drugi uključen u izradbu ovoga dokumenta ne smije se ni u kojemu slučaju ni pod kojim uvjetima smatrati odgovornim za bilo kakvu pretrpljenu štetu, gubitak u poslovanju, prekid posla, gubitke poslovnih podataka ili drugi novčani gubitak nastao uporabom podataka sadržanih u tome dokumentu.

Dodatne obavijesti

Za dodatne obavijesti o ovoj publikaciji obratite se svom nacionalnom članu EURAMET-ova Tehničkog odbora za masu i srodne veličine (vidi: www.euramet.org).

Naslov izvornika:

EURAMET/cg-18/v.01

Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments

NAKLADNIK: *Državni zavod za mjeriteljstvo* • PREVEO: *Mirko Vuković* • LEKTORIRAO: *Luka Vukojević* •
PRIPREMA SLOGA: *LASERplus d.o.o., Zagreb, Mirela Mikić Muha* • *Zagreb, prosinca 2007.*

Prijevod EURAMET/cg-18/v.01 nije namijenjen za raspačavanje nego kao radni materijal isključivo za potrebe DZM-a.

Sadržaj

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Uvod | 3 |
| 2 | Područje primjene | 3 |
| 3 | Nazivlje i znakovi | 3 |
| 4 | Opći aspekti umjeravanja | 4 |
| | 4.1 Elementi umjeravanja | 4 |
| | 4.2 Ispitni teret i pokazivanje | 5 |
| | 4.3 Ispitni tereti | 8 |
| | 4.4 Pokazivanja | 9 |
| 5 | Mjerne metode | 10 |
| | 5.1 Ispitivanje ponovljivosti | 10 |
| | 5.2 Ispitivanje pogrješaka pokazivanja | 10 |
| | 5.3 Ispitivanje ekscentričnosti | 11 |
| | 5.4 Pomoćna mjerenja | 11 |
| 6 | Mjerni rezultati | 12 |
| | 6.1 Ponovljivost | 12 |
| | 6.2 Pogrješke pokazivanja | 12 |
| | 6.3 Djelovanje ekscentričnog opterećenja | 13 |
| 7 | Mjerna nesigurnost | 14 |
| | 7.1 Standardna nesigurnost za diskretne vrijednosti | 14 |
| | 7.2 Standardna nesigurnost za značajku | 19 |
| | 7.3 Povećana nesigurnost pri umjeravanju | 19 |
| | 7.4 Standardna nesigurnost rezultata vaganja | 19 |
| | 7.5 Povećana nesigurnost rezultata vaganja | 24 |
| 8 | Potvrda o umjeravanju | 25 |
| | 8.1 Opći podatci | 25 |
| | 8.2 Podatci o postupku umjeravanja | 26 |
| | 8.3 Mjerni rezultati | 26 |
| | 8.4 Dodatni podatci | 26 |
| 9 | Vrijednost mase ili dogovorena vrijednost mase | 27 |
| | 9.1 Vrijednost mase | 27 |
| | 9.2 Dogovorena vrijednost mase | 27 |
| 10 | Bibliografija | 28 |

DODATCI

(obavijesni)

| | | |
|----|---|----|
| | Dodatak A: Savjet za procjenu gustoće zraka | 29 |
| A1 | Formule za gustoću zraka | 29 |
| A2 | Varijacije parametara koji čine gustoću zraka | 30 |
| A3 | Nesigurnost gustoće zraka | 31 |

| | |
|---|----|
| Dodatak B: Faktor pokrivanja k za povećanu mjernu nesigurnost | 33 |
| B1 Cilj | 33 |
| B2 Temeljni uvjeti za primjenu faktora pokrivanja $k = 2$ | 33 |
| B3 Određivanje faktora pokrivanja k u drugim slučajevima | 33 |
| Dodatak C: Formule za opis pogrešaka pokazivanja | 35 |
| C1 Cilj | 35 |
| C2 Funkcionalni odnosi | 35 |
| C3 Članovi bez odnosa s očitajima | 38 |
| Dodatak D: Znakovi i nazivi | 40 |
| D1 Znakovi za opću primjenu | 40 |
| D2 Mjesto u tekstu važnih naziva i izraza | 42 |
| Dodatak E: Podatci o uzgonu zraka | 44 |
| E1 Gustoća etalonskog utega | 44 |
| E2 Primjeri za uzgon zraka općenito | 44 |
| E3 Uzgon zraka za utege koji su sukladni s preporukom R 111 | 45 |
| Dodatak F: Djelovanja konvekcije | 47 |
| F1 Odnos između temperature i vremena | 47 |
| F2 Prividna promjena mase | 49 |
| Dodatak G: Primjeri | 51 |
| G1 Vaga sposobnosti vaganja 200 g, podjeljak ljestvice 0,1 mg | 51 |
| G2 Vaga sposobnosti vaganja od 60 kg, s više podjeljaka | 54 |
| G3 Vaga sposobnosti vaganja 30 t, podjeljak ljestvice 10 kg | 59 |

1 Uvod

Neautomatske vage široko se upotrebljavaju za određivanje veličine mase tereta. Premda za određene primjene koje su specificirane nacionalnim zakonodavstvom one podliježu zakonskom mjeriteljskom nadzoru, tj. tipnome odobrenju, ovjeravanju itd., sve je veća potreba da se njihova mjeriteljska kakvoća potvrdi umjeravanjem, npr. kad se to zahtijeva prema normama ISO 9001 ili ISO/IEC 17025.

2 Područje primjene

Ovaj dokument sadržava upute za statičko umjeravanje neautomatskih vaga s vlastitim pokazivanjem (u daljnjemu tekstu: vage) posebno za:

1. provedbu mjerenja
2. izračun mjernih rezultata
3. određivanje mjerne nesigurnosti
4. sadržaj potvrda o umjeravanju.

Predmet je umjeravanja pokazivanje koje daje vaga kao odziv na primijenjeni teret. Rezultati se izražavaju u jedinicama mase. Na vrijednost tereta koji pokazuje vaga utjecat će mjesna sila teže, temperatura i gustoća tereta te temperatura i gustoća okolnog zraka.

Mjerna nesigurnost znatno ovisi o svojstvima same umjeravane vage, ne samo o opremi umjernog laboratorija; ona se u određenoj mjeri može sniziti povećanjem broja mjerenja koja se provode za umjeravanje. Ove upute ne specificiraju donju i gornju granicu mjerne nesigurnosti. Stvar je umjernog laboratorija i korisnika da se dogovori o anticipiranoj vrijednosti mjerne nesigurnosti koja je primjerena sa stajališta uporabe mjerila i sa stajališta troškova umjeravanja.

Premda nije namjera prikazati jedan ili više ujednačenih postupaka čija bi uporaba bila obvezatna, ovaj dokument daje opće upute za uspostavljanje postupaka umjeravanja čiji se rezultati mogu smatrati istovjetnima u organizacijama članicama EA-a.

Svaki takav postupak mora uključivati, za ograničen broj ispitnih opterećenja, određenje pogreške pokazivanja i mjerne nesigurnosti dodijeljene tim pogreškama. Ispitni postupak treba što je više moguće nalikovati radnjama na vaganju koje redovito obavlja korisnik, npr. vaganju diskretnih tereta, neprekidnom vaganju povećavanjem i/ili smanjivanjem tereta, uporabi funkcije uravnoteženja tare.

Taj postupak nadalje može uključivati pravila o tome kako iz rezultata izvesti savjet za korisnika vage koji se odnosi na pogreške i dodijeljenu mjernu nesigurnost pokazivanja koje se mogu pojaviti u normalnim uvjetima uporabe mjerila i/ili pravila o tome kako pretvoriti pokazivanja dobivena vaganjem u vrijednost mase ili dogovorenu vrijednost mase toga predmeta.

Podatci prikazani u ovim uputama namijenjeni su:

1. tijelima koja akreditiraju laboratorije za umjeravanje vaga
2. laboratorijima akreditiranim za umjeravanje neautomatskih vaga
3. ispitnim kućama, laboratorijima ili proizvođačima koji upotrebljavaju neautomatske vage za mjerenja koja su bitna za kakvoću proizvodnje koja podliježu zahtjevima upravljanja kakvoćom (npr. niz norma ISO 9000, ISO 10012, ISO/IEC 17025)

i oni ih se trebaju pridržavati.

U dodatku D2. dan je sažet prikaz glavnih naziva i jednačaba koje se upotrebljavaju u ovome dokumentu.

3 Nazivlje i znakovi

Nazivlje koje se upotrebljava u ovome dokumentu uglavnom se temelji na postojećim dokumentima:

- EA-4/02 [2], za nazive koji se odnose na određivanje rezultata i mjerne nesigurnosti
- OIML R 111 [3], za nazive koji se odnose na etalonske utege
- EN 45501 [4], za nazive koji se odnose na konstrukciju i mjeriteljske značajke neautomatskih vaga

Napomena: Nazivi u normi EN 45501 istovjetni su nazivima u preporuci OIML R 76 [6].

- VIM [10], za nazive koji se odnose na umjeravanje.

Takvi se nazivi ne objašnjavaju u ovome dokumentu, ali gdje se pojavljuju prvi put, naznačit će se uputnice.

Za znakove čije značenje nije samo po sebi jasno dat će se objašnjenja gdje se prvi put upotrijebe. Oni koji se upotrebljavaju u više odsječaka sabrani su u dodatku D1.

4 Opći aspekti umjeravanja

4.1 Elementi umjeravanja

Umjeravanje se sastoji od:

1. primjene ispitnih tereta na vagu pod specificiranim uvjetima
2. određivanja pogreške ili promjene pokazivanja i
3. procjene mjerne nesigurnosti koju treba pripisati rezultatima.

4.1.1 Područje umjeravanja

Ako korisnik ne zahtijeva drukčije, umjeravanje se proteže na cijelo područje vaganja [4], od ništice do najveće mjerne sposobnosti *Max*. Korisnik može specificirati određeni dio područja vaganja ograničen najmanjim teretom *Min*' i najvećim teretom *Max*' koji treba vagati, ili pojedinačnim nazivnim teretima za koje se zahtijeva umjeravanje.

Za vage s više mjernih područja [4] korisnik treba utvrditi koje područje (koja područja) treba umjeriti. Prethodni se stavak primjenjuje na svako područje zasebno.

4.1.2 Mjesto umjeravanja

Umjeravanje se normalno provodi na mjestu gdje se vaga upotrebljava.

Ako se vaga nakon umjeravanja premjesti na drugo mjesto, moguća će djelovanja zbog:

1. razlike u mjesnome ubrzanju sile teže
2. promjene uvjeta okoliša
3. mehaničkih i toplinskih uvjeta tijekom prijevoza

vjerojatno promijeniti mjeriteljske značajke vage te mogu umjeravanje učiniti nevaljanim. Prema tomu premještanje vage nakon umjeravanja treba izbjegavati, osim ako nije jasno dokazana neosjetljivost posebne vage ili tipa vage na ta djelovanja. Kad to nije dokazano, potvrda o umjeravanju ne smije se prihvatiti kao dokaz sljedivosti.

4.1.3 Preuvjeti, pripreme

Umjeravanje se može provoditi samo:

1. ako se vaga može lako identificirati
2. ako ni na jednu funkciju vage ne utječu djelovanja onečišćenja ili oštećenja i ako funkcije koje su bitne za umjeravanje rade kako je predviđeno
3. ako je prikaz vrijednosti vaganja jednoznačan, a pokazivanja, kad su dana, lako čitljiva
4. ako su normalni uvjeti uporabe (struja zraka, vibracija, stabilnost mjesta vaganja itd.) prikladni za vagu koja se umjerava
5. ako se vaga prije umjeravanja odgovarajuće vrijeme nalazi pod naponom, npr. u vremenu specificiranu za zagrijavanje vage ili kako je odredio korisnik
6. ako je vaga postavljena, po potrebi, u vodoravni položaj
7. ako je barem jednom vaga provjerena odgovarajućim opterećenjem do najvećega ispitnog tereta, preporučuje se opetovano opterećenje.

Vage za koje je predviđeno redovito ugađanje prije uporabe trebaju se prije umjeravanja ugoditi, osim ako nije drukčije dogovoreno s korisnikom. Ugađanje treba provoditi sredstvima koja korisnik normalno primjenjuje te primjenjivati upute proizvođača kad su dostupne.

Ako je to bitno za rezultate umjeravanja, treba dati napomenu o statusu namještanja programske podrške koju mijenjaju korisnici.

Vage opskrbljene uređajem za namještanje ništice ili uređajem za praćenje ništice [4] trebaju se umjeravati tim uređajem u radu ili kad je isključen, kako je odredio korisnik.

Za terensko umjeravanje od korisnika se vage zahtijeva da osigura da tijekom umjeravanja prevladavaju normalni uvjeti uporabe. Na taj će način djelovanja smetnja kao što su zračne struje, vibracije ili nagibi mjerne platforme biti što je moguće više svojstvena mjernim vrijednostima, te će prema tomu biti uključeni u određenu mjernu nesigurnost.

4.2 Ispitni teret i pokazivanje

4.2.1 Temeljni odnos između tereta i pokazivanja

Pokazivanje vage općenito je razmjerno sili kojom predmet mase m djeluje na prijamnik tereta:

$$I \sim mg(1 - \rho_a / \rho) \quad (4.2.1-1)$$

gdje je:

- g mjesno ubrzanje sile teže
- ρ_a gustoća zraka u okolišu
- ρ gustoća predmeta.

Članovi u zagradama predstavljaju smanjenje sile zbog uzgona zraka na predmet.

4.2.2 Djelovanje uzgona

Tehnička je praksa da se za ugađanje i/ili umjeravanje vage upotrebljavaju etalonski utezi koji su umjereni prema dogovorenoj vrijednosti mase m_c ¹⁾. Ugađanje se provodi tako da se u faktor ugađanja uključi djelovanje ubrzanja sile teže g i stvarni uzgon na etalonski uteg m_{cs} . Prema tomu u trenutku ugađanja pokazivanje I_s jednako je:

$$I_s = m_{cs} \quad (4.2.2-1)$$

To se ugađanje naravno provodi pod uvjetima koje karakteriziraju stvarne vrijednosti $g_s, \rho_s \neq \rho_c$ i $\rho_{as} \neq \rho_0$ koje su označene indeksom "s" i valjano je samo pod tim uvjetima. Za drugo tijelo s $\rho \neq \rho_s$, koje se vaga na istoj vagi, ali pod drugim uvjetima: $g \neq g_s$ i $\rho_a \neq \rho_{as}$ pokazivanje je općenito (zanemarujući članove 2. i višeg reda) jednako:

$$I = m_c(g/g_s) \{ 1 - (\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_s) - (\rho_a - \rho_{as}) / \rho_s \} \quad (4.2.2-3)$$

Kad se vaga ne premješta, nema promjena ubrzanja sile teže g , tako da se uzima da je $g/g_s = 1$. To se pretpostavlja u nastavku.

Ta se formula dodatno pojednostavnjuje u situacijama kad su neke od vrijednosti gustoće iste:

a) kad se tijelo važe pri referentnoj gustoći zraka: $\rho_a = \rho_0$, tada je:

$$I = m_c \{ 1 - (\rho_0 - \rho_{as}) / \rho_s \} \quad (4.2.2-4)$$

b) kad se važu tijela čija je gustoća jednaka gustoći utega za ugađanje:

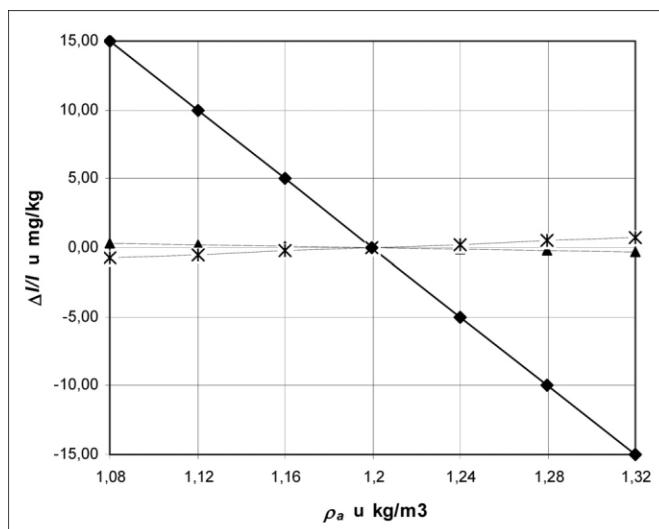
$\rho = \rho_s$, tada je ponovno (kao u slučaju a):

$$I = m_c \{ 1 - (\rho_a - \rho_{as}) / \rho_s \} \quad (4.2.2-5)$$

1) Dogovorena vrijednost mase m_c tijela definirana je u [3] kao brojčana vrijednost mase m utega referentne gustoće $\rho_c = 8000 \text{ kg/m}^3$ koji uravnotežuje to tijelo na $20 \text{ }^\circ\text{C}$ u zraku gustoće ρ_0 :

$$m_c = m \{ (1 - \rho_0/\rho) / (1 - \rho_0/\rho_c) \} \quad (4.2.2-2)$$

s $\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$ = referentna vrijednost gustoće zraka.



Slika 4.2-1: Promjena pokazivanja zbog uzgona zraka

c) kad se važu tijela čija je gustoća jednaka gustoći u vrijeme ugađanja:

$\rho_a = \rho_{as}$, tada je:

$$I = m_c \{ 1 - (\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_s) \} \quad (4.2.2-6)$$

Slika 4.2-1 prikazuje primjere za veličinu relativnih promjena $\Delta I/I_s = (I - I_s)/I_s$ za vagu koja se ugađa etalonskim utezima gustoće $\rho_s = \rho_c$, kad su umjereni etalonskim utezima različite, ali tipične gustoće.

Linija 1. valjana je za tijelo s $\rho = 7810 \text{ kg/m}^3$ koje se važe pri $\rho_a = \rho_{as}$

Linija 2. valjana je za tijelo s $\rho = 8400 \text{ kg/m}^3$ koje se važe pri $\rho_a = \rho_{as}$

Linija 3. valjana je za tijelo s $\rho = \rho_s = \rho_c$ nakon ugađanja pri $\rho_{as} = \rho_0$.

Očito je da pod tim uvjetima promjene gustoće zraka imaju daleko veće djelovanje od promjena gustoće tijela.

Dodatni podatci o gustoći zraka daju se u dodatku A, a podatci o uzgonu zraka koji se odnose na etalonske utege u dodatku E.

4.2.3 Djelovanje konvekcije

Kad su utezi prevezeni na mjesto umjeravanja, ne moraju imati istu temperaturu kao vaga i njezin okoliš. U tome slučaju treba voditi brigu o dvije pojave:

Da se početna razlika temperature ΔT_0 može sniziti na manju vrijednost ΔT aklimatizacijom u vremenu Δt ; to se događa brže za manje nego za veće utege.

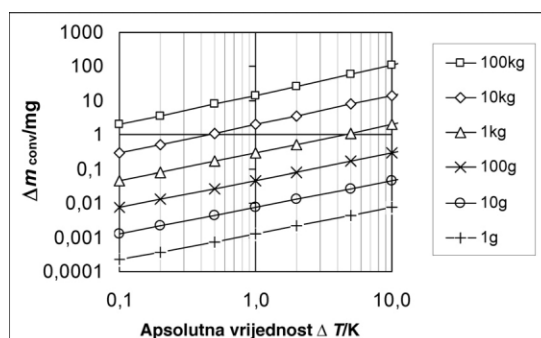
Kad se uteg stavi na prijamnik tereta, stvarna će razlika temperature ΔT izazvati tijek zraka oko utega, što dovodi do parazitskih sila koje izazivaju prividnu promjenu Δm_{conv} njegove mase. Predznak prividne promjene mase Δm_{conv} normalno je suprotan predznaku ΔT , njezina je vrijednost veća za veće nego za manje utege.

Odnosi između bilo koje dvije spomenute veličine: ΔT_0 , Δt , ΔT , m i Δm_{conv} nelinearni su i mogu ovisiti o uvjetima izmjene topline između utega i njihova okoliša (vidi [8]).

Slika 4.2-2 daje utisak o veličini prividne promjene mase u odnosu na razliku temperature za neke odabrane vrijednosti utega.

To bi djelovanje trebalo uzeti u obzir tako da se pusti da se utezi prilagode u mjeri da preostala promjena mase Δm_{conv} bude zanemariva sa stajališta nesigurnosti umjeravanja koju zahtijeva korisnik ili da se u bilanci nesigurnosti uzmu u obzir moguće promjene pokazivanja. Taj učinak može biti znatan za utege veće točnosti, npr. utege razreda E₂ ili F₁ iz preporuke R 111 [3].

Više podataka dano je u dodatku F.



Slika 4.2-2: Djelovanje konvekcije

4.2.4 Referentna vrijednost mase

Opće relacije (4.2.2-3) do (4.2.2-6) također se primjenjuju kad je "tijelo koje se važe" etalonski uteg koji se upotrebljava za umjeravanje.

Kako bi se odredile pogreške pokazivanja vage, primjenjuju se etalonski utezi poznate dogovorene vrijednosti mase m_{cCal} . Njihova se gustoća ρ_{cCal} normalno razlikuje od referentne vrijednosti gustoće ρ_{c} , a gustoća zraka ρ_{aCal} u vrijeme njihova umjeravanja normalno se razlikuje od gustoće ρ_0 .

Pogreška E pokazivanja jednaka je:

$$E = I - m_{\text{ref}} \quad (4.2.4-1)$$

gdje je m_{ref} dogovorena istinita vrijednost mase, koja će se u nastavku nazivati referentnom vrijednošću mase. Zbog djelovanja uzgona zraka, konvekcije, klizenja i drugih djelovanja koja mogu dovesti do manjih članova ispravka δm_x , masa m_{ref} nije točno jednaka m_{cCal} :

$$m_{\text{ref}} = m_{\text{cCal}} + \delta m_{\text{B}} + \delta m_{\text{conv}} + \delta m_{\text{D}} + \delta m \dots \quad (4.2.4-2)$$

Na ispravak zbog uzgona zraka δm_{B} utječu vrijednosti gustoće ρ_{s} i ρ_{as} koje su valjane za ugađanje, ali su normalno nepoznate. Pretpostavlja se da su upotrijebljeni utezi referentne gustoće $\rho_{\text{s}} = \rho_{\text{c}}$. Opći izraz za ispravak tada je dan formulom (4.2.2-3):

$$\delta m_{\text{B}} = -m_{\text{cCal}} \{ (\rho_{\text{aCal}} - \rho_0)(1/\rho_{\text{cCal}} - 1/\rho_{\text{c}}) + (\rho_{\text{aCal}} - \rho_{\text{as}})/\rho_{\text{c}} \} \quad (4.2.4-3)$$

Za gustoću zraka ρ_{as} razmatraju se dvije situacije:

A Vaga je ugođena neposredno prije umjeravanja, tako da je $\rho_{\text{as}} = \rho_{\text{aCal}}$. Time se formula (4.2.4-3) pojednostavnjuje na:

$$\delta m_{\text{B}} = -m_{\text{cCal}}(\rho_{\text{aCal}} - \rho_0)(1/\rho_{\text{cCal}} - 1/\rho_{\text{c}}) \quad (4.2.4-4)$$

B Vaga je ugođena neovisno o umjeravanju pri nepoznatoj gustoći zraka ρ_{as} koja se treba razumno pretpostaviti.

B1 Za umjeravanja na terenu može se očekivati da je gustoća ρ_{as} slična gustoći ρ_{aCal} , s mogućom razlikom $\delta\rho_{\text{as}} = \rho_{\text{aCal}} - \rho_{\text{as}}$. Formula (4.2.4-3) tada se preinačuje u formulu:

$$\delta m_{\text{B}} = -m_{\text{cCal}} \{ (\rho_{\text{aCal}} - \rho_0)(1/\rho_{\text{cCal}} - 1/\rho_{\text{c}}) + \delta\rho_{\text{as}}/\rho_{\text{c}} \} \quad (4.2.4-5)$$

B2 Da se može jednostavno izravno pretpostaviti da je $\rho_{\text{as}} = \rho_0$, tada je

$$\delta m_{\text{B}} = -m_{\text{cCal}}(\rho_{\text{aCal}} - \rho_0)/\rho_{\text{cCal}} \quad (4.2.4-6)$$

Za dodatne podatke vidi također dodatke A i E.

Drugi članovi ispravka obrađuju se u točki 7.

Indeks "Cal" odsad će se izostavljati, osim kad je nuždan kako bi se izbjegla zabuna.

4.3 Ispitni tereti

Ispitni tereti trebaju se po mogućnosti sastojati od etalonskih utega koji su sljedivi prema SI jedinici mase. Mogu se međutim upotrebljavati i drugi ispitni tereti za ispitivanja usporedive naravi, npr. ispitivanja s ekscentričnim opterećenjem, ispitivanja ponovljivosti ili za puko opterećenje vage, npr. predopterećenje, teret tare koji treba uravnotežiti ili zamjenski teret.

4.3.1 Etalonski utezi

Sljedivost utega koji se upotrebljavaju kao etalonski mora se postići umjeravanjem²⁾ koje se sastoji od:

1. određivanja stvarne dogovorene vrijednosti mase m_c i/ili ispravka δm_c na njezinu nazivnu vrijednost m_N : $\delta m_c = m_c - m_N$, zajedno s povećanom nesigurnošću umjeravanja U_{95} ili
2. potvrđivanja da se masa m_c nalazi u granicama najvećih specificiranih dopuštenih pogriješaka mpe : $m_N - (mpe - U_{95})$, $m_N + (mpe - U_{95})$.

Etaloni nadalje trebaju zadovoljavati sljedeće zahtjeve u mjeri u kojoj je to prikladno sa stajališta njihove točnosti:

3. gustoća ρ_s treba biti dostatno bliska $\rho_c = 8000 \text{ kg/m}^3$
4. površinska obradba treba biti prikladna za sprečavanje promjene mase zbog prljavštine ili naslaga
5. magnetska svojstva trebaju biti takva da djelovanje na vagu koja se umjerava bude svedeno na najmanju mjeru.

Sve te zahtjeve zadovoljavaju utezi koji zadovoljavaju odgovarajuće specifikacije iz međunarodne preporuke OIML R 111 [3].

Najveće dopuštene pogriješke ili nesigurnosti umjeravanja etalonskih utega moraju biti sukladne s odsječkom ljestvice d [4] vage i/ili potrebama korisnika s obzirom na nesigurnost umjeravanja njegove vage.

4.3.2 Drugi ispitni utezi

Za određene primjene spomenute u drugoj rečenici podtočke 4.3 nije bitno da dogovorena vrijednost mase ispitnog utega bude poznata. U tim se slučajevima mogu osim etalonskih utega upotrebljavati i drugi tereti, pri čemu treba voditi računa:

1. da oblik, gradivo i sastav omogućuju lako rukovanje
2. da oblik, gradivo i sastav omogućuju lako određivanje položaja težišta
3. da njihova masa mora ostati stalna u cijelome razdoblju njihove uporabe za umjeravanje
4. da se njihovu gustoću može lako odrediti
5. da se za terete niske gustoće (npr. spremnici punjeni pijeskom ili šljunkom) može zahtijevati posebna pozornost s obzirom na uzgon zraka. Može biti potrebno nadzirati temperaturu i barometarski tlak u cijelome razdoblju uporabe tereta za umjeravanje.

4.3.3 Uporaba zamjenskih tereta

Ispitni teret čija je dogovorena vrijednost mase bitna treba se u cijelosti sastojati od etalonskih utega. Međutim gdje to nije moguće, može se kao zamjena upotrijebiti bilo koji drugi teret koji zadovoljava podtočku 4.3.2. Vaga koja se umjerava upotrebljava se kao komparator za ugađanje zamjenskoga tereta L_{sub} koji odgovara teretu L_{st} koji se sastoji od etalonskih utega.

Prvi ispitni teret L_{T1} koji se sastoji do etalonskih utega m_{c1} označuje se kao:

$$I(L_{T1}) = I(m_{c1}) \quad (4.3.3-1)$$

2) ILAC-P 10-2002, br. 2(b): Sljedivost se mora izvesti kad je to moguće, ... "iz umjernog laboratorija koji može dokazati mjerodavnost, mjernu sposobnost i sljedivost s odgovarajućom mjernom nesigurnošću, npr. akreditirani umjerni laboratorij ..." i Napomena 3.: ILAC priznaje da u nekim gospodarstvima umjeravanja obavljaju vlasti koje provode ovjeravanja u okviru zakonskog mjeriteljstva koje je prihvaćeno u okviru njihovih gospodarstva.

Nakon uklanjanja tereta L_{St} stavlja se zamjenski teret L_{sub1} i ugađa kako bi se dobilo približno isto pokazivanje:

$$I(L_{sub1}) \approx I(m_{c1}) \quad (4.3.3-2)$$

tako da je

$$L_{sub1} = m_{c1} + I(L_{sub1}) - I(m_{c1}) = m_{c1} + \Delta I_1 \quad (4.3.3-3)$$

Idući ispitni teret L_{T2} sastavlja se dodavanjem mase m_{c1}

$$L_{T2} = L_{sub1} + m_{c1} = 2m_{c1} + \Delta I_1 \quad (4.3.3-4)$$

Masa m_{c1} ponovno se zamjenjuje teretom $\approx L_{sub1}$ s ugađanjem na $\approx I(L_{T2})$.

Postupak se može opetovati kako bi se dobili ispitni tereti L_{T3}, \dots, L_{Tn} :

$$L_{Tn} = nm_{c1} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1} \quad (4.3.3-5)$$

Vrijednost tereta L_{Tn} uzima se kao dogovorena vrijednost mase m_c ispitnoga tereta.

Međutim sa svakim korakom zamjene znatno se povećava nesigurnost ukupnoga ispitnog tereta, više nego kad bi se sastojao samo od etalonskih utega, zbog djelovanja ponovljivosti i razlučivanja vage (vidi također podtočku 7.1.2.6).³⁾

4.4 Pokazivanja

4.4.1 Općenito

Svako pokazivanje I koje se odnosi na ispitni teret u osnovi je razlika pokazivanja I_L s teretom i pokazivanja I_0 bez tereta:

$$I = I_L - I_0 \quad (4.4.1-1)$$

Preporučuje se da se za svako ispitno mjerenje zabilježi pokazivanje bez tereta zajedno s pokazivanjima tereta. Međutim bilježenje pokazivanja bez tereta može biti suvišno kad ispitni postupak zahtijeva namještanje ništice kojega pokazivanja bez tereta koje samo nije jednako ništici prije nego što se primijeni ispitni teret.

Za neki ispitni teret, uključujući stanje bez tereta, pokazivanje I vage očitava se i bilježi samo kad se može smatrati da je stabilno. Gdje visoko razlučivanje vage ili uvjeti okoliša na mjestu umjeravanja onemogućuju stabilna pokazivanja, treba zabilježiti prosječnu vrijednost zajedno s podacima o opažanoj promjenjivosti (npr. rasipanje vrijednosti, neusmjereno klizenje).

Tijekom ispitivanja za umjeravanja treba bilježiti izvorna pokazivanja, a ne pogriješke ili promjene pokazivanja.

4.4.2 Razlučivanje

Pokazivanja se normalno dobivaju kao cjelobrojni višekratnici podjeljka ljestvice d .

Na temelju slobodne prosudbe umjernog laboratorija uz suglasnost korisnika, mogu se primijeniti sredstva za dobivanje pokazivanja s većim razlučivanjem od d , npr. gdje se provjerava sukladnost sa specifikacijom i gdje je poželjna najmanja nesigurnost. Takva sredstva mogu biti:

1. prebacivanje pokaznog uređaja na manji podjeljak ljestvice $d_T < d$ (servisni način)
U tome se slučaju pokazivanje I_x dobiva kao cjelobrojni višekratnik podjeljka d_T .
2. primjena malenih dodatnih ispitnih utega u koracima $d_T = d/5$ ili $d/10$ kako bi se preciznije odredio teret u kojemu se pokazivanje mijenja nedvojbeno od I' do $I' + d$ (metoda promjene točke). U tome se slučaju pokazivanje I' bilježi zajedno s iznosom ΔL od n dodatnih manjih ispitnih utega nužnih za povećanje I' za jedan d .
Pokazivanje I_L jednako je:

$$I_L = I' + d/2 - \Delta L = I' + d/2 - nd_T \quad (4.4.2-1)$$

Kad se primjenjuje metoda promjene točke, savjetuje se da se primjenjuje za pokazivanja u ništici i kad se ona bilježe.

3) Primjer: Za vagu s $Max = 5000$ kg, $d = 1$ kg, standardna nesigurnost etalonskih utega od 5 t može biti 200 g, dok će standardna nesigurnost ispitnog utega koji se sastoji od etalonskih utega od 1 t i zamjenskoga tereta od 4 t biti oko 2 kg.

5 Mjerne metode

Ispitivanja se normalno provode za određivanje:

- ponovljivosti pokazivanja
- pogrješaka pokazivanja
- djelovanja ekscentrične promjene tereta na pokazivanje.

Kad umjerni laboratorij odlučuje o broju mjerenja za svoj svakodnevni postupak umjeravanja, treba uzeti u obzir da se općenito većim brojem mjerenja smanjuje mjerna nesigurnost, ali se povećaju troškovi.

Pojedinosti o ispitivanjima koja se provode za pojedinačno umjeravanje mogu se utvrditi dogovorom korisnika i umjernog laboratorija s obzirom na normalnu uporabu vage. Te se strane mogu dogovoriti o dodatnim ispitivanjima ili provjerama koje mogu pomoći u ocjeni ponašanja vage pod posebnim uvjetima uporabe. Svaki takav dogovor treba biti usklađen s najmanjim brojevima ispitivanja kako su specificirana u sljedećim točkama.

5.1 Ispitivanje ponovljivosti

Ispitivanje se sastoji od opetovanih polaganja istoga tereta na prijamnik tereta pod što je više moguće istovjetnim uvjetima rukovanja teretom, vagom i stalnim ispitnim uvjetima.

Ispitne terete ne treba umjeravati ni ovjeravati, osim ako rezultati ne služe za određivanje pogrješaka pokazivanja kao prema podtočki 5.2. Ispitni se teret treba koliko je to moguće sastojati od jednoga tijela.

Ispitivanje se provodi barem jednim ispitnim teretom L_T koji treba odabrati u razumnome odnosu s najvećom sposobnošću vaganja Max i razlučivanjem vage kako bi se omogućila ocjena njezinih značajka. Za vage sa stalnim podjeljkom ljestvice d uobičajeno je opterećenje od $0,5Max \leq L_T \leq Max$; ono je često niže za vage za koje bi $L_T > 0,5Max$ iznosilo nekoliko 1000 kg. Za vage s više podjeljaka [4] može se dati prednost teretu blisku Max_1 . Kad je to opravdano sa stajališta posebne primjene vage, strane mogu dogovoriti posebnu vrijednost za ispitni teret L_T .

Ispitivanje se može provoditi u više ispitnih točaka s teretom L_{Tj} , $1 \leq j \leq k_L$, gdje je k_L = broj ispitnih točaka.

Prije ispitivanja pokazivanje se namješta u ništicu. Teret se primjenjuje barem pet puta, a barem tri puta kad je $L_T \geq 100$ kg.

Za svako se polaganje tereta bilježe pokazivanja I_{Lj} . Nakon svakog uklanjanja tereta treba barem provjeriti je li pokazivanje u ništicu, a ako nije, ono se može vratiti na ništicu; preporučuje se bilježenje pokazivanja I_{0i} bez tereta kao prema podtočki 4.4.1. Osim toga bilježi se status uređaja za namještanje ništice ako on postoji.

5.2 Ispitivanje pogrješaka pokazivanja

To se ispitivanje provodi s $k_L \geq 5$ različitih ispitnih tereta L_{Tj} , $1 \leq j \leq k_L$, ravnomjerno raspodijeljenih u normalnome području vaganja⁴⁾ ili u pojedinačnim ispitnim točkama dogovorenim kao prema podtočki 4.1.2.

Svrha je toga ispitivanja ocjena značajka vage u cijelome području vaganja.

Kad je dogovoreno znatno uže područje umjeravanja, u skladu s tim se može smanjiti broj ispitnih tereta pod uvjetom da postoje barem tri ispitne točke uključujući Min' i Max' i da razlika između dvaju uzastopnih ispitnih tereta nije veća od $0,15Max$.

Ispitni se tereti trebaju sastojati od odgovarajućih etalonskih utega ili zamjenskih tereta kao prema podtočki 4.3.3.

4) Primjeri za ciljne vrijednosti:

$k_L = 5$: ništica ili Min ; $0,25Max$; $0,5Max$; $0,75Max$; Max . Stvarni ispitni tereti mogu odstupati od ciljne vrijednosti do $0,1Max$ pod uvjetom da razlika između uzastopnih ispitnih tereta bude jednaka barem $0,2Max$.

$k_L = 11$: ništica ili Min ; 10 koraka $0,1Max$ pa sve do Max . Stvarni ispitni tereti mogu odstupati od ciljne vrijednosti do $0,05Max$ pod uvjetom da razlika između uzastopnih ispitnih tereta bude jednaka barem $0,08Max$.

Prije ispitivanja pokazivanje se namješta na ništicu. Ispitni se tereti L_{Tj} normalno primjenjuju samo jednom na jedan od ovih načina:

1. povećanjem u koracima s rasterećenjem između odvojenih koraka (što odgovara većini uporaba vage za vaganja pojedinačnih tereta)
2. neprekidnim povećanjem u koracima (slično kao u alineji 1.); može uključivati djelovanja puzanja na rezultate, smanjuje se broj tereta koje treba staviti na prijamnik tereta i skidati s njega kao u alineji 1.,
3. neprekidnim povećanjem i smanjenjem u koracima (postupak propisan za ispitivanja za ovjeravanje [4], isti komentari kao u alineji 2.)
4. neprekidnim smanjenjem u koracima počevši od Max (simulira uporabu vage kao vage za vaganje s odzimanjem, isti komentari kao u alineji 2.).

Za vage s više podjeljaka ljestvice (vidi [4]) gornje se metode mogu preinačiti za korake opterećenja manje od Max povećanjem i/ili smanjenjem tereta tare, djelovanjem funkcije uravnoteženja tare i primjenom ispitnoga tereta bliskog Max_1 , ali ne većeg od Max_1 kako bi se dobila pokazivanja s d_1 .

Mogu se provoditi i dodatna ispitivanja kako bi se vrednovale tehničke značajke vage pod posebnim uvjetima uporabe, npr. pokazivanje nakon radnje na uravnoteženju tare, promjene pokazivanja pod stalnim teretom u određenome vremenu itd.

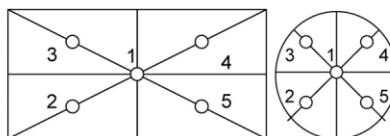
Ispitna ili pojedinačna opterećenja mogu se ponavljati kako bi se kombinirala s ispitivanjima ponovljivosti iz podtočke 5.1.

Za svaki teret bilježe se pokazivanja I_{Lj} . Nakon uklanjanja tereta treba barem provjeriti je li pokazivanje u ništicu te, ako nije, ono se može vratiti na ništicu; bilježenje pokazivanja bez opterećenja I_{0j} provodi se kao prema podtočki 4.4.1.

5.3 Ispitivanje ekscentričnosti

Ispitivanje se sastoji u stavljanju ispitnog tereta L_{ecc} na različite položaje na prijammiku tereta na način da se težište tereta postavlja na položaje prikazane na slici 4.4.3-1 ili na što je moguće bliže istovrijedne položaje.

1. Središte
2. Prednja strana lijevo
3. Stražnja strana lijevo
4. Stražnja strana desno
5. Prednja strana desno



Slika 5.3-1: Položaji tereta pri ispitivanju ekscentričnosti

Ispitni teret L_{ecc} treba biti najviše $Max/3$ ili barem $Min' + (Max' - Min')/3$ za manje područje vaganja. Treba uzeti u obzir savjete proizvođača, ako postoje, i ograničenja koja su očigledna iz konstrukcije vage (za mosne vage vidi npr. EN 45501 [4]).

Ispitni teret ne treba biti umjeren ni ovjeren, osim ako rezultati služe za određivanje pogrešaka pokazivanja kao prema podtočki 5.2.

Prije ispitivanja pokazivanje se namješta na ništicu. Ispitni se teret prvo stavlja u položaj 1, nakon toga se premješta na druga 4 položaja navoljnim redom te se na kraju može ponovno postaviti na položaj 1.

Za svaki položaj tereta bilježe se pokazivanja I_{Lj} . Nakon svakoga uklanjanja tereta treba provjeriti pokazivanje ništicu te se ono po potrebi može vratiti u ništicu; bilježenje pokazivanja I_{0j} bez opterećenja provodi se kao prema podtočki 4.4.1.

5.4 Pomoćna mjerenja

Preporučuju se sljedeća dodatna mjerenja ili zapisi, posebno gdje se umjeravanje namjerava provoditi s najmanjom mogućom nesigurnošću.

S obzirom na djelovanja uzgona (vidi 4.2.2):

Barem jednom tijekom umjeravanja treba izmjeriti temperaturu zraka u blizini vage. Kad se vaga upotrebljava u upravljanoj okolini treba zabilježiti raspon promjene temperature, npr. iz grafikona temperature, iz namještanja upravljačkog uređaja itd.

Barometarski tlak ili, što je isto, nadmorska visina mjesta mogu biti korisni.

S obzirom na djelovanja konvekcije (vidi 4.2.3):

Posebnu pozornost treba obratiti kako bi se spriječila prekomjerna djelovanja konvekcije praćenjem granične vrijednosti razlike temperature između etalonskih utega i vage i/ili bilježenjem protekloga vremena prilagodbe. Za provjeru razlike temperature može biti koristan toplomjer koji se drži u kutiji s etalonskim utezima.

S obzorom na magnetska djelovanja:

Za vage s visokim razlučivanjem preporučuje se provjera kako bi se vidjelo postoji li opažljivo magnetsko djelovanje. Etalonski uteg važe se zajedno s držačem razmaka izrađenog od nekovinskih gradiva (npr. drvo, plastika), držač razmaka postavlja se na gornju stranu ili ispod utega kako bi se dobila dva različita pokazivanja.

Ako je razlika tih dvaju pokazivanja različita od ničice, to treba kao upozorenje navesti u potvrdi o umjeravanju.

6 Mjerni rezultati

Formule u poglavljima 6. i 7. služe kao elementi normiranoga programa za istovrijedno određivanje rezultata ispitnih umjeravanja. Kad se one koliko je to moguće primjenjuju bez promjene, nije potreban dodatni opis određivanja vrijednosti.

Nije predviđeno da se sve te formule, znakovi i/ili indeksi upotrebljavaju za prikaz rezultata u potvrdi o umjeravanju.

U ovome odsječku upotrebljava se definicija pokazivanja I kako je dana u podtočki 4.4.

6.1 Ponovljivost

Iz n pokazivanja I_{ji} za dani ispitni teret L_{Tj} , izračunava se standardno odstupanje s_j iz izraza:

$$s(I_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2} \quad (6.1-1)$$

s

$$\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji} \quad (6.1-2)$$

Kad je primijenjen samo jedan ispitni teret, može se izostaviti indeks j .

6.2 Pogreške pokazivanja

6.2.1 Diskretne vrijednosti

Za svako ispitno opterećenje L_{Tj} pogreška pokazivanja izračunava se na sljedeći način:

$$E_j = I_j - m_{\text{refj}} \quad (6.2-1a)$$

Gdje je pokazivanje I_j srednja vrijednost od više očitavanja, I_j smatra se srednjom vrijednošću kao prema formuli (6.1-2).

m_{ref} je referentna masa ili "istinita vrijednost" opterećenja. (Vidi 4.3.1, 4.3.3.)

Referentna masa jednaka je:

nazivnoj vrijednosti m_N opterećenja,

$$m_{\text{refj}} = m_{Nj} \quad (6.2-2)$$

ili stvarnoj vrijednosti m_c

$$m_{\text{refj}} = m_{cj} = (m_{Nj} + \delta m_{cj}) \quad (6.2-3)$$

Kad se ispitni teret sastoji od više utega, u gornjim se formulama m_{Nj} zamjenjuje zbrojem (Σm_{Nj}), a δm_{cj} zamjenjuje zbrojem ($\Sigma \delta m_{cj}$).

Kad se pogreška i/ili pokazivanje dodatno navodi ili upotrebljava u odnosu na ispitni teret, ona se uvijek treba prikazati u odnosu na nazivnu vrijednost m_N tereta, čak ako je upotrijebljena stvarna vrijednost mase ispitnoga tereta. U takvome se slučaju pogreška ne mijenja dok se pokazivanje preinačuje izrazom:

$$I(m_N) = I'(m_c) - \delta m_c \quad (6.2-4)$$

pri čemu je I' međupokazivanje određeno kad je primijenjen teret m_c .

Izraz (6.2-1a) tada poprima oblik:

$$E_j = I_j - m_{Nj} = (I_j' - \delta m_{cj}) - m_{Nj} \quad (6.2-1b)$$

6.2.2 Značajka područja vaganja

Uz diskretne vrijednosti E_j , I_j može se dodatno ili kao alternativa njima za područje vaganja odrediti značajka ili krivulja umjeravanja koja omogućuje procjenu pogreške pokazivanja za pokazivanje I u području vaganja.

Funkcija:

$$E_{\text{appr}} = f(I) \quad (6.2-5)$$

može se dobiti odgovarajućom aproksimacijom koja se općenito treba temeljiti na metodi "najmanjih kvadrata":

$$\Sigma v_j^2 = \Sigma (f(I_j) - E_j)^2 = \text{minimum} \quad (6.2-6)$$

gdje su:

v_j = ostaci
 f = funkcija aproksimacije

Aproksimacija treba nadalje

- uzimati u obzir nesigurnosti $u(E_j)$ pogrešaka
- uzimati funkciju modela koja odražava fizikalna svojstva vage, npr. oblik odnosa između tereta i njegova pokazivanja $I = g(L)$
- uključivati provjeru da li su parametri koji su otkriveni za funkciju modela matematički konzistentni sa stvarnim podatcima.

Pretpostavlja se da za neko m_{Nj} pogreška E_j ostaje ista ako se stvarno pokazivanje I_j zamijeni njegovom nazivnom vrijednošću I_{Nj} . Izračuni za određivanje vrijednosti (6.2-6) mogu se prema tomu provesti sa skupom podataka m_{Nj} , E_j ili I_{Nj} , E_j .

Dodatak C daje savjet za odabir prikladne formule aproksimacije i za potrebne izračune.

6.3 Djelovanje ekscentričnog opterećenja

Iz pokazivanja I_j dobivenih na različitim položajima tereta kao prema podtočki 5.3 izračunavaju se razlike ΔI_{ecc} :

$$\Delta I_{\text{ecc}i} = I_i - I_1 \quad (6.3-1)$$

Gdje se ispitni teret sastoji od etalonskih utega, umjesto iz gornje formule pogreške se pokazivanja mogu izračunavati iz izraza:

$$E_{\text{ecc}i} = I_i - m_N \quad (6.3-2)$$

7 Mjerna nesigurnost

U ovoj i sljedećim točkama postoje članovi nesigurnosti dodijeljeni malim ispravicima koji su razmjerni specificiranoj vrijednosti mase ili specificiranomu pokazivanju. Za količnik takve nesigurnosti i odgovarajuće vrijednosti mase ili pokazivanja upotrebljavat će se oznaka \hat{w} .

Primjer: Neka je:

$$u(\delta m_{\text{corr}}) = mu(\text{corr}) \quad (7-1)$$

s nedimenzijskim članom $u(\text{corr})$, tada je

$$\hat{w}(m_{\text{corr}}) = u(\text{corr}) \quad (7-2)$$

U skladu s tim odgovarajuća će se varijancija označavati s $\hat{w}^2(m_{\text{corr}})$, a odgovarajuća povećana nesigurnost s $\hat{W}(m_{\text{corr}})$.

7.1 Standardna nesigurnost za diskretne vrijednosti

Temeljna je formula umjeravanja:

$$E = I - m_{\text{ref}} \quad (7.1-1)$$

s varijancijama

$$U^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{\text{ref}}) \quad (7.1-2)$$

Kad se upotrebljavaju zamjenska opterećenja (vidi podtočku 4.3.3) m_{ref} u oba se izraza zamjenjuje s L_{Tn} .

Ti se članovi dodatno proširuju u nastavku.

7.1.1 Standardna nesigurnost pokazivanja

Da bi se objasnili izvori promjenjivosti pokazivanja formula (4.4.1-1), dopunjuje se članovima ispravaka δI_{xx} na sljedeći način:

$$I = I_L + \delta I_{\text{digL}} + \delta I_{\text{rep}} + \delta I_{\text{ecc}} - I_0 - \delta I_{\text{dig0}} \quad (7.1.1-1)$$

Svi ti ispravci imaju očekivanu vrijednost jednaku ničtici. Oni imaju sljedeće standardne nesigurnosti:

7.1.1.1 Član δI_{dig0} predstavlja pogriješku zaokruživanja pokazivanja bez tereta. Granice su $\pm d_0/2$ ili $\pm d_T/2$, ovisno o tome što je primjenjivo; pretpostavlja se pravokutna razdioba te je prema tomu redom:

$$u(\delta I_{\text{dig0}}) = d_0/(2\sqrt{3}) \quad (7.1.1-2a)$$

ili

$$u(\delta I_{\text{dig0}}) = d_T/(2\sqrt{3}) \quad (7.1.1-2b)$$

Napomena 1.: Vidi 4.4.2 za značenje d_T .

Napomena 2.: Na vagi koja je tipno odobrena prema normi EN 45501 [4] pogriješka zaokruživanja ničičnoga pokazivanja nakon namještanja ničtice ili uravnoteženja tare ograničena je na $d_0/4$, prema tomu je:

$$u(\delta I_{\text{dig0}}) = d_0/(4\sqrt{3}). \quad (7.1.1-2c)$$

7.1.1.2 Član δI_{digL} predstavlja pogriješku pokazivanja pri opterećenju. Granice su $\pm d_1/2$ ili $\pm d_T/2$, ovisno o tome što je primjenjivo; pretpostavlja se pravokutna razdioba te je prema tomu:

$$u(\delta I_{\text{digL}}) = d_1/(2\sqrt{3}) \quad (7.1.1-3a)$$

ili

$$u(\delta I_{\text{digL}}) = d_T/(2\sqrt{3}) \quad (7.1.1-3b)$$

Napomena: Na vagama s više podjeljaka d_1 se mijenja s I !

7.1.1.3 Član δI_{rep} predstavlja pogriješku zbog nesavršene ponovljivosti; pretpostavlja se normalna razdioba s procjenom:

$$u(\delta I_{\text{rep}}) = s(I_j) \quad (7.1.1-5)$$

gdje je $s(I_j)$ definirano kao u podtočki 6.1.

Kad je pokazivanje I_j srednja vrijednost n očitavanja, odgovarajuća standardna nesigurnost jednaka je:

$$u(\delta I_{\text{rep}}) = s(I_j)/\sqrt{n} \quad (7.1.1-6)$$

Kad je provedeno samo jedno ispitivanje ponovljivosti, to se standardno odstupanje može smatrati reprezentativnim za sva pokazivanja vage u promatranome području vaganja.

Kad je određeno nekoliko standardnih odstupanja s_j ($s_j = s(I_j)$ u skraćenome zapisu) s različitim ispitnim opterećenjima, za s_j treba se upotrebljavati veća vrijednost u dvije ispitne točke koje zatvaraju pokazivanje čija je pogriješka određena.

Kad se može utvrditi da su vrijednosti standardnih odstupanja s_j određene na različitim ispitnim teretima L_{Tj} u funkcionalnome odnosu s teretom, ta se funkcija može primijeniti na sastavljanje standardnih odstupanja s_j u "skupno" standardno odstupanje s_{pool} .

Primjeri su takvih funkcija:

$$s_j = \text{const} \quad (7.1.1-7)$$

$$s_j^2 = s_0^2 + s_r^2 (L_{Tj} / \text{Max})^2 \quad (7.1.1-8)$$

Sastavnice s_0^2 , s_r^2 treba odrediti grafički ili izračunom.

Napomena: Za standardno odstupanje koje se daje u potvrdi o umjeravanju treba dati objašnjenje je li ono povezano s jednim pokazivanjem ili sa srednjom vrijednošću od n pokazivanja.

7.1.1.4 Član δI_{ecc} predstavlja pogriješku zbog pomaka položaja težišta ispitnoga tereta. To se djelovanje može pojaviti kad je ispitni teret sastavljen od više tijela. Kad se to djelovanje ne može zanemariti, procjena njegove vrijednosti se može temeljiti na sljedećim pretpostavkama:

- da su razlike određene formulom (6.3-1) razmjerne udaljenosti tereta od središta prijarnika i vrijednosti tereta
- da ekscentričnost stvarnoga težišta ispitnoga tereta nije veća od 1/2 vrijednosti pri ispitivanju ekscentričnosti.

Premda mogu postojati vage na koje je djelovanje ekscentričnoga tereta čak veće pod drugim kutovima nego što su oni gdje su ispitni tereti primijenjeni, na temelju najveće razlike određene prema 6.3 procjenjuje se da je njegov učinak jednak:

$$\delta I_{\text{ecc}} \leq \{|\Delta I_{\text{ecc},i}|_{\text{max}} / (2L_{\text{ecc}})\} I \quad (7.1.1-9)$$

Pretpostavlja se pravokutna razdioba, tako da je standardna nesigurnost jednaka:

$$u(\delta I_{\text{ecc}}) = I |\Delta I_{\text{ecc},i}|_{\text{max}} / (2L_{\text{ecc}}\sqrt{3}) \quad (7.1.1-10)$$

ili u relativnome zapisu:

$$\hat{w}(I_{\text{ecc}}) = |\Delta I_{\text{ecc},i}|_{\text{max}} / (2L_{\text{ecc}}\sqrt{3}) \quad (7.1.1-11)$$

7.1.1.5 Standardna se nesigurnost pokazivanja normalno dobiva iz izraza:

$$u^2(I) = d_0^2/12 + d_1^2/12 + s^2(I) + \hat{w}(I)I^2 \quad (7.1.1-12)$$

Napomena 1.: Nesigurnost $u(I)$ = stalnica samo kad je s = stalnica i kad nije uzeta u obzir pogriješka ekscentričnosti.

Napomena 2.: Prva dva člana na desnoj strani u posebnim slučajevima može biti potrebno preinačiti kako je spomenuto u podtočkama 7.1.1.1 i 7.1.1.2.

7.1.2 Standardna nesigurnost referentne mase

Iz 4.2.4 i 4.3.1 referentna vrijednost mase jednaka je:

$$m_{\text{ref}} = m_N + \delta m_c + \delta m_B + \delta m_D + \delta m_{\text{conv}} + \delta m \dots \quad (7.1.2-1)$$

Krajnji desni član označuje dodatne ispravke koje može biti potrebno primjenjivati u posebnim uvjetima; on se u daljnjemu izlaganju ne uzima u obzir.

Ispravci i njihove standardne nesigurnosti jesu:

7.1.2.1 δm_c ispravak je nazivne mase m_N da bi se dobila stvarna dogovorena vrijednost mase m_c dana u potvrđi o umjeravanju za etalonske utege zajedno s nesigurnošću umjeravanja U i faktorom pokrivanja k . Standardna je nesigurnost jednaka:

$$u(\delta m_c) = U/k \quad (7.1.2-2)$$

Kad je etalonski uteg umjeren u odnosu na specificirana dopuštena odstupanja Tol , npr. u odnosu na mpe dano u preporuci R 111, i kad se upotrebljava s nazivnom vrijednošću m_N , tada je $\delta m_c = 0$, te se prema tomu podrazumijeva pravokutna razdioba:

$$u(\delta m_c) = Tol/\sqrt{3} \quad (7.1.2-3)$$

Kad se ispitni teret sastoji od više etalonskih utega da bi se izračunali pretpostavljeni ispravci, standardne se nesigurnosti zbrajaju aritmetički, a ne kao zbroj kvadrata.

O ispitnim teretima koji se djelomično sastoje od zamjenskih tereta vidi podtočku 7.1.2.6.

Napomena 1.: Za uporabu m_c ili m_N vidi 6.2.1.

Napomena 2.: Kad je utvrđena sukladnost etalonskih utega s preporukom R 111, formula (7.1.2-3) može se preinačiti zamjenom Tol s mpe . Za utege s $m_N \geq 0,1$ kg količnik mpe/m_N stalan je za sve utege koji pripadaju istome razredu točnosti.

$mpe = c_{\text{class}} m_N$ s c_{class} iz tablice 7.1-1.

Tada se (7.1.2-3) može upotrijebiti u obliku:

$$u(\delta m_c) = c_{\text{class}} m_N / \sqrt{3} \quad (7.1.2-3a)$$

ili kao relativna standardna nesigurnost:

$$\hat{w}(m_c) = c_{\text{class}} / \sqrt{3} \quad (7.1.2-3b)$$

Tablica 7.1-1 Količnik $c_{\text{class}} = mpe/m_N$ za etalonske utege $m_N \geq 100$ g u skladu s preporukom R 111 [3]

| Razred | $c_{\text{class}} \times 10^6$ |
|--------|--------------------------------|
| E1 | 0,5 |
| E2 | 1,5 |
| F1 | 5 |
| F2 | 15 |
| M1 | 50 |
| M2 | 150 |
| M3 | 500 |

7.1.2.2 δm_B ispravak je zbog uzgona zraka kako je uveden u podtočki 4.2.4. Njegova vrijednost ovisi o gustoći ρ utega koji se umjerava, o pretpostavljenome području gustoće zraka ρ_a i o ugađanju vage (usporedi A i B u 4.2.4).

Slučaj A:

$$\delta m_B = -m_N(\rho_a - \rho_0)(1/\rho_a - 1/\rho_c) \quad (7.1.2-4)$$

s relativnom standardnom nesigurnošću iz:

$$\hat{w}^2(m_B) = u^2(\rho_a)(1/\rho - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho)/\rho^4 + u^2(\rho_a) u^2(\rho)/\rho^4 \quad (7.1.2-5)$$

Slučaj B1:

$$\delta m_B = -m_{cCal}[(\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_c) + \delta\rho_{as}/\rho_c] \quad (7.1.2-6)$$

s relativnom standardnom nesigurnošću iz:

$$\hat{w}^2(m_B) = u^2(\rho_a)(1/\rho - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho)/\rho^4 + u^2(\delta\rho_{as})/\rho_c^2 \quad (7.1.2-7)$$

Slučaj B2:

$$\delta m_B = -m_N(\rho_a - \rho_0)/\rho \quad (7.1.2-8)$$

s relativnom standardnom nesigurnošću iz:

$$\hat{w}^2(m_B) = u^2(\rho_a)/\rho^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho)/\rho^4 \quad (7.1.2-9)$$

Ako su poznate vrijednosti za ρ , $u(\rho)$, ρ_a , $u(\rho_a)$, te se vrijednosti trebaju upotrebljavati za određivanje relativne nesigurnosti $\hat{w}(m_B)$.

Gustoća ρ i njezina standardna nesigurnost mogu se u nedostatku takvih podataka procijeniti u skladu sa stanjem tehnike. Dodatak E1 daje međunarodno prihvaćene vrijednosti za uobičajena gradiva koja se upotrebljavaju za etalonske utege.

Gustoća ρ_a i njezina standardna nesigurnost mogu se izračunati iz temperature i barometarskoga tlaka ako je poznat, ili se može procijeniti iz nadmorske visine (relativna vlažnost ima manji utjecaj).

Za razliku $\delta\rho_{as}$ (slučaj B1) može se pretpostavljati da je jednaka ničtici s odgovarajućom nesigurnošću $u(\delta\rho_{as})$ za koju treba procijeniti graničnu vrijednost $\Delta\rho_{as}$ uzimajući u obzir promjenjivost barometarskoga tlaka i temperature na terenu u duljem razdoblju.

Jednostavniji pristup može biti da se upotrijebe iste procjene za ρ_a i ρ_{as} i ista nesigurnost za obje vrijednosti.

U dodatku A dano je nekoliko formula i podatci o očekivanim varijacijama.

U dodatku E dane su vrijednosti $\hat{w}(m_B)$ za neke odabrane kombinacije vrijednosti za ρ i ρ_a . Za A umjeravanja vrijednosti su uglavnom zanemarive.

Za B umjeravanja uglavnom se ne preporučuje primjena ispravka δm_B , nego izračun nesigurnosti na temelju ρ i $\rho_a = \rho_0 \pm \Delta\rho_a$.

Kad se utvrđuje sukladnost etalonskih utega s preporukom R 111 [3] i kad nema podataka o ρ i ρ_a , može se primijeniti odsječak 7 preporuke R 111⁵⁾. Ne primjenjuje se nikakav ispravak, a relativne su nesigurnosti:

za slučaj A

$$\hat{w}(m_B) \approx mpe / (4m_N\sqrt{3}) \quad (7.1.2-5a)$$

za slučajeve B1 i B2

$$\hat{w}(m_B) \approx (0,1\rho_0 / \Delta\rho_c + mpe/(4m_N)) / \sqrt{3} \quad (7.1.2-9a)$$

Za zahtjeve iz fusnote 5. te se granice mogu izvesti za ρ : za razred E2: $|\rho - \rho_c| \leq 200 \text{ kg/m}^3$ i za razred F1: $|\rho - \rho_c| \leq 600 \text{ kg/m}^3$.

Napomena: Činjenica da je gustoća gradiva koja se upotrebljava za etalonske utege normalno bliža ρ_c nego granicama iz preporuke R 111 omogućuje da se posljednje dvije formule smatraju gornjim granicama za $\hat{w}(m_B)$. Kad jednostavna usporedba tih vrijednosti s razlučivanjem mjerila ($1/m_M = d/Max$) pokazuje da su one dostatno malene, razrađeniji izračun te sastavnice nesigurnosti koji se temelji na stvarnim podacima može biti suvišan.

7.1.2.3 δm_D ispravak je zbog mogućega klizenja dogovorene mase m_c od posljednjeg umjeravanja. Graničnu vrijednost D najbolje je pretpostaviti na temelju razlike u dogovorenoj vrijednosti m_c koja se vidi iz uzastopnih potvrda o umjeravanju etalonskih utega.

5) Gustoća gradiva utega mora biti takva da odstupanje od 10 % od specificirane gustoće zraka ($1,2 \text{ kg/m}^3$) ne izaziva pogrešku koja bi prelazila četvrtinu najveće dopuštene pogreške.

U nedostatku takvih podataka D se može procijeniti iz kakvoće utega te čestoće i pažnje s kojom se upotrebljavaju kao višestrukost njihove povećane nesigurnosti $U(m_c)$:

$$D = k_D U(m_c) \quad (7.1.2-10)$$

gdje se za k_D može odabrati vrijednost od 1 do 3.

Ne preporučuje se primjena ispravka, ali se podrazumijeva jednolika razdioba u granicama od $\pm D$ (pravokutna razdioba). Standardna nesigurnost tada je jednaka:

$$u(\delta m_D) = D / \sqrt{3} \quad (7.1.2-11)$$

Kad je garnitura utega umjerena sa standardnom povećanom relativnom nesigurnošću $\hat{W}(m_c)$, za klizenje može biti prikladno uvesti relativnu graničnu vrijednost $D_{\text{rel}} = D/m_N$ i relativnu nesigurnost:

$$\hat{w}(m_D) = D_{\text{rel}} / \sqrt{3} = k_D \hat{W}(m_N) / \sqrt{3} \quad (7.1.2-12)$$

Za utege koji su u skladu s preporukom R111 [3] procjena može biti $D \leq mpe$ ili $D_{\text{rel}} \leq c_{\text{class}}$ (vidi tablicu 7.1-1).

7.1.2.4 δm_{conv} ispravak je zbog djelovanja konvekcije prema podtočki 4.2.3. Granična vrijednost Δm_{conv} može se uzeti iz dodatka F, ovisno o poznatoj temperaturnoj razlici ΔT i masi etalonskog utega.

Ne preporučuje se primjena ispravka, nego se pretpostavlja jednolična razdioba u granicama $\pm \Delta m_{\text{conv}}$. Standardna je nesigurnost tada jednaka:

$$u(\delta m_{\text{conv}}) = \Delta m_{\text{conv}} / \sqrt{3} \quad (7.1.2-13)$$

7.1.2.5 Standardna nesigurnost referentne mase dobiva se iz izraza (vidi 7.1.2):

$$u^2(m_{\text{ref}}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{\text{conv}}) \quad (7.1.2-14)$$

s doprinosima iz podtočaka 7.1.2.1 do 7.1.2.4.

Kao primjer za A umjeravanja specificirani su članovi s etalonskim utezima $m_N \geq 0,1$ kg koji su u skladu s preporukom R111, a koji se upotrebljavaju sa svojim nazivnim vrijednostima:

$$\hat{w}^2(m_{\text{ref}}) = c_{\text{class}}^2 / 3 + c_{\text{class}}^2 / 48 + c_{\text{class}}^2 / 3 + (\Delta m_{\text{conv}} / m_N)^2 / 3 \quad (7.1.2-14a)$$

7.1.2.6 Kad je ispitni teret djelomično sastavljen od zamjenskih utega kao prema podtočki 4.3.3, standardna nesigurnost za zbroj $L_{Tn} = nm_{c1} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1}$ dana je sljedećim izrazom:

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2[u^2(I_1) + u^2(I_2) + \dots + u^2(I_{n-1})] \quad (7.1.2-15)$$

s $u(m_{c1}) = u(m_{\text{ref}})$ iz 7.1.2.5 i $u(I_j)$ iz 7.1.1.5 za $I = I(L_{Tj})$

Napomena: Nesigurnosti $u(I_j)$ trebaju također uključivati pokazivanja gdje je zamjenski teret ugođen tako da odgovarajuća promjena pokazivanja ΔI postaje jednaka ničiti.

Ovisno o vrsti zamjenskoga tereta, može biti potrebno pribrojiti dodatne doprinose nesigurnosti:

- zbog ekscentričnoga tereta kao prema 7.1.1.4 nekim ili svim stvarnim pokazivanjima $I(L_{Tj})$
- zbog uzgona zraka zamjenskih tereta kad su oni izrađeni od gradiva niske gustoće (npr. pijeska, šljunka) i kad gustoća zraka vremenski znatno varira kad se upotrebljava zamjenski teret.

Kad je $u(I_j) = \text{const}$ izraz se pojednostavnjuje na:

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2[(n-1)u^2(I)] \quad (7.1.2-16)$$

7.1.3 Standardna nesigurnost pogrješke

Standardna se nesigurnost pogrješke s članovima iz podtočaka 7.1.1 i 7.1.2, kako je prikladno, izračunava iz izraza:

$$u^2(E) = d_0^2/12 + d_I^2/12 + s^2(I) + u^2(\delta I_{\text{ecc}}) \\ + u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{\text{conv}}) \quad (7.1.3-1a)$$

ili kad se primjenjuje relativna nesigurnost iz izraza:

$$u^2(E) = d_0^2/12 + d_I^2/12 + s^2(I) + \hat{w}^2(I_{\text{ecc}})I^2 + \\ + \{ \hat{w}^2(m_c) + \hat{w}^2(m_B) + \hat{w}^2(m_D) \} m_{\text{ref}}^2 + u^2(\delta m_{\text{conv}}) \quad (7.1.3-1b)$$

Sve ulazne veličine smatraju se nekoreliranim, te se prema tomu kovarijancije ne uzimaju u obzir.

Indeks "j" je izostavljen. Kad su posljednji članovi u (7.1.3-1a, b) maleni u usporedbi s prva 3 člana, nesigurnost svih pogrešaka određenih u cijelome području vaganja vjerojatno će biti prilično malena. Ako to nije slučaj, nesigurnost treba izračunati pojedinačno za svako pokazivanje.

S obzirom na opće iskustvo te su pogreške normalno veoma malene u usporedbi s pokazivanjem ili čak mogu biti jednake ničtici u (7.1.3-1a, b) vrijednosti za m_{ref} i I mogu se zamijeniti s I_N .

Članovi u (7.1.3-1a, b) mogu se tada skupiti u jednostavnu formulu koja bolje odražava činjenicu da su neki članovi po naravi apsolutni dok su drugi razmjerni pokazivanju:

$$u^2(E) = \alpha^2 + \beta^2 I^2 \quad (7.1.3-2)$$

Kad se formule (7.1.1-7) ili (7.1.1-8) primjenjuju na standardno odstupanje određeno za umjerenu vagu, odgovarajući su članovi naravno uključeni u (7.1.3-2).

7.2 Standardna nesigurnost za značajku

Kad se provodi aproksimacija da bi se dobila formula $E = f(I)$, za cijelo područje vaganja kao prema 6.2.2 standardna nesigurnost pogreške prema 7.1.3 treba se preinačiti da bi bila u skladu s metodom aproksimacije. Ovisno o funkciji modula, ona se može sastojati od:

- pojedinačne varijancije u_{appr}^2 koja se dodaje (7.1.3-1) ili
- skup varijancija i kovarijancija koje uključuju varijancije u (7.1.3-1)

Izračuni trebaju također uključivati provjeru je li funkcija modela matematički sukladna sa skupovima podataka E_j , I_j , $u(E_j)$.

Za aproksimacije se predlaže metoda $\min \chi^2$ koja je slična metodi najmanjih kvadrata. Pojednosti su dane u dodatku C.

7.3 Povećana nesigurnost pri umjeravanju

Povećana nesigurnost pogreške jednaka je:

$$U(E) = ku(E) \quad (7.3-1)$$

Faktor pokrivanja k treba odabrati tako da povećana nesigurnost odgovara vjerojatnosti pokrivanja od približno 95 %.

Vrijednost $k = 2$ koja odgovara vjerojatnosti 95,5 % primjenjuje se

- a) kad se pogrešci pokazivanja može pripisati normalna (Gaussova) razdioba i
- b) kad je standardna nesigurnost $u(E)$ zadovoljavajuće pouzdana (tj. ima dostatan broj stupnjeva slobode).

Dodatak B2 pruža dodatne podatke o tim uvjetima, a dodatak B3 daje preporuke kako odrediti faktor k kad jedan ili oba uvjeta nisu zadovoljena.

Prihvatljivo je iz iskustva odrediti samo jednu vrijednost k za "najgori slučaj", koja se može primijeniti na standardne nesigurnosti sviju pogrešaka istoga područja vaganja.

7.4 Standardna nesigurnost rezultata vaganja

Korisnik vage treba biti svjestan činjenice da je pri normalnoj uporabi umjerene vage situacija različita od one pri umjeravanju u nekome, ako ne u svim, od ovih aspekata:

1. pokazivanja dobivena vaganjem tijela nisu ista kao pri umjeravanju
2. proces vaganja može se razlikovati od postupka pri umjeravanju time

- a) što je za svaki teret određeno samo jedno očitavanje, a ne više očitavanja da bi se dobila srednja vrijednost
 - b) što se očitavanja provode s točnosti do podjeljka ljestvice d vage, a ne s većim razlučivanjem
 - c) što se provodi povećanje i smanjenje opterećenja, a ne samo povećanje ili obrnuto
 - d) što se teret drži na prijamniku tereta dulje vrijeme, teret se ne uklanja nakon svakoga koraka opterećenja ili obrnuto
 - e) što se teret primjenjuje ekscentrično
 - f) što se upotrebljava uređaj za poništenje tare
3. okoliš (temperatura, barometarski tlak itd.) mogu biti različiti.
4. na vagama koje se ne ugađaju redovito, npr. uporabom ugrađenog uređaja stanje ugađanja može se promijeniti zbog starenja, trošenja ili habanja
- Za razliku od stavaka 1. do 3. taj učinak obično ovisi o vremenu proteklome od umjeravanja te se prema tomu treba razmatrati u odnosu na određeno razdoblje, npr. za jednu godinu ili uobičajeno razdoblje između umjeravanja.

Da bi se rezultati vaganja koji su dobiveni kad se važe teret L na umjerenome mjerilu jasno razlikovali od pokazivanja I dobivenih tijekom umjeravanja, uvode se ovi članovi i znakovi:

R = očitavanje, svako pokazivanje dobiveno nakon umjeravanja

W = rezultat vaganja, očitavanje ispravljeno za pogrješku E .

R se shvaća kao jedno očitavanje pri normalnome razlučivanju (višekratnik od d) s ispravicima koje po potrebi treba primijeniti.

Za očitavanja koja se provode pod istim uvjetima koji prevladavaju pri umjeravanju, za teret dobro usredišten na prijamnik tereta, primjenjuju se samo ispravci koji su prikazani u točkama 2a i 2b. Taj se rezultat može označiti kao rezultat vaganja pod uvjetima umjeravanja W^* :

$$W^* = R + \delta R_{\text{digL}} + \delta R_{\text{rep}} - (R_0 + \delta R_{\text{dig0}}) - E \quad (7.4-1a)$$

s pridruženom nesigurnošću

$$u(W^*) = \sqrt{\{u^2(E) + u^2(\delta R_{\text{dig0}}) + u^2(\delta R_{\text{rep}}) + u^2(\delta R_{\text{digL}})\}} \quad (7.4-2a)$$

W^* i $u(W^*)$ mogu se odrediti izravno uporabom podataka i rezultata umjeravanja danih u potvrdi o umjeravanju:

- skupova podataka I_{cal} , E_{cal} , $U(E_{\text{cal}})$ i/ili
- značajke $E(R) = f(I)$ i $U(E(R)) = g(I)$.

To se čini u podtočkama 7.4.1 i 7.4.2.

Da bi se uzeli u obzir preostali mogući utjecaji na rezultat vaganja, očitavanju se formalno dodaju dodatni ispravci na općenit način koji općenito daju rezultat vaganja:

$$W = W^* + \delta R_{\text{instr}} + \delta R_{\text{proc}} \quad (7.4-1b)$$

s pridruženom nesigurnošću

$$u(W) = \sqrt{\{u^2(W^*) + u^2(\delta R_{\text{instr}}) + u^2(\delta R_{\text{proc}})\}} \quad (7.4-2b)$$

O dodanim članovima i odgovarajućim standardnim nesigurnostima raspravlja se u podtočkama 7.4.3 i 7.4.4. Standardne nesigurnosti $u(W^*)$ i $u(W)$ na kraju su prikazane u podtočki 7.4.5.

Podtočke 7.4.3 i 7.4.4 i podatci o nesigurnostima $u(W)$ i $u(W)$ iz podtočaka 7.4.5 i 7.5 pružaju savjete korisniku vage kako procijeniti nesigurnost rezultata vaganja dobivenih pod normalnim uvjetima uporabe vage. To ne znači da su oni time iscrpljeni ili obvezatni.

Kad umjerni laboratorij svojim korisnicima daje takve procjene koje se temelje na podacima koje taj laboratorij nije dobio mjerenjem, te se procjene ne moraju prikazati kao dio potvrde o umjeravanju.

7.4.1 Standardna nesigurnost očitavanja u uporabi

Da bi se uzeli u obzir izvori promjenjivosti očitavanja, primjenjuje se formula (7.1.1-1) s R umjesto I :

$$R = R_L + \delta R_{\text{digL}} + \delta R_{\text{rep}} - (R_0 + \delta R_{\text{dig0}}) \{ + \delta R_{\text{ecc}} \} \quad (7.4.1-1)$$

Po potrebi treba dodati član u { }.

Ispravci i njihove standardne nesigurnosti su ove:

7.4.1.1 δR_{dig0} predstavlja pogriješku zaokruživanja pri ništičnome očitavanju. Primjenjuje se podtočka 7.1.1.1, s iznimkom da je isključena varijanta $d_T < d$, tako da je:

$$u(\delta R_{\text{dig0}}) = d_0 / \sqrt{12} \quad (7.4.1-2)$$

Primjenjuje se napomena 2 iz podtočke 7.1.1.1.

7.4.1.2 δR_{digL} predstavlja pogriješku zaokruživanja pri ništičnome očitavanju. Primjenjuje se podtočka 7.1.1.2, s iznimkom da je isključena varijanta $d_T < d_L$, tako da je:

$$u(\delta R_{\text{digL}}) = d_L / \sqrt{12} \quad (7.4.1-3)$$

7.4.1.3 δR_{rep} predstavlja pogriješku zbog nesavršene ponovljivosti. Primjenjuje se podtočka 7.1.3.1, odgovarajuće standardno odstupanje $s(I)$ za jedno očitavanje treba uzeti iz podataka o umjeravanju, tako da je:

$$u(\delta R_{\text{rep}}) = s \text{ ili } = s(R) \quad (7.4.1-4)$$

Napomena: U potvrdi o umjeravanju standardno se odstupanje može dati kao da je povezano s pokazivanjem ili kao srednja vrijednost od n pokazivanja. U potonjemu slučaju vrijednost s treba pomnožiti s \sqrt{n} da bi se dobilo standardno odstupanje pojedinačnog očitavanja.

7.4.1.4 δR_{ecc} predstavlja pogriješku zbog pomicanja položaja težišta tereta. Ona je stavljena u zagrade jer je obično bitna samo za veličinu W , a ne W^* , te će se razmatrati u podtočki 7.4.4.3.

7.4.1.5 Tada se standardna nesigurnost očitavanja dobije s pomoću:

$$u^2(R) = d_0^2 / 12 + d_R^2 / 12 + s^2(R) \{ + \hat{w}^2(R_{\text{ecc}}) / R^2 \} \quad (7.4.1-5)$$

Po potrebi treba dodati član u { }.

Napomena: Nesigurnost $u(R)$ = stalnica, gdje je s = stalnica; pri čemu je u iznimnim slučajevima uzeta u obzir pogriješka ekscentričnosti, taj član treba uzeti iz podtočke 7.4.4.4.

7.4.2 Nesigurnost pogriješke očitavanja

Kad očitavanje R odgovara pokazivanju I_{calj} danomu u potvrdi o umjeravanju, iz nje se može uzeti $u(E_{\text{calj}})$. Za druga očitavanja $u(E(R))$ može se izračunati s pomoću formule (7.1.3-2) ako su poznati α i β ili ono proizlazi iz interpolacijske ili iz aproksimacijske formule kao prema podtočki 7.2.

Nesigurnost $u(E(R))$ normalno je manja od $u(E_{\text{calj}})$ za pokazivanje I_j koje je blisko stvarnomu očitavanju R , osim ako nije određena aproksimacijskom formulom.

Napomena: U potvrdi o umjeravanju obično se prikazuje nesigurnost $U_{95}(E_{\text{cal}})$ iz koje se izvodi $u(E_{\text{cal}})$ uzimajući u obzir faktor k dan u toj potvrdi.

7.4.3 Nesigurnost iz utjecaja okoliša

Član ispravka δR_{instr} predstavlja 3 djelovanja o kojima se raspravlja u nastavku. Ona se normalno ne primjenjuju na vage koje se ugađaju neposredno prije stvarne uporabe (vidi 4.2.4, slučaj A). Po potrebi se trebaju uzeti u obzir za druge vage. Stvarno se ne primjenjuju nikakvi ispravci, odgovarajuće se nesigurnosti procjenjuju na temelju korisnikova znanja o svojstvima vage.

7.4.3.1 Član δR_{temp} uzima u obzir promjenu značajke (ili ugađanja) vage izazvane promjenom temperature okoliša. Može se procijeniti da je granična vrijednost jednaka $\delta R_{\text{temp}} = TK\Delta T$ sa sljedećim članovima.

Normalno postoji specifikacija proizvođača kao što je $TK = \partial I(\text{Max}) / \partial T$ u mnogim slučajevima navodi se da je $|TK| \leq |TC|$ u $10^{-6}/\text{K}$. Ako nije drukčije rečeno, za vage s tipnim odobrenjem prema normi EN 45501 [4] ili preporuci R 76 [6] može se pretpostaviti $|TC| \leq mpe(\text{Max}) / (\text{Max}\Delta T_{\text{Appr}})$ gdje je ΔT_{Appr} temperaturno područje odobrenja označeno na vagi; za druge vage treba primijeniti konzervativnu pretpostavku, što dovodi do

višekratnika (3 do 10 puta) usporedive vrijednosti za vage s tipnim odobrenjem ili se korisniku vage uopće ne moraju dati nikakvi podatci na drugim temperaturama osim one pri umjeravanju.

Raspon promjene temperature ΔT (puni raspon) treba procijeniti s obzirom na mjesto gdje se vaga upotrebljava, kako je zaključeno u dodatku A.2.2.

Pretpostavlja se pravokutna razdioba, te je prema tomu relativna nesigurnost jednaka:

$$\hat{w}(R_{\text{temp}}) = TC\Delta T / \sqrt{12} \quad (7.4.3-1)$$

7.4.3.2 Član δR_{buoy} uzima u obzir promjenu u ugađanju vage zbog promjena gustoće zraka; ne primjenjuje se nikakav ispravak, treba uzeti u obzir doprinos nesigurnosti kao u podtočki 7.1.2.2, gdje se očekuje promjenjivost gustoće zraka veća od one pri umjeravanju.

Napomena: U tome doprinosu nesigurnosti ne uzima se u obzir gustoća ρ tijela koje se važe jer je ona sastavni dio vrijednosti rezultata vaganja W !

7.4.3.3 Član δR_{adj} uzima u obzir promjenu u ugađanju vage od vremena umjeravanja zbog starenja ili trošenja.

Granična se vrijednost može uzeti u obzir iz prijašnjih umjeravanja gdje ona postoje, kao najveća razlika $|\Delta E(\text{Max})|$ u pogriješkama u vrijednosti Max ili u blizini vrijednosti Max između bilo koja dva uzastopna umjeravanja. Inače $\Delta E(\text{Max})$ treba uzimati u obzir iz proizvođačeve specifikacije vage ili se može procijeniti da je $\Delta E(\text{Max}) = mpe(\text{Max})$ za vage koje su u skladu s tipnim odobrenjem prema normi EN 45501 [4] ili preporuci OIML R 76 [6]. Svaka takva vrijednost može uzeti u obzir očekivani vremenski odsječak između umjeravanja, uzimajući u obzir prilično linearno napredovanje promjene s vremenom.

Pretpostavlja se pravokutna razdioba, te je prema tomu relativna nesigurnost jednaka:

$$\hat{w}(R_{\text{adj}}) = |\Delta E(\text{Max})| / (\text{Max} \sqrt{3}) \quad (7.4.3-2)$$

7.4.3.4 Relativna standardna nesigurnost koja se odnosi na pogriješke koje nastaju iz djelovanja okoliša izračunava se iz izraza:

$$\hat{w}^2(R_{\text{instr}}) = \hat{w}^2(R_{\text{temp}}) + \hat{w}^2(R_{\text{adj}}) \quad (7.4.3-3)$$

7.4.4 Nesigurnost iz rada vage

Član δR_{proc} ispravka uzima u obzir dodatne pogriješke koje se mogu pojaviti gdje se postupak vaganja razlikuje od onog pri umjeravanju. Obično se stvarno ne primjenjuju nikakvi ispravci, nego se odgovarajuće nesigurnosti procjenjuju na temelju korisnikova poznavanja svojstava vage.

7.4.4.1 Član δR_{Tare} ispravka uzima u obzir netorezultat vaganja nakon postupka uravnoteženja tare [4]. Moćuća pogriješka i njoj pridružena nesigurnost trebaju se procijeniti uzimajući u obzir temeljni odnos između očitavanja:

$$R_{\text{Net}} = R'_{\text{Gros}} - R'_{\text{Tare}} \quad (7.4.4-1)$$

gdje su R' fiktivna očitavanja koja se obrađuju u mjerilu, dok se vidljivo pokazivanje R_{Net} dobiva izravno, nakon postavljanja pokazivanja vage u ništicu s teretom tare na prijamniku tereta. Rezultat vaganja u tome slučaju teoretski je:

$$W_{\text{Net}} = R_{\text{Net}} - [E_{\text{cal}}(\text{Gross}) - E_{\text{cal}}(\text{Tare})] - \delta R_{\text{instr}} - \delta R_{\text{proc}} \quad (7.4.4-2)$$

U skladu s (7.3-1). Pogriješke u *brutovrijednosti* i *vrijednosti tare* trebalo bi uzeti kao pogriješke istovrijedne gornjim vrijednostima R . Međutim *vrijednost tare* i prema tomu *brutovrijednost* normalno se ne bilježe.

Pogriješka se tada može procijeniti na:

$$E_{\text{Net}} = E(\text{Net}) + \delta R_{\text{Tare}} \quad (7.4.4-3)$$

gdje je $E(\text{Net})$ pogriješka očitavanja $R = \text{Net}$ s dodatnim ispravkom zbog djelovanja nelinearnosti krivulje pogriješke $E_{\text{cal}}(I)$. Za količinsko određivanje nelinearnosti može poslužiti prva derivacija funkcije $E_{\text{appr}} = f(R)$ ako je poznato, ili ako se nagib q_E između uzastopnih točaka umjeravanja može izračunati iz izraza:

$$q_E = \Delta E_{\text{cal}} / \Delta I = (E_{j+1} - E_j) / (I_{j+1} - I_j) \quad (7.4.4-4)$$

Najveća i najmanja vrijednost derivacija ili količnika uzimaju se u obzir kao granične vrijednosti za ispravak $\delta R_{Tare} = q_E R_{Net}$, za koje se može pretpostaviti pravokutna razdioba. Time se kao rezultat dobiva relativna standardna nesigurnost:

$$\hat{w}(R_{Tare}) = (q_{E_{max}} - q_{E_{min}}) / \sqrt{12} \quad (7.4.4-5)$$

Za procjenu nesigurnosti $u(W)$ primjenjuje se (7.1-2) s $R = R_{Net}$. Za $u(E)$ opravdano je pretpostaviti $u(E(Net)) = u(E_{cal}(R = Net))$ jer je potpuna korelacija između veličina koje doprinose nesigurnostima pogriješaka fiktivnih očitavanja *brutovrijednosti* i *vrijednosti tare*.

7.4.4.2 Član δR_{time} uzima u obzir moguća djelovanja puzanja i histereze u situacijama kao što su ove:

- a) opterećenje pri umjeravanju neprekidno se povećavalo ili smanjivalo (metoda 2. ili 3. u podtočki 5.2), tako da je teret preostao na prijamniku tereta za određeno razdoblje; to je prilično važno gdje se primjenjivala zamjenska metoda, obično za vage velike sposobnosti vaganja. Pri normalnoj uporabi, diskretni teret koji treba vagati stavlja se na prijamnik tereta i drži tamo koliko je potrebno kako bi se dobilo očitavanje uz ispis pogriješke pokazivanja, može se razlikovati do vrijednosti dobivene za neki teret pri umjeravanju.

Kad se ispitivanja provode neprekidno s povećanjem i smanjenjem tereta, najveća razlika pogriješaka ΔE_j za neki ispitni teret m_j može se uzeti kao granična vrijednost tih djelovanja, što dovodi do relativne standardne nesigurnosti:

$$\hat{w}(R_{time}) = \Delta E_{j_{max}} / (m_j \sqrt{12}) \quad (7.4.4-6)$$

Kad se ispitivanja provode samo s povećanjem tereta, za procjenu relativne standardne nesigurnosti može se upotrebljavati pogriješka pri povratku na ništicu E_0 ako se određuje:

$$\hat{w}(R_{time}) = E_0 / (Max \sqrt{3}) \quad (7.4.4-7)$$

Kad ne postoje takvi podatci, granična se vrijednost može procijeniti za vage s tipnim odobrenjem prema normi EN 45501 [4] ili prema preporuci OIML R 76 [6] kao:

$$\Delta E(R) = R mpe(Max) / Max \quad (7.4.4-8)$$

Za vage bez takvog tipnog odobrenja konzervativna bi procjena bila višekratnik ($n = 3$ do 10 puta) te vrijednosti.

Relativna standardna nesigurnost jednaka je:

$$\hat{w}(R_{time}) = mpe(Max) / (Max \sqrt{3}) \quad \text{ili} \quad = n mpe(Max) / (Max \sqrt{3}) \quad (7.4.4-9)$$

- b) opterećenje pri umjeravanju bilo je s rasterećenjem između koraka opterećenja, tereti koji se važu drže se na prijamniku tereta dulje razdoblje. Kad ne postoje nikakvi podatci, npr. podatci o promjeni pokazivanja u tipičnome vremenskom razdoblju, može se po potrebi primijeniti rješenje iz formule (7.4.4-9).
- c) opterećenje pri umjeravanju samo s povećanjem tereta, vaganje se provodi u uporabi. Ta se situacija može smatrati radnjom obrnutom od uravnoteženja tare (vidi 7.4.4.1 kombinirana s točkom b)). Primjenjuju se formule (7.4.4-5) i (7.4.4-9).

Napomena: U slučaju vaganja s rasterećenjem očitavanje R mora se uzeti u obzir kao pozitivna vrijednost, premda se ono može označiti kao negativna vrijednost s pomoću vage.

7.4.4.3 Član δR_{ecc} predstavlja pogriješku zbog položaja izvan težišta tereta. Primjenjuje se podtočka 7.1.1.4 s preinakom, time što treba u potpunosti uzeti u obzir djelovanje otkriveno tijekom umjeravanja, tako da je:

$$\hat{w}(R_{ecc}) = (\Delta I_{ecc,i})_{max} / (L_{ecc} \sqrt{3}) \quad (7.4.4-10)$$

7.4.4.4 Gdje se važu pokretni predmeti, npr. žive životinje, pretpostavlja se da će se nesigurnost $u(\delta I_{rep})$ povećati. Za određivanje standardnog odstupanja s_{dyn} treba prema tomu upotrebljavati tipičan predmet s barem 5 vaganja, a $s(R)$ u formuli (7.4.1-5) treba zamijeniti sa s_{dyn} .

7.4.5 Standardna nesigurnost rezultata vaganja

Standardna se nesigurnost rezultata vaganja izračunava s pomoću članova specificiranih ovisno o primjeni u podtočkama 7.4.1 do 7.4.4.

Za rezultat vaganja pod uvjetima umjeravanja:

$$u^2(W^*) = d_0^2 / 12 + d_L^2 / 12 + s^2(R) + u^2(E) \quad (7.4.5-1a)$$

Za rezultat vaganja općenito:

$$u^2(W) = u^2(W^*) + [\hat{w}^2(R_{\text{temp}}) + \hat{w}^2(R_{\text{adj}}) + \hat{w}^2(R_{\text{Tare}}) + \hat{w}^2(R_{\text{time}}) + \hat{w}^2(R_{\text{ecc}})]R^2 + [s_{\text{dyn}}^2 - s^2(R)] \quad (7.4.5-1b)$$

Član $u^2(W^*)$ prikazan je masno kako bi se istaknulo da se primjenjuje u slučaju gdje po potrebi trebaju biti uključeni drugi članovi.

Mnogi doprinosi $u(W)$ mogu se grupirati u dva člana α_w^2 i β_w^2 :

$$u^2(W) = \alpha_w^2 + \beta_w^2 R^2 \quad (7.4.5-2)$$

gdje je α_w^2 zbroj kvadrata svih apsolutnih standardnih nesigurnosti, a β_w^2 zbroj kvadrata svih relativnih standardnih nesigurnosti.

7.5 Povećana nesigurnost rezultata vaganja

7.5.1 Pogreške prikazane ispravkom

Potpuna formula za rezultat vaganja koja je jednaka očitavanju ispravljenu za pogrešku određenu umjeravanjem ovisno o primjeni glasi:

$$W^* = R - E(R) \pm U(W^*) \quad (7.5-1a)$$

ili

$$W = R - E(R) \pm U(W) \quad (7.5-1b)$$

Povećana nesigurnost $U(W)$ određuje se kao:

$$U(W^*) = ku(W^*) \quad (7.5-2a)$$

ili

$$U(W) = ku(W) \quad (7.5-2b)$$

s $u(W^*)$ i $u(W)$ kako je primjenjivo iz podtočke 7.4.5.

Za $U(W^*)$ faktor pokrivanja k treba odrediti u skladu s podtočkom 7.3.

Za $U(W)$ faktor pokrivanja k bit će zbog velikoga broja članova koji čine $u(W)$ u većini slučajeva $k = 2$, čak i gdje se standardno odstupanje dobije iz svega nekoliko mjerenja, i/ili gdje je $k_{\text{cal}} > 2$ utvrđeno u potvrdi o umjeravanju.

U slučajevima sumnje k treba odrediti u skladu s podtočkom 7.3 za:

$$u(W(R = 0)) = \alpha_w \text{ i za}$$

$$u(W(R = Max)) = \sqrt{\alpha_w^2 + \beta_w^2 Max^2}$$

7.5.2 Pogreške uključene u nesigurnost

Umjerni laboratorij i korisnik mogu se dogovoriti da izvedu "globalnu nesigurnost" $U_{\text{gl}}(W)$ koja uključuje pogreške pokazivanja kao što su pogreške na koje se ne trebaju primjenjivati ispravci očitavanja u uporabi:

$$W = R \pm U_{\text{gl}}(W) \quad (7.5.2-1)$$

Osim ako su pogreške više-manje usredištene oko ničice, one čine jednostrani doprinos nesigurnosti koja se može obrađivati jedino na približan način. Radi jednostavnosti i prikladnosti "globalna je nesigurnost" najbolja u obliku izraza za cijelo područje vaganja, umjesto pojedinačnih vrijednosti koje se navode za stalne vrijednosti rezultata vaganja.

Neka je $E(R)$ funkcija ili E° jedna vrijednost koja predstavlja sve pogreške utvrđene u području vaganja u potvrdi o umjeravanju, tada kombinacija nesigurnosti u uporabi može načelno poprimiti jedan od oblika:

$$U_{gl}(W) = k \sqrt{u^2(W) + (E(R))^2} \quad (7.5.2-2)$$

$$U_{gl}(W) = k \sqrt{u^2(W) + (E^0)^2} \quad (7.5.2-2a)$$

$$U_{gl}(W) = k \sqrt{u^2(W) + (E^0)^2 (R/Max)^2} \quad (7.5.2-2b)$$

$$U_{gl}(W) = ku(W) + |E(R)| \quad (7.5.2-3)$$

$$U_{gl}(W) = ku(W) + |E^0| \quad (7.5.2-3a)$$

$$U_{gl}(W) = ku(W) + |E^0|R/Max \quad (7.5.2-3b)$$

Uzimajući u obzir format za $u(W)$ u (7.4.5-2b), formule (7.5.2-2b) i (7.5.2-3b) mogu biti prikladnije nego odgovarajuće verzije sa slovom "a".

Za generiranje formule $E(R)$ ili reprezentativne vrijednosti E^0 vidi dodatak C.

Važno je osigurati da u cijelome području vaganja globalna nesigurnost $U_{gl}(W)$ zadrži vjerojatnost pokrivanja koja nije manja od 95 %.

7.5.3 Drugi načini kvalifikacije vage

Korisnik može očekivati i zahtijevati od umjernog laboratorija izjavu o sukladnosti s danom specifikacijom kao $|W - R| \leq Tol$, pri čemu je Tol primjenjivo dopušteno odstupanje. Dopuštena odstupanja mogu se specificirati kao " $Tol = x$ % od R ", kao " $Tol = nd$ " ili slično.

Sukladnost se može iskazati u skladu s normom ISO/IEC 17025 pod uvjetom da je

$$|E(R)| + U(W(R)) \leq Tol(R) \quad (7.5.3-1)$$

za pojedinačne vrijednosti R ili za neke vrijednosti u cijelome području vaganja ili njegovu dijelu.

U istome području vaganja sukladnost se može iskazati za različite dijelove područja vaganja prema različitim vrijednostima Tol .

8 Potvrda o umjeravanju

Ova točka sadržava savjete o tome koje podatke može biti korisno dati u potvrdi o umjeravanju. Oni trebaju biti u skladu sa zahtjevima norme ISO/IEC 17025 koja ima prednost.

8.1 Opći podatci

Oznaka umjernog laboratorija
upućivanje na akreditaciju (akreditacijsko tijelo, broj akreditacije),
oznaka potvrde (broj potvrde, datum njezina izdavanja, broj stranica)
potpisi ovlaštenih osoba

Oznaka korisnika

Oznaka umjerene vage,
podatci o vagi (proizvođač, vrsta vage, Max , d , mjesto ugradbe)

Upozorenje da se potvrda može reproducirati samo u cijelosti, osim ako umjerni laboratorij ne dopusti drukčije u pismenome obliku.

Uputnica na višestrani sporazum o priznavanju EA između tijela za akreditaciju ako je to primjenjivo i ako se to želi.

8.2 Podatci o postupku umjeravanja

Datum mjerenja
mjesto umjeravanja i mjesto ugradbe ako je različito
uvjeti okoliša i/ili uporaba koji mogu utjecati na rezultate umjeravanja.

Podatci o vagi (provedeno ugađanje, sve anomalije funkcija, namještanja programske podrške koliko je to bitno za umjeravanje itd.)

Uputnice na promijenjeni postupak ili njegov opis ako to nije očito iz potvrde, npr. stalni vremenski odsječak uočen između opterećenja i/ili očitavanja.

Dogovori s korisnikom npr. u graničnome području umjeravanja, mjeriteljskim specifikacijama s kojima se iskazuje sukladnost.

Podatci o sljedivosti mjernih rezultata.

8.3 Mjerni rezultati

Pokazivanja i/ili pogriješke za primijenjene ispitne terete ili pogriješke koje se odnose na pokazivanja – kao diskretne vrijednosti i/ili jednadžbe koje nastaju zbog aproksimacija

podatci o postupku opterećenja ako su bitni za razumijevanje gore opisanog

određena standardna odstupanja označena u odnosu na jedno pokazivanje ili srednju vrijednost pokazivanja povećana mjerna nesigurnost za iskazane rezultate.

Prikaz faktora povećanja k s tumačenjem vjerojatnosti pokrivanja i razlog za $k \neq 2$ gdje je to primjenjivo.

Gdje pokazivanja/pogrješke nisu određene normalnim očitanjima (pojedinačna očitavanja s normalnim razlučivanjem vage), treba dati upozorenje da je iskazana nesigurnost manja nego što bi se to otkrilo normalnim očitanjima.

Korisnicima s manjim znanjem može biti po potrebi korisno dati savjet:

- o definiciji pogriješke pokazivanja
- kako ispraviti očitavanja u uporabi oduzimanjem odgovarajućih pogriješaka
- kako tumačiti pokazivanja i/ili pogriješke prikazane s manjim brojem desetičnih mjesta nego što je podjeljak ljestvice d .

Za sve pojedinačne pogriješke ili za funkciju $E(R)$ koja se dobije aproksimacijom može biti korisno navesti vrijednosti $U(W^*)$.

8.4 Dodatni podatci

U prilogu potvrdi (bez uključivanja u nju) mogu se dati dodatni podatci o mjernoj nesigurnosti koja se očekuje u uporabi, uključujući uvjete pod kojima je to primjenjivo.

Kad se pogriješke trebaju prikazati, za ispravak se može upotrebljavati ova formula:

$$W = R - E(R) \pm U(W) \quad (8.4-1)$$

praćena jednadžbom za $E(R)$.

Kad su pogriješke uključene u "globalnu nesigurnost", može se upotrebljavati ova formula:

$$W = R \pm U_{gl}(W) \quad (8.4-2)$$

Treba dodati izjavu da povećana nesigurnost vrijednosti iz formule odgovara vjerojatnosti pokrivanja od barem 95 %.

Opcionalno:

Izjava o sukladnosti s danom specifikacijom i po potrebi područje valjanosti.

Ta izjava može imati oblik:

$$W = R \pm Tol \quad (8.4-3)$$

a može se dati

- uz mjerne rezultate ili
- kao samostalna izjava s uputnicama na rezultate mjerenja za koje se tvrdi da se trebaju zadržati u umjerno-
me laboratoriju.

Izjava može biti praćena tumačenjem da su svi mjerni rezultati uvećani za povećanu mjernu nesigurnost u granicama specifikacije.

9 Vrijednost mase ili dogovorena vrijednost mase

Veličina W procjena je dogovorene vrijednosti mase m_c predmeta koji se važe.⁶⁾ Za određene primjene može biti potrebno iz W izvesti vrijednost mase m ili točniju vrijednost mase m_c .

Gustoća ρ ili obujam V predmeta zajedno s procjenom standardne nesigurnosti moraju biti poznati iz drugih izvora.

9.1 Vrijednost mase

Masa predmeta jednaka je:

$$m = W[1 + (1/\rho - 1/\rho_c)] \quad (9.1-1)$$

Ako se zanemare članovi drugog i viših redova, relativna standardna nesigurnost $\hat{w}(m)$ dana je izrazom:

$$\hat{w}^2(m) = \frac{u^2(W)}{W^2} + u^2(\rho_a) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right)^2 + \rho_a^2 \frac{u^2(\rho)}{\rho^4} \quad (9.1-2)$$

Za ρ_a i $u(\rho_a)$ (gustoća zraka) vidi dodatak A.

Ako su umjesto ρ_a i $u(\rho_a)$ poznati V i $u(V)$, ρ se može aproksimirati s W/V , a $u(\rho)$ može se zamijeniti s $u(V)$.

9.2 Dogovorena vrijednost mase

Dogovorena vrijednost mase predmeta jednaka je:

$$m_c = W[1 + (\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_c)] \quad (9.2-1)$$

Zanemarivanjem članova drugog i viših redova relativna standardna nesigurnost $\hat{w}(m_c)$ dana je izrazom:

$$\hat{w}^2(m_c) = \frac{u^2(W)}{W^2} + u^2(\rho_a) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 \frac{u^2(\rho)}{\rho^4} \quad (9.2-2)$$

Primjenjuju se ista tumačenja kao u (9.1-2).

6) U većini slučajeva, posebno kad se rezultati upotrebljavaju u trgovini vrijednost W se upotrebljava kao rezultat vaganja.

10 Bibliografija

- [1] *Guide to the expression of Uncertainty in Measurement*, first edition 1993, ISO (Geneva, Switzerland)
- [2] *EA-4/02: Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, edition 1, December 1999 (previously EAL-R2, with Supplements EAL-R2-S1, Nov. 1997, and EA-4/02-S2, May 1999)
- [3] *OIML R111, Weights of Classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₂, M₃*, edition 1994
- [4] *EN 45501: Metrological Aspects of Non-automatic Weighing Instruments*, edition 1992 with supplement 1994
- [5] *OIML R111, Weights of Classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃, M₃*, Draft January 2004
- [6] *OIML R 76: Non-automatic Weighing Instruments – Part 1: Metrological Requirements – Tests*, edition 1992 with supplement 1994
- [7] *Davis, R. S.: Equation for the Determination of the Density of Moist Air (1981/91)*. *Metrologia* 29 (1992), p. 67–70
- [8] *M. Glaeser: Change of the apparent mass of weights arising from temperature differences*, *Metrologia* 36 (1999), p. 183–197
- [9] *ISO 31 Quantities and Units (1993) – Part 11: Mathematical Signs and Symbols for use in physical sciences and technology*
- [10] *VIM, International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*, 2nd edition 1994
- [11] *Determination of Mass – Part 1: Dissemination of the unit of mass*, by R. Balhorn, D. Buer, M. Gläser and M. Kochsiek, PTB-Bericht MA-24, 2nd revised edition, Braunschweig, April 1992

Dodatak A

Savjet za procjenu gustoće zraka

Napomena: U dodatku A za temperaturu u K upotrebljava se znak T , a za temperaturu u °C znak t .

A.1 Formule za gustoću zraka

Najtočnija je formula za određivanje gustoće vlažnog zraka formula koju preporučuje BIPM [7]. Potrebe ovih uputa zadovoljavaju jednostavnije formule koje daju manje točne rezultate.

A.1.1 Pojednostavnjena verzija formule BIPM-a, eksponencijalna verzija

Iz [5], točka E.3:

$$\rho_a = \frac{0,34848p - 0,009h_r \exp(0,062t)}{273,15 + t} \quad (\text{A1.1-1})$$

gdje je:

- ρ_a gustoća zraka dobivena u kg m^{-3}
- p barometarski tlak dan u hPa
- h_r relativna vlažnost izražena kao postotak i
- t temperatura u °C.

Ta formula daje rezultat s $u_{\text{form}} / \rho_a \leq 2 \times 10^{-4}$ pod sljedećim uvjetima okoliša (nisu uključene mjerne nesigurnosti veličina p , h_r , t)

- 900 hPa $\leq p \leq$ 1100 hPa
- $h_r \leq 80$ %.
- 10 °C $\leq t \leq$ 30 °C

A.1.2 Pojednostavnjena verzija formule BIPM-a, uobičajena verzija

Prema [11] taj se izraz može napisati:

$$\rho_a = \frac{0,348444p - h_r(0,00252t - 0,020582)}{273,15 + t} \quad (\text{A1.2-1})$$

s gornjim znakovima.

Ta formula daje rezultat s $\Delta\rho_{a,\text{form}} \leq 0,0005 \text{ kg/m}^3$ pod sljedećim uvjetima okoliša (nisu uključene mjerne nesigurnosti veličina p , h_r , t)

- p 940 hPa $\leq p \leq$ 1080 hPa
- h_r $h_r \leq 80$ %
- t 20 °C $\leq t \leq$ 30 °C i

$\Delta\rho_{a,\text{form}}$ razlika je između vrijednosti iz te formule i odgovarajućih vrijednosti iz formule BIPM-a. Prema tomu sastavljena standardna nesigurnost $\hat{w}(\rho_{a,\text{form}})$ dana je izrazom:

$$\hat{w}^2(\rho_{a,\text{form}}) = (1 \times 10^{-4})^2 + ((0,0005 \text{ kg/m}^3) / (1,2 \text{ kg/m}^3))^2 / 3 = 6,787 \times 10^{-8} \quad (\text{A1.2-2})$$

$$\hat{w}(\rho_{a,\text{form}}) = 2,61 \times 10^{-4} \quad (\text{A1.2-3})$$

A.1.3 Boyle-Mariotteova formula

Iz temeljne formule $p/\rho = RT$ slijedi:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a,\text{ref}} T_{\text{ref}} p}{T p_{\text{ref}}} \quad (\text{A1.3-1})$$

Referentna se vrijednost može po volji odabrati. To mogu biti stvarne vrijednosti određene u vrijeme umjeravanja ili bilo koji drugi prikladan skup vrijednosti.

Veoma prikladna preinaka te formule može se dati na sljedeći način:

$$\rho_a = 0,99265 \frac{(1,20131 \text{ kg/m}^3)(293,15 \text{ K})p}{(273,15 + t)(1015 \text{ hPa})} \quad (\text{A1.3-2})$$

što daje vrijednosti u granicama $\pm 1,2 \%$ od BIPM-ovih vrijednosti (za opravdanje i područje valjanosti vidi A1.4).

A.1.4 Formula pogrješaka

Uzorak izračuna uporabom EXCEL-a proveden je za usporedbu rezultata gustoće zraka dobivenih gornjom formulom u odnosu na vrijednosti BIPM-a koje se temelje na $x_{\text{CO}_2} = 0,0004$.

Usporedbe su provedene na sljedećim rasponima/koracima parametara:

Temperatura $t = -10 \text{ }^\circ\text{C} \dots 10 \text{ }^\circ\text{C} \dots +40 \text{ }^\circ\text{C}$

Barometarski tlak: $p = 965 \text{ hPa} \dots 25 \text{ hPa} \dots 1065 \text{ hPa}$

Relativna vlažnost: $h_r = 20 \text{ } \% \dots 15 \text{ } \% \dots 80 \text{ } \%$

Najveća razlika između bilo koje vrijednosti iz jednostavnije formule i odgovarajuće vrijednosti BIPM-a izražena u $\%$ vrijednosti BIPM-a bila je:

| Formula | Krajnja razlika | najveća | najmanja |
|-----------|---|-----------|-----------|
| (A.1.1-1) | | + 0,004 % | - 0,164 % |
| (A.1.2-1) | | + 1,138 % | - 0,003 % |
| (A.1.3-1) | Referencija $\rho_a = 1,20013 \text{ kg/m}^3$ | + 1,932 % | - 0,450 % |
| (A.1.3-2) | Referencija $\rho_a = 1,19248 \text{ kg/m}^3$ | + 1,182 % | - 1,181 % |

Napomena: Za $\rho_a = 1,20013 \text{ kg/m}^3$ referentne su vrijednosti $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1014 \text{ hPa}$, $h_r = 50 \text{ } \%$. U posljednjem retku, referentne vrijednosti bile su $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1015 \text{ hPa}$, $h_r = 50 \text{ } \%$, dok je referentna gustoća zraka navoljno postavljena na vrijednost:

$$\rho_{a,\text{ref}} = (1,20131 \text{ kg/m}^3) (1 - 0,735 \text{ } \%) = 1,19248 \text{ kg/m}^3$$

kako bi se dobila jednolična razdioba u + i - u granicama najviših razlika u odnosu na vrijednosti BIPM-a.

A.1.5 Prosječna gustoća zraka

Gdje nije moguće mjerenje temperature i barometarskoga tlaka, srednja gustoća zraka na tome mjestu može se izračunati iz nadmorske visine prema preporuci iz [5], formula E.8:

$$\rho_a = \rho_0 \exp\left(-\frac{\rho_0}{p_0} gh\right) \quad (\text{A1.5-1})$$

gdje je: $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$

$$\rho_0 = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$$

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2} \text{ i}$$

$h =$ nadmorska visina izražena u metrima.

A.2 Varijacije parametara koji čine gustoću zraka

A.2.1 Barometarski tlak

Prosječni barometarski tlak p_{av} može se procijeniti iz nadmorske visine h u m na tome mjestu uporabom odnosa:

$$p(h) = p(\text{SL}) - h \times (0,12 \text{ hPa/m}) \quad (\text{A2.1-1})$$

s $p(\text{SL}) = 1013,12 \text{ hPa}$

Na nekom danom mjestu, najveća je promjena $\Delta p = \pm 40$ hPa oko prosječne vrijednosti⁷⁾. U tim granicama razdioba nije pravokutna jer se krajnje vrijednosti pojavljuju samo jednom u nekoliko godina. Realističnije je pretpostaviti normalnu razdiobu s Δp čija je vrijednost jednaka "2 σ " ili čak "3 σ ". Prema tomu:

$$u(\Delta p) = 20 \text{ hPa (za } k = 2) \quad \text{ili} \quad u(\Delta p) = 13,3 \text{ hPa (za } k = 3) \quad (\text{A2.1-2})$$

A.2.2 Temperatura

Moguća promjena temperature $\Delta t = t_{\max} - t_{\min}$ na mjestu uporabe vage može se procijeniti iz podataka koji se lako dobiju iz:

- granica koje navodi korisnik iz svojega iskustva
- očitanja iz odgovarajućih zapisa
- namještanja upravljačkog uređaja kad je prostorija klimatizirana ili temperaturno stabilizirana;

u slučaju nepostojanja tih podataka treba primijeniti temeljitu procjenu, što dovodi do npr.:

- 17 °C $\leq t \leq$ 27 °C za zatvoreni ured ili laboratorij s prozorima
- $\Delta t \leq 5$ K za zatvorene prostorije u središtu zgrade
- 10 °C $\leq t \leq$ 30 °C ili $\leq + 40$ °C za otvorene radionice i tvorničke hale.

U otvorenim radionicama ili tvorničkim halama gdje prevladava atmosferska temperatura vjerojatno se kao ni za baromatarski tlak neće pojavljivati pravokutna razdioba. Međutim kako bi se za različite prostorije izbjegle različite pretpostavke, preporučuje se da se pretpostavi pravokutna razdioba, što dovodi do procjene nesigurnosti:

$$u(\Delta t) = \Delta t / \sqrt{12} \quad (\text{A2.2-1})$$

A2.3 Relativna vlažnost

Promjene relativne vlažnosti $\Delta h_r = h_{r,\max} - h_{r,\min}$ na mjestu uporabe vage mogu se procijeniti iz podataka koji se lako dobiju iz:

- granica koje navodi korisnik iz svojega iskustva
- očitanja iz prikladnih zapisa
- namještanja upravljačkog uređaja kad je prostorija klimatizirana ili temperaturno stabilizirana

u slučaju nepostojanja tih podataka treba primijeniti npr.

- 30 % $\leq h_r \leq$ 80 % za zatvoreni ured ili laboratorij s prozorima
- $\Delta h_r \leq 30$ % za zatvorene prostorije u središtu zgrade
- 20 % $\leq h_r \leq$ 80 % za otvorene radionice, tvorničke hale.

Treba imati na umu da:

- pri $h_r < 40$ % na rezultat vaganja vaga s većim razlučivanjem mogu utjecati elektrostatička djelovanja
- pri $h_r > 60$ % može se započeti pojavljivati korozija.

U otvorenim radionicama ili tvorničkim halama gdje prevladava atmosferska relativna vlažnost vjerojatno se kao ni za barometarski tlak neće pojavljivati pravokutna razdioba. Međutim kako bi se za različite prostorije izbjegle različite pretpostavke, preporučuje se da se pretpostavi pravokutna razdioba, što dovodi do procjene nesigurnosti:

$$u(\Delta h_r) = \Delta h_r / \sqrt{12} \quad (\text{A2.3-1})$$

A3 Nesigurnost gustoće zraka

Standardna nesigurnost gustoće zraka $u(\rho_a)$ može se izračunati iz izraza:

7) Primjer: U Hannoveru (Njemačka) razlika između najvećega i najmanjega barometarskog tlaka koja je ikad opažena tijekom 20 godina bila je 77,1 hPa (podatci iz DWD-a, Njemačke meteorološke službe).

$$u^2(\rho_a) = c_p^2 u^2(\Delta p) + c_t^2 u^2(\Delta t) + c_{hr}^2 u^2(\Delta h_r) \quad (\text{A3.1-1})$$

s koeficijentima osjetljivosti (izvedenim iz formule BIPM-a za gustoću zraka)

$$c_p = 1,19\text{E}^{-3} \text{ za barometarski tlak } (p, \Delta p \text{ u hPa})$$

$$c_t = -4,5\text{E}^{-3} \text{ za temperaturu } (t \text{ u } ^\circ\text{C})$$

$$c_{hr} = -10,5\text{E}^{-3} \text{ za relativnu vlažnost } (h_r \text{ kao desetični udio})$$

Primjeri standardnih nesigurnosti gustoće zraka izračunani za različite parametre

| Δp / hPa | Δt / $^\circ\text{C}$ | Δh_r | $c_p u(\Delta p)$ | $c_t u(\Delta t)$ | $c_{hr} u(\Delta h_r)$ | $u(\rho_a)$ / kgm^{-3} | Razdioba |
|------------------|-------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 40 | 2 | 0,2 | 0,01587 | -0,00260 | -0,00061 | 0,0161 | Normalna |
| 40 | 2 | 1 | 0,01587 | -0,00260 | -0,00303 | 0,0164 | Normalna |
| 40 | 5 | 0,2 | 0,01587 | -0,00650 | -0,00061 | 0,0172 | Normalna |
| 40 | 5 | 1 | 0,01587 | -0,00650 | -0,00303 | 0,0174 | Normalna |
| 40 | 10 | 0,2 | 0,01587 | -0,01299 | -0,00061 | 0,0205 | Normalna |
| 40 | 10 | 1 | 0,01587 | -0,01299 | -0,00303 | 0,0207 | Normalna |
| 40 | 20 | 0,2 | 0,01587 | -0,02598 | -0,00061 | 0,0304 | Normalna |
| 40 | 20 | 1 | 0,01587 | -0,02598 | -0,00303 | 0,0306 | Normalna |
| 40 | 30 | 0,2 | 0,01587 | -0,03897 | -0,00061 | 0,0421 | Normalna |
| 40 | 30 | 1 | 0,01587 | -0,03897 | -0,00303 | 0,0422 | Normalna |
| 40 | 40 | 0,2 | 0,01587 | -0,05196 | -0,00061 | 0,0543 | Normalna |
| 40 | 40 | 1 | 0,01587 | -0,05196 | -0,00303 | 0,0544 | Normalna |
| 40 | 50 | 0,2 | 0,01587 | -0,06495 | -0,00061 | 0,0669 | Pravokutna ⁸⁾ |
| 40 | 50 | 1 | 0,01587 | -0,06495 | -0,00303 | 0,0669 | Pravokutna |

Koeficijent osjetljivosti c_t za temperaturu može se razlikovati do 3 % od gore navedene vrijednosti, ovisno o stvarnoj promjeni gustoće koja je posljedica različitih raspona temperature (vidi sljedeću tablicu). To međutim nije važno za normalne uvjete.

Koeficijenti osjetljivosti c_t za gustoću zraka

Referentni uvjeti su: $p = 1014$ hPa, $t = 20$ $^\circ\text{C}$, $h_r = 50$ %

| Δt | | +/- 5 $^\circ\text{C}$ | +/- 10 $^\circ\text{C}$ | +/- 15 $^\circ\text{C}$ | +/- 20 $^\circ\text{C}$ | +/- 25 $^\circ\text{C}$ | +/- 30 $^\circ\text{C}$ | -10 $^\circ\text{C}$ / +40 $^\circ\text{C}$ |
|------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| c_t | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 0,004463 [#] | 0,004438 | 0,00445 | 0,00447 | 0,004498 | 0,004534 | 0,004578 | 0,004601 |

uzeto iz formule BIPM-a za gustoću zraka

Koeficijenti različiti od uzetih iz formule BIPM-a jednaki su količnicima razlike u ρ_a i odgovarajućoj razlici temperature t .

8) Prevladavajući utjecaj na razdiobu daje doprinos od temperature c_t , $u(\Delta t)$.

Dodatak B

Faktor pokrivanja k za povećanu mjernu nesigurnost

Napomena: U ovome dodatku opći znak y koji se upotrebljava za mjerni rezultat nije posebna veličina kao što su pokazivanje, pogreška, masa tijela koje se važe itd.

B1 Cilj

Faktor pokrivanja k mora se u svim slučajevima odabrati tako da povećana nesigurnost ima vjerojatnost pokrivanja od približno 95 %.

B2 Temeljni uvjeti za primjenu faktora pokrivanja $k = 2$

Faktor $k = 2$ primjenjuje se kad su zadovoljeni sljedeći uvjeti:

kad se izlaznoj veličini y može dodijeliti **normalna razdioba te kad je $u(y)$ dostatno pouzdano** (vidi [2], točku 5.1)

Normalna se razdioba može **pretpostaviti** gdje više (tj. $N \geq 3$) sastavnica nesigurnosti, od kojih je svaka izvedena iz razdioba "dobroga ponašanja" (normalna, pravokutna i sl.), doprinosi nesigurnosti $u(y)$ u usporedivome iznosu, vidi [2], točku 5.2.

Napomena: To podrazumijeva da ni jedan od doprinosa nesigurnosti s razdiobom različitom od normalne nema dominantnu vrijednost kako je definirana u B.3.2.

Dostatna pouzdanost ovisi o stvarnome broju stupnjeva slobode. Taj je kriterij zadovoljen kad se ni jedan doprinos tipa A nesigurnosti $u(y)$ ne temelji na manje od 10 opažanja, vidi [2], točku 5.3.

B3 Određivanje faktora pokrivanja k u drugim slučajevima

U svakome od sljedećih slučajeva povećana nesigurnost je $U(y) = ku(y)$.

B.3.1 Razdioba za koju se pretpostavlja da je normalna

Kad se može pretpostaviti da je razdioba izlazne procjene y normalna, ali $u(y)$ nije dostatno pouzdano (vidi B.2), tada se stvarni broj stupnjeva slobode v_{eff} treba odrediti uporabom Welch-Satterthwaiteove formule, a $k > 2$ očitava se iz odgovarajuće tablice kao u [2], dodatak E.

B.3.2 Razdioba koja nije normalna

U danome slučaju može biti očito da $u(y)$ sadržava jednu sastavnicu nesigurnosti $u_1(y)$ tipa B iz doprinosa čija razdioba nije normalna, nego npr. pravokutna ili trokutna. U takvome se slučaju $u(y)$ rastavlja na (možda dominantni) dio u_1 i $u_R =$ drugi korijen iz zbroja $\sum u_j^2$ s $j \geq 2$, sastavljenu standardnu nesigurnost koja se sastoji od preostalih doprinosa, vidi [(2, S.8 – S.10)].

Ako je $u_R \leq 0,3u_1$, tada se u_1 smatra dominantnom sastavnicom, a razdioba izlazne procjene y smatra se u biti istovjetnom razdiobi te dominantne sastavnice. Faktor povećanja odabire se u skladu s oblikom razdiobe dominantne sastavnice:

za trapeznu razdiobu s $\beta < 0,95$:

(β je parametar osnovice, omjer manje i veće osnovice trapeza)

$$k = \{1 - \sqrt{[0,05(1 - \beta^2)]}\} / \sqrt{[(1 + \beta^2) / 6]} \quad \text{vidi [2, S10.13]}$$

za pravokutnu razdiobu ($\beta = 1$):

$$k = 1,65 \quad \text{vidi [2, (S10.14)]}$$

za trokutnu razdiobu ($\beta = 0$):

$$k = 1,90$$

za U-razdiobu:

$$k = 1,41$$

Dominantna sastavnica može sama biti sastavljena od 2 dominantne sastavnice $u_1(y)$, $u_2(y)$, npr. 2 pravokutne razdiobe koje daju trapeznu razdiobu, pri čemu će se u_R odrediti iz preostalih u_j s $j \geq 3$.

Dodatak C:

Formule za opis pogriješaka pokazivanja

C1 Cilj

Ovaj dodatak daje upute kako se iz diskretnih vrijednosti dobivenih umjeravanjem i/ili predočenih u potvrdi o umjeravanju izvode pogriješke i kako im se dodjeljuju nesigurnosti za druga očitavanja R u umjerenome području vaganja.

Pretpostavlja se da umjeravanje daje n skupova podataka I_{Nj} , E_j , U_j ili alternativno m_{Nj} , I_j , U_j , zajedno s faktorom povećanja k te da se pokazuje razdiobom pogriješaka E na kojoj se temelji k .

U svakome slučaju smatra se da je nazivno pokazivanje I_{Nj} jednako $I_{Nj} = m_{Nj}$. Nadalje se smatra da za svako m_{Nj} pogriješka E_j ostaje ista ako se I_j zamijeni s I_{Nj} , te je prema tomu dostatno pogledati podatke I_{Nj} , E_j , u_j i radi jednostavnosti izostaviti indeks N .

C2 Funkcionalni odnosi

C2.1 Interpolacija

Postoji nekoliko polinomskih formula za interpolaciju⁹⁾, između vrijednosti utabličениh u odnosu na ekvidistantne vrijednosti argumenata koje se prilično lako upotrebljavaju. Ispitni tereti u mnogim slučajevima međutim ne moraju ne biti ekvidistantni, što bi dovelo do prilično složenih interpolacijskih formula kad bi se tražila jedna formula koja pokriva cijelo područje vaganja.

Linearna se interpolacija između susjednih točaka može provesti s pomoću formule:

$$E(R) = E(I_k) + (R - I_k)(E_{k+1} - E_k) / (I_{k+1} - I_k) \quad (C2.1-1)$$

$$U(R) = U(I_k) + (R - I_k)(U_{k+1} - U_k) / (I_{k+1} - I_k) \quad (C2.1-2)$$

za očitavanje R pri $I_k < R < I_{k+1}$. Za procjenu moguće pogriješke interpolacije bili bi potrebni polinomi višeg reda, što se dalje ne razrađuje.

C2.2 Aproksimacija

Aproksimaciju treba provoditi izračunima ili algoritmima koji se temelje na aproksimaciji "najmanjem χ^2 ".

$$\chi^2 = \sum p_j v_j^2 = \sum p_j (f(I_j) - E_j)^2 = \text{minimum} \quad (C2.2-1)$$

gdje je:

p_j = težinski faktor (razmjeran $1/u_j^2$)

v_j = ostatak

f = funkcija aproksimacije koja sadržava n_{par} parametara

Zajedno s koeficijentima funkcije aproksimacije zbroj kvadrata odstupanja treba odrediti prema formuli (C.2.2-1), što je označeno članom $\min \chi^2$. To služi za provjeru valjanosti aproksimacije.

Ako su zadovoljeni sljedeći uvjeti:

$$|\min \chi^2 - v| \leq \beta \sqrt{2v} \quad (C2.2-2)$$

s

$v = n - n_{\text{par}}$ = broj stupnjeva slobode

β = odabrani faktor treba biti 1, 2 (vrijednost koja se najviše primjenjuje) ili 3

9) Smatra se da interpolacijska formula daje točno dane vrijednosti između kojih se provodi interpolacija. Aproksimacijska formula normalno ne će dati točne vrijednosti.

opravdano je pretpostavljati da je oblik funkcije modela $E(I)$ matematički konzistentan s podatcima koji leže u temelju aproksimacije.

C2.2.1 Aproksimacija polinomima

Aproksimacija polinomima daje opću funkciju:

$$E(R) = f(R) = a_0 + a_1R + a_2R^2 + \dots + a_{na}R^{na} \quad (\text{C.2.2-3})$$

Indeks/eksponent n_a koeficijenata treba se odabrati tako da bude:

$$n_{\text{par}} = n_a + 1 \leq n/2.$$

Izračun se najbolje provodi matičnim računom.

Neka je:

X matrica čijih je n redaka $(1, I_j, I_j^2, \dots, I_j^{na})$

a vektor stupac čije su sastavnice koeficijenti $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{na}$ aproksimacijskog polinoma

e vektor stupac čijih su n sastavnica koeficijenti E_j

$U(e)$ matrica nesigurnosti E_j .

$U(e)$ je dijagonalna matrica čiji su elementi $u_{jj} = u^2(E_j)$ ili je izvedena kao potpuna matrica var/cov.

Matrica vaganja P jednaka je:

$$P = U(e)^{-1} \quad (\text{C.2.2-4})$$

a koeficijenti a_0, a_1, a_2, \dots nalaze se rješavanjem normalne jednačbe:

$$X^T P X a - X^T P e = \mathbf{0} \quad (\text{C.2.2-5})$$

s rješenjem:

$$a = (X^T P X)^{-1} X^T P e \quad (\text{C.2.2-6})$$

Odstupanja $v_j = f(I_j) - E_j$ sadržana su u vektoru

$$v = X a - e \quad (\text{C.2.2-7})$$

a $\min \chi^2$ se dobije iz izraza:

$$\min \chi^2 = v^T P v \quad (\text{C.2.2-8})$$

Uz pretpostavku da je ispunjen uvjet (C.2.2-2), varijancije i kovarijancije za koeficijente a_i dane su matricom:

$$U(a) = (X^T P X)^{-1} \quad (\text{C.2.2-9})$$

Kad nije ispunjen uvjet (C.2.2-2), može se primijeniti jedan od ovih postupaka:

a: ponoviti aproksimaciju s većim brojem n_a koeficijenata pod uvjetom da je $n_a + 1 \leq n/2$

b: ponoviti aproksimaciju nakon povećanja svih vrijednosti nesigurnosti u_j , npr. množenjem prikladnim faktorom $c > 1$.

($\min \chi^2$ je razmjerno $1/c^2$)

Rezultati aproksimacije a i $U(a)$ mogu se upotrebljavati za određivanje pogrješaka aproksimacije i pridruženih nesigurnosti za n točaka umjeravanja I_j .

Pogrješke $E_{\text{app}rj}$ sadržane su u vektoru

$$e_{\text{appr}} = X a \quad (\text{C.2.2-10})$$

s nesigurnostima danim izrazom:

$$u^2(E_{\text{app}rj}) = \text{dijag}(X U(a) X^T) \quad (\text{C.2.2-11})$$

Oni također služe za određivanje pogrješke i dodijeljene nesigurnosti za svako drugo očitavanje – koje se naziva očitanjem R kako bi se razlikovalo od pokazivanja I_j s umjerenim područjem vaganja.

Neka je

\mathbf{r} vektor stupac čiji su elementi $(1, R, R^2, \dots, R^{na})^T$,

\mathbf{r}' vektor stupac čiji su elementi derivacije $(0, 1, 2R, 3R^2, \dots, naR^{na-1})^T$,

Pogrješka je dana izrazom:

$$E_{\text{appr}} = \mathbf{r}'^T \mathbf{a} \quad (\text{C.2.2-12})$$

a nesigurnost izrazom:

$$u^2(E_{\text{appr}}) = (\mathbf{r}'^T \mathbf{a}) \mathbf{U}(R) (\mathbf{r}'^T \mathbf{a})^T + \mathbf{r} \mathbf{U}(\mathbf{a}) \mathbf{r}^T \quad (\text{C.2.2-13})$$

Kako su sve 3 matrice samo jednodimenzionalne, prvi se član na desnoj strani pojednostavnjuje na:

$$(\mathbf{r}'^T \mathbf{a}) \mathbf{U}(R) (\mathbf{r}'^T \mathbf{a})^T = (a_1 + 2a_2R + \dots + n_a a_{na} R^{na-1})^2 u^2(R) \quad (\text{C.2.2-14})$$

s $u^2(R) = d_0^2/12 + d_R^2/12 + s^2(I)$ kao u (7.1.1-11).

Napomena: Taj pristup nije istovjetan pristupu na kojemu se temelji primjer H3 u [1].

C2.2.2 Aproksimacija pravcem

Mnoge su suvremene vage dobro konstruirane te imaju unutrašnje ispravljanje kako bi se postigla dobra linearnost funkcije $I = f(m)$. Prema tomu pogrješke su uglavnom posljedica neispravna ugađanja i rastu razmjerno R . Za takve vage može biti prilično prikladno ograničiti polinom na linearnu funkciju pod uvjetom da je to zadovoljavajuće s obzirom na uvjet iz (C.2.2-2).

Za standardno rješenje treba primijeniti (C.2.2-3) s $n_a = 1$:

$$E(R) = f(R) = a_0 + a_1 R \quad (\text{C.2.2-15})$$

Jedna je varijanta da se namjesti $a_0 = 0$, a određuje samo a_1 . To se može opravdati činjenicom da zbog namještanja ništice (barem za veće terete) pogrješka $E(R = 0)$ postaje automatski = 0.

$$E(R) = f(R) = a_1 R \quad (\text{C.2.2-16})$$

Druga je varijanta da se definira koeficijent a ($= a_1$ u (C.2.2-16)) kao srednja vrijednost svih gradijenata $q_j = E_j / I_j$. To omogućuje uključivanje pogrješaka netopokazivanja nakon uravnoteženja tare, ako su one određene pri umjeravanju:

$$a = \Sigma(E_j / I_j) / n \quad (\text{C.2.2-17})$$

Izračuni, osim za varijantu (C.2.2-17), mogu se provesti uporabom matričnih formula iz podtočke C2.2.1.

Druge mogućnosti dane su u nastavku.

C2.2.2.1 Linearna regresija prema (C.2.2-12) može se provesti s pomoću većine standardnih džepnih računala.

Korespondencija između rezultata tipično je:

"presjek" $\Leftrightarrow a_0$

"nagib" $\Leftrightarrow a_1$

Međutim računala ne moraju moći obavljati linearnu regresiju koja se temelji na podacima o pogrješci vaganja ili linearnu regresiju s $a_0 = 0$.

C2.2.2.2 Za olakšanje programiranja izračuna s pomoću računala u nematričnome zapisu u nastavku su prikazane bitne formule. Sve formule uključuju faktore vaganja $p_j = 1 / u^2(E_j)$.

Radi jednostavnosti uz sve su znakove I, E, p izostavljeni indeksi "j"

a) linearna regresija za izraz (C.2.2-15)

$$a_0 = \frac{\sum pE \sum pI^2 - \sum pI \sum pIE}{\sum p \sum pI^2 - (\sum pI)^2} \quad (\text{C.2.2-15a})$$

$$a_1 = \frac{\sum p \sum pIE - \sum pE \sum pI}{\sum p \sum pI^2 - (\sum pI)^2} \quad (\text{C.2.2-15b})$$

$$\min \chi^2 = \sum p(a_0 + a_1 I - E)^2 \quad (\text{C2.2-15c})$$

$$u^2(a_0) = \frac{\sum p I^2}{\sum p \sum p I^2 - (\sum p I)^2} \quad (\text{C2.2-15d})$$

$$u^2(a_1) = \frac{\sum p}{\sum p \sum p I^2 - (\sum p I)^2} \quad (\text{C2.2-15e})$$

$$\text{cov}(a_0, a_1) = \frac{\sum p I}{\sum p \sum p I^2 - (\sum p I)^2} \quad (\text{C2.2-15f})$$

Izraz (C2.2-15) primjenjuje se na približnu pogrješku očitavanja R , a nesigurnost približenja $u(E_{\text{appr}})$ dana je izrazom:

$$u^2(E_{\text{appr}}) = a_1^2 u^2(R) + u^2(a_0) + R^2 u^2(a_1) + 2R \text{cov}(a_0, a_1) \quad (\text{C2.2-15g})$$

b) linearna regresija s $a_0 = 0$

$$a_1 = \sum p I E / \sum p I^2 \quad (\text{C2.2-16a})$$

$$\min \chi^2 = \sum p (a_1 I - E)^2 \quad (\text{C2.2-16b})$$

$$u^2(a_1) = 1 / \sum p I^2 \quad (\text{C2.2-16c})$$

Izraz (C2.2-16) primjenjuje se na približnu pogrješku očitavanja R , nesigurnost približenja $u(E_{\text{appr}})$ dana je izrazom:

$$u^2(E_{\text{appr}}) = a^2 u^2(R) + R^2 u^2(a_1) \quad (\text{C2.2-16d})$$

c) srednja vrijednost gradijenta

U toj varijanti nesigurnosti su $u(E_j)/I_j = u(E_j) / I_j$ i $p_j = I_j^2 / u^2(E_j)$

$$a = (\sum p E / I) / \sum p \quad (\text{C2.2-17a})$$

$$\min \chi^2 = \sum p (a - E / I)^2 \quad (\text{C2.2-17b})$$

$$u^2(a) = 1 / \sum p \quad (\text{C2.2-17c})$$

Formula (C2.2-16) primjenjuje se na približnu pogrješku očitavanja R , koja može također biti netopokazivanje, a nesigurnost približenja $u(E_{\text{appr}})$ dana je formulom:

$$u^2(E_{\text{appr}}) = a^2 u^2(R) + R^2 u^2(a) \quad (\text{C2.2-17d})$$

C3 Članovi bez odnosa s očitanjima

Dok članovi koji nisu funkcija pokazivanja ne pružaju nikakvu procijenjenu vrijednost za pogrješku koju treba očekivati za dano očitavanje u uporabi, oni mogu biti korisni za izvođenje "globalne nesigurnosti" navedene u 7.5.2.

C3.1 Srednja pogrješka

Srednja vrijednost svih pogrješaka jednaka je:

$$E^0 = \bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_j \quad (\text{C3.1-1})$$

sa standardnim odstupanjem:

$$s(E) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\bar{E} - E_j)^2} = u_{\text{appr}} \quad (\text{C3.1-2})$$

Napomena: Točka $I = 0$, $E = 0$ mora biti uključena kao I_1 , E_1 .

Kad je \bar{E} u blizini ničice, u formuli se (7.5.2-2a) može dodati samo $s^2(E)$. U drugim slučajevima, posebno kad je $|E| \geq u(W)$, treba upotrebljavati formulu (7.5.2-3a) s $u(W)$ povećanim za $u_{\text{appr}} = s(E)$.

C3.2 Najveća pogreška

Pod "najvećom pogreškom" razumijeva se najveća apsolutna vrijednost svih pogrešaka:

$$E_{\text{max}} = |E_j|_{\text{max}} \quad (\text{C3.2-1})$$

C3.2.1 S $E^0 = E_{\text{max}}$ izraz (7.5.2-3a) bi naravno opisivao "globalnu nesigurnost" koja bi pokrivala svaku pogrešku u području vaganja s vjerojatnošću pokrivanja višom od 95 %. Prednost je te formule što je jednostavna i izravna.

C3.2.2 Uz pretpostavku pravokutne razdiobe svih pogrešaka u (fiktivnome) području $\pm E_{\text{max}}$, E^0 bi se moglo definirati kao standardno odstupanje pogrešaka

$$E^0 = E_{\text{max}} / \sqrt{3} \quad (\text{C3.2-2})$$

koje treba uvrstiti u formulu (7.5.2-2a).

Dodatak D

Znakovi i nazivi

D1 Znakovi za opću primjenu

U nastavku se daju popis i objašnjenja znakova koji se upotrebljavaju u više odsječaka glavnoga dokumenta

| Znak | Definicija | Jedinica |
|-------------|---|----------|
| C | Ispravak | |
| D | Klizenje, promjena vrijednosti s vremenom | |
| <i>E</i> | Pogrješka (pokazivanja) | g, kg, t |
| <i>I</i> | Pokazivanje vage | g, kg, t |
| <i>L</i> | Opterećenje vage | g, kg, t |
| <i>Max</i> | Najveća sposobnost vaganja | g, kg, t |
| <i>Max'</i> | Gornja granica specificirana područja vaganja, $Max' < Max$ | g, kg, t |
| <i>Min</i> | Vrijednost tereta ispod kojeg rezultat vaganja može biti podložan prevelikoj relativnoj pogrješci | g, kg, t |
| <i>Min'</i> | Donja granica specificirana područja vaganja, $Min' > Min$ | g, kg, t |
| <i>R</i> | Pokazivanje (očitanje) vage nije povezano s ispitnim teretom | g, kg, t |
| <i>T</i> | Temperatura | °C, K |
| <i>Tol</i> | Specificirana vrijednost dopuštenog odstupanja | |
| <i>U</i> | Povećana nesigurnost | g, kg, t |
| <i>W</i> | Rezultat vaganja, uteg u zraku | g, kg, t |

| | | |
|------------|--|----------|
| <i>d</i> | Podjeljak ljestvice, razlika u masi između dvaju uzastopnih pokazivanja pokaznog uređaja | g, kg, t |
| d_T | Radni podjeljak ljestvice $< d$ koji se upotrebljava za ispitivanja pri umjeravanju | g, kg, t |
| k_X | Broj jedinica x , kako je prikazan u svakome slučaju | |
| <i>k</i> | Faktor pokrivanja | |
| <i>m</i> | Masa predmeta | g, kg, t |
| m_c | Dogovorena vrijednost mase, po mogućnosti etalonskog utega | g, kg, t |
| m_N | Nazivna dogovorena vrijednost mase etalonskog utega | g, kg, t |
| m_{ref} | Referentna masa (istinita vrijednost) ispitnog utega | g, kg, t |
| <i>mpe</i> | Najveća dopuštena pogrješka (pokazivanja, etalonskog utega itd.) u danome kontekstu | g, kg |
| <i>n</i> | Broj jedinica, kako je pokazan u svakome slučaju | |
| <i>s</i> | Standardno odstupanje | |
| <i>t</i> | Vrijeme | h, min |
| <i>u</i> | Standardna nesigurnost | |
| \hat{w} | Standardna nesigurnost koja se odnosi na osnovnu veličinu | |

| | | |
|----------|---|-------------------|
| <i>v</i> | Broj stupnjeva slobode | |
| ρ | Gustoća | kg/m ³ |
| ρ_0 | Referentna gustoća u zraku $\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$ | kg/m ³ |
| ρ_a | Gustoća zraka | kg/m ³ |
| ρ_c | Referentna gustoća etalonskog utega, $\rho_c = 8\,000 \text{ kg/m}^3$ | kg/m ³ |

| Sufiks | Odnosi se na |
|---------------|---|
| B | Uzgon |
| D | Klizenje |
| N | Nazivna vrijednost |
| T | Ispitivanje |
| adj | Ugađanje |
| appr | Aproksimacija |
| cal | Umjeravanje |
| conv | Konvekcija |
| dig | Digitalizacija |
| ecc | Ekscentrično opterećenje |
| gl | Globalni, sveukupni |
| <i>i</i> | Obrojčenje |
| instr | Vaga |
| <i>j</i> | Obrojčenje |
| max | Najveća vrijednost iz dane populacije |
| min | Najmanja vrijednost iz dane populacije |
| proc | Postupak vaganja |
| ref | Referencija |
| rep | Ponovljivost |
| s | Etalon (mase); stvarni u vrijeme ugađanja |
| sub | Zamjenski teret |
| tare | Postupak uravnoteženja tare |
| temp | Temperatura |
| time | Vrijeme |
| 0 | Ništica, bez opterećenja |

D2 Mjesto u tekstu važnih naziva i izraza**D2.1 Rezultati umjeravanja i mjerenja**

| Veličina | Sastavnica nesigurnosti | Odsječak, pododsječak |
|--|---|--|
| Pokazivanje I_j diskretnih ispitnih tereta m_j | | 4.4.1; 6.2.1 |
| Pokazivanje I $I = I_L + \delta I_{\text{digL}} + \delta I_{\text{rep}} + \delta I_{\text{ecc}} - I_0 - \delta I_{\text{dig0}}$ $u^2(I) = u^2(\delta I_{\text{digL}}) + u^2(\delta I_{\text{rep}}) + u^2(\delta I_{\text{ecc}}) + u^2(\delta I_{\text{dig0}})$ | $u(I)$ sastoji se od $d_0/\sqrt{12} + d_L/\sqrt{12}$ za zaokruživanje, s ili s_{pool} za ponovljivost, $\hat{w}(I_{\text{ecc}})I$ za ekscentričnost ispitnog tereta | 4.4; 6.1; 7.1 7.1.1; 7.1.1.5 7.1.1.1+2 7.1.1.3 7.1.1.4 |
| Ponovljivost Srednja vrijednosti n pokazivanja: $\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji}$ | Standardno odstupanje: $s(I_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2}$ | 4.4; 6.1 |
| Ekscentričnost $\Delta I_{\text{ecc}i} = I_j - I_1$ | $\hat{w}(I_{\text{ecc}}) = \Delta I_{\text{ecc},i} _{\text{max}} / (2L_{\text{ecc}}\sqrt{3})$ | 6.3; 7.1.1.4 |
| Referentna masa m_{ref} $m_{\text{ref}} = m_N + \Delta m_c + \delta m_B + \delta m_D + \delta m_{\text{conv}}$ $u^2(m_{\text{ref}}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{\text{conv}})$ Za ispitne terete L_{Tn} koji se sastoje od zamjenskih tereta: $u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2 \sum_{j=1}^n u^2(I_{j-1})$ | $u(m_{\text{ref}})$ koja se sastoji od $u(\delta m_c)$ ili $\hat{w}(m_c)$ za umjeravanje $\hat{w}(m_B)$ za uzgon $u(m_D)$ za klizenje $u(m_{\text{conv}})$ za konvekciju $u(m_{c1}) = u(m_{\text{ref}})$ kao gore $u(I_{j-1}) = u(I(L_{Tj-1}))$ | 4.3; 7.1 7.1.2, 7.1.2.5 + 6 7.1.2.1; 7.1.2.2, App. A + E 7.1.2.3 7.1.2.4, App. F 7.1.1.5 |
| Pogrješka E $E = I - m_{\text{ref}}$ $U^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{\text{ref}})$ | bez djelovanja konvekcije: $u^2(E) = \alpha^2 + \beta^2 I^2$ | 6.2.1 7.1; 7.1.3 |
| Značajka $E_{\text{appr}} = f(I)$, koji se temelji na skupovima podataka $I_j, E_j, u(E_j)$ $u(E_{\text{appr}}) = g(I)$ | $u(E_{\text{appr}})$ potječe od aproksimacije izračuna | 6.3; 7.2 Dod. C |
| Povećana nesigurnost: $U(E) = ku(E)$ s $k = 2$ (normalna razdioba) ili $k \neq 2$ | | 7.3; Dod. B |

D2.2 Rezultati vaganja koje je dobio korisnik vage

| Veličina | Sastavnica nesigurnosti | Odsječak, pododsječak |
|---|---|--|
| Očitavanje korisnika: $R = R_L + \delta R_{digL} + \delta R_{rep} - R_0 - \delta R_{dig0} (+ \delta R_{ecc})$ $u^2(R) = u^2(\delta R_{digL}) + s^2 + u^2(\delta R_{dig0})$ | $u(D)$ iz gornje tablice, koje se temelji na d , a ne d_T | 7.4 7.4.1 |
| Pogrješka očitavanja: $E(R) = E(I_j)$, a $u(E_{cal})$ iz potvrde o umjeravanju ili interpolacijom između poznatih vrijednosti, ili $E_{appr} = f(I)$ aproksimacijska formula s $u[E_{appr}]$, vrijednosti E zaokružene su na d | $u(E_{cal}) = U(E_{cal})/k_{cal}$ $u[E_{appr}(R)] = f(R) = g(I)$ kao gore $u[E_{appr}(R)] = U[E_{appr}(R)]/k_{cal}$ | 7.4 7.4.2 |
| Rezultati vaganja W^* koji se temelje na podacima o umjeravanju: $W^* = R - E$ $u^2(W^*) = u^2(R) + u^2(E)^2$ W u svakodnevnoj uporabi: $W = W^* + \delta R_{instr} + \delta R_{proc}$ $u^2(W) = u^2(W^*) + u^2(\delta R_{instr}) + u^2(\delta R_{proc})$ δR_{instr} i δR_{proc} za djelovanja okoliša i rukovanje vagom koja je različita od situacije pri umjeravanju | $u(W^*)$ sastoji se od $u(R)$ iz gornje tablice $u(E(R))$ iz gornje tablice $u(\delta R_{instr})$ obuhvaća $\hat{w}(R_{temp})$ temperaturu $\hat{w}(R_{buoy})$ za promjene gustoće zraka $\hat{w}(R_{adj})$ za dugoročno klizenje $u(\delta R_{proc})$ obuhvaća $\hat{w}(R_{Tare})$ $\hat{w}(R_{time})$ $\hat{w}(R_{ecc})$ s_{dyn} | 7.4 (7.4-1a) (7.4-2a) 7.4.1 7.4.2 (7.4-1b); 7.4.5 (7.4-2b) 7.4.3.1 7.4.3.2 7.4.3.3 7.4.4 7.4.4.1 7.4.4.2 7.4.4.3 7.4.4.4 |
| Povećana nesigurnost: | $U(W^*) = ku(W^*)$ s $k = 2$ (normalna razdioba) ili $k \neq 2$ $U(W) = ku(W)$ s $k = 2$ | 7.5, dod. B |
| Rezultat vaganja s ispravkom: $W = R - E \pm U(W)$ | $U(W)$ iz gornje tablice | 7.5.1 |
| Rezultat vaganja bez ispravka: $W = R \pm U_{gl}(W)$ s $U_{gl}(W) = f\{U(W) + E(R)\}$ | $U(W)$ iz gornje tablice, uvećano za član koji predstavlja $E(R)$ | 7.5.2 |
| Rezultat vaganja u specificiranim granicama: $W = R \pm Tol(R)$ s Tol koje je specificirao korisnik pod uvjetom da je $ E(R) + U(W(R)) \leq Tol(R)$ | | 7.5.3 |
| Pretvorba W u masu m ili u dogovorenu vrijednost mase m_c | treba izračunati na temelju W korisnik vage | 9.1 9.2 |

Dodatak E

Podatci o uzgonu zraka

U ovome se dodatku daju dodatni podatci o ispravcima zbog uzgona zraka koji su obrađeni u podtočki 7.1.2.2. On je usmjeren na standardnu nesigurnost zbog ispravka, kao što se u podtočki 7.1.2.2 savjetuje primjena vrijednosti ispravka $\delta m_B = 0$ s odgovarajućim standardnim odstupanjem.

E1 Gustoća etalonskog utega

Kad nisu poznati gustoća ρ etalonskog utega i standardna nesigurnost $u(\rho)$, za utege razreda E2 do M2 iz preporuke R 111 mogu se upotrijebiti sljedeće vrijednosti (uzete iz [5], tablice B7).

| Slitina / gradivo | Pretpostavljena gustoća ρ u kg/m^3 | Standardna nesigurnost $u(\rho)$ u kg/m^3 |
|-------------------------|--|--|
| nikal srebro | 8600 | 85 |
| Mjed | 8400 | 85 |
| nehrđajući čelik | 7950 | 70 |
| ugljični čelik | 7700 | 100 |
| Željezo | 7800 | 100 |
| kovano željezo (bijelo) | 7700 | 200 |
| kovano željezo (sivo) | 7100 | 300 |
| Aluminij | 2700 | 65 |

Za utege sa šupljinom za ugađanje koja je ispunjena većom količinom gradiva različite gustoće u [5] se daje formula za izračun sveukupne gustoće utega.

E2 Primjeri za uzgon zraka općenito

Tablica E2.1 daje relativne standardne nesigurnosti za ispravke zbog uzgona zraka za:

- etalonske utege izrađene od slitina/gradiva navedenih u E1
- odabrane standardne nesigurnosti gustoće zraka (vidi tablicu A3.1)
- slučajeve A, B1 i B2 koji se odnose na ugađanje umjerene vage, za koje se pretpostavlja da su jednaki ništici.

Za slučaj A upotrebljava se formula (7.1.2-5), za slučaj B1 formula (7.1.2-7), a za slučajeve B2 formula (7.1.2-9).

Za slučaj B1 pretpostavlja se da je $u(\delta\rho_{as}) = 0,5 u(\rho_a)$.

Očito je da je za slučaj A relativna nesigurnost $\hat{w}(m_B)$ uvijek ispod 0,4 mg/kg za gradiva koja se normalno upotrebljavaju za etalonske utege veće točnosti (danas nehrđajući čelik, prije mjed), te se prema tomu trebaju uzimati u obzir samo za umjeravanje s veoma malom nesigurnosti.

Za umjeravanja B1 relativna je nesigurnost $\hat{w}(m_B)$ ispod 5 mg/kg za sva gradiva osim aluminija, a za slučaj umjeravanja B2 ispod 10 mg.

Tablica E2.1: Relativna standardna nesigurnost ispravka zbog uzgona zraka

| $\hat{w}(m_B)$ u mg/kg za slučaj A | | | $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$ s $u(\rho_a)$ u nastavku | | | |
|------------------------------------|------|-----------|--|-------|------|-------|
| Gradivo | | $u(\rho)$ | 0,016 | 0,025 | 0,04 | 0,064 |
| nikal srebro | 8600 | 85 | 0,14 | 0,22 | 0,35 | 0,56 |
| Mjed | 8400 | 85 | 0,10 | 0,15 | 0,24 | 0,39 |
| nehrđajući čelik | 7950 | 70 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,09 |
| kovano željezo (bijelo) | 7700 | 200 | 0,09 | 0,15 | 0,24 | 0,38 |
| kovano željezo (sivo) | 7100 | 300 | 0,27 | 0,42 | 0,68 | 1,08 |
| Aluminij | 2700 | 65 | 3,93 | 6,14 | 9,82 | 15,71 |

| $\hat{w}(m_B)$ u mg/kg za slučaj B1 | | | $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$ s $u(\rho_a)$ u nastavku | | | |
|-------------------------------------|--------|-----------|--|-------|-------|-------|
| Gradivo | ρ | $u(\rho)$ | 0,016 | 0,025 | 0,04 | 0,064 |
| nikal srebro | 8600 | 85 | 1,01 | 1,58 | 2,52 | 4,04 |
| Mjed | 8400 | 85 | 1,01 | 1,57 | 2,51 | 4,02 |
| nehrđajući čelik | 7950 | 70 | 1,00 | 1,56 | 2,50 | 4,00 |
| kovano željezo (bijelo) | 7700 | 200 | 1,00 | 1,57 | 2,51 | 4,01 |
| kovano željezo (sivo) | 7100 | 300 | 1,03 | 1,61 | 2,58 | 4,13 |
| Aluminij | 2700 | 65 | 4,05 | 6,33 | 10,13 | 16,21 |

| $\hat{w}(m_B)$ u mg/kg za slučaj B2 | | | $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$ s $u(\rho_a)$ u nastavku | | | |
|-------------------------------------|--------|-----------|--|-------|-------|-------|
| Gradivo | ρ | $u(\rho)$ | 0,016 | 0,025 | 0,04 | 0,064 |
| nikal srebro | 8600 | 85 | 1,86 | 2,91 | 4,65 | 7,44 |
| Mjed | 8400 | 85 | 1,90 | 2,98 | 4,76 | 7,62 |
| nehrđajući čelik | 7950 | 70 | 2,01 | 3,14 | 5,03 | 8,05 |
| kovano željezo (bijelo) | 7700 | 200 | 2,08 | 3,25 | 5,20 | 8,31 |
| kovano željezo (sivo) | 7100 | 300 | 2,26 | 3,52 | 5,64 | 9,02 |
| Aluminij | 2700 | 65 | 5,93 | 9,26 | 14,82 | 23,71 |

E3 Uzgon zraka za utege koji su sukladni s preporukom R 111

Kako je navedeno u fusnoti iz podtočke 7.1.1.2, preporuka R 111 zahtijeva da gustoća etalonskog utega bude u određenim granicama koje se odnose na najveću dopuštenu pogriješku mpe i specificiranu promjenu gustoće zraka. Najveće dopuštene pogriješke mpe razmjerne su nazivnoj vrijednosti za utege ≥ 100 g. To omogućuje procjenu relativne nesigurnosti $\hat{w}(m_B)$. U tablici E2.2 dane su vrijednosti za slučaj A i za slučajeve B1 i B2 koje su izračunane iz odgovarajućih formula (7.1.2-9a) i (7.1.2-5a) koje se odnose na razrede točnosti E2 do M1.

Za utege $m_N \leq 50$ g najveće dopuštene pogriješke mpe utabličene su u preporuci R 111, relativna se vrijednost mpe/m_N povećava sa smanjenjem mase. Za te se utege u tablici E2.2 nalaze apsolutne standardne nesigurnosti $u(m_B) = \hat{w}(m_B)m_N$.

Usporedba relativnih nesigurnosti pokazuje da su vrijednosti iz tablice E2.2 uvijek veće od odgovarajućih vrijednosti iz tablice E2.1. Tomu je uzrok činjenica da su pretpostavljene nesigurnosti $u(\rho)$ i $u(\rho_a)$ veće u tablici E2.2.

Vrijednosti iz tablici E2.2 mogu se upotrijebiti za "slučaj najgore" procjene doprinosa nesigurnosti za uzgon zraka u danoj situaciji.

Tablica E2.2: Standardna nesigurnost ispravka zbog uzgona zraka utega koji su sukladni s preporukom R 111

Izračunana u skladu s podtočkom 7.1.2.2 za slučaj A (7.1.2-5a) i B (7.1.2-9a)

| m_N g | Razred E2 | | | Razred F1 | | | Razred F2 | | | Razred M1 | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | mpe mg | u_A mg | u_B mg | mpe mg | u_A mg | u_B mg | mpe mg | u_A mg | u_B mg | mpe mg | u_A mg | u_B mg |
| 50 | 0,100 | 0,014 | 0,447 | 0,30 | 0,043 | 0,476 | 1,00 | 0,14 | 0,58 | 3,0 | 0,43 | 0,87 |
| 20 | 0,080 | 0,012 | 0,185 | 0,25 | 0,036 | 0,209 | 0,80 | 0,12 | 0,29 | 2,5 | 0,36 | 0,53 |
| 10 | 0,060 | 0,009 | 0,095 | 0,20 | 0,029 | 0,115 | 0,60 | 0,09 | 0,17 | 2,0 | 0,29 | 0,38 |
| 5 | 0,050 | 0,007 | 0,051 | 0,16 | 0,023 | 0,066 | 0,50 | 0,07 | 0,12 | 1,6 | 0,23 | 0,27 |
| 2 | 0,040 | 0,006 | 0,023 | 0,12 | 0,017 | 0,035 | 0,40 | 0,06 | 0,08 | 1,2 | 0,17 | 0,19 |
| 1 | 0,030 | 0,004 | 0,013 | 0,10 | 0,014 | 0,023 | 0,30 | 0,04 | 0,05 | 1,0 | 0,14 | 0,15 |
| 0,5 | 0,025 | 0,004 | 0,008 | 0,08 | 0,012 | 0,016 | 0,25 | 0,04 | 0,04 | 0,8 | 0,12 | 0,12 |
| 0,2 | 0,020 | 0,003 | 0,005 | 0,06 | 0,009 | 0,010 | 0,20 | 0,03 | 0,03 | 0,6 | 0,09 | 0,09 |
| 0,1 | 0,015 | 0,002 | 0,003 | 0,05 | 0,007 | 0,008 | 0,15 | 0,02 | 0,02 | 0,5 | 0,07 | 0,07 |
| Relativno mpe i relativne standardne nesigurnosti $\hat{w}(m_B)$ su u mg/kg za utege od 100 g i veće | | | | | | | | | | | | |
| | Razred E2 | | | Razred F1 | | | Razred F2 | | | Razred M1 | | |
| | mpe/m_N | \hat{w}_A | \hat{w}_B | mpe/m_N | \hat{w}_A | \hat{w}_B | mpe/m_N | \hat{w}_A | \hat{w}_B | mpe/m_N | \hat{w}_A | \hat{w}_B |
| ≥ 100 | 1,500 | 0,22 | 8,88 | 5,00 | 0,72 | 9,38 | 15,00 | 2,17 | 10,83 | 50,0 | 7,222 | 15,88 |

Dodatak F

Djelovanja konvekcije

U podtočki 4.2.3 načelno je objašnjen nastanak prividne promjene mase Δm_{conv} izazvan razlikom temperature ΔT između etalonskog utega i zraka u okolišu. U nastavku se prikazuju detaljniji podatci kako bi se omogućila ocjena situacija u kojima se djelovanje konvekcije treba uzimati u obzir s obzirom na nesigurnost umjeravanja.

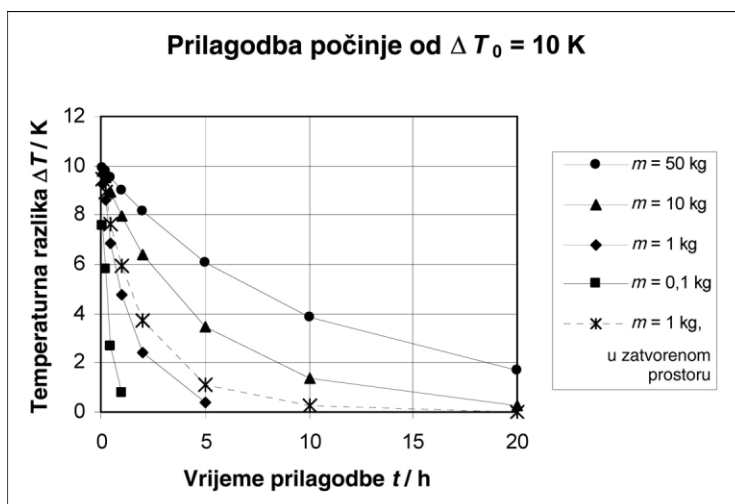
Izračun vrijednosti u sljedećim tablicama temelji se na [8]. Ovdje se ne ponavljaju odgovarajuće formule i parametri koje treba uključiti. Navode se samo glavne formule i bitni uvjeti. Problem koji se ovdje obrađuje prilično je složen u fizikalnome smislu i u smislu vrednovanja eksperimentalnih rezultata. Preciznost vrijednosti prikazanih u nastavku ne treba precjenjivati.

F1 Odnos između temperature i vremena

Početna temperaturna razlika ΔT_0 smanjuje se s vremenom Δt izmjenom topline između utega i zraka u okolišu. Brzina izmjene topline prilično je neovisna o predznaku ΔT_0 , prema tomu zagrijavanje ili hlađenje utega zbiva se u sličnim vremenskim odsječcima.

Slika F1.1 daje neke primjere djelovanja prilagodbe. Polazeći od početne temperaturne razlike od 10 K, stvarna je razlika ΔT nakon vremena prilagodbe za različite utege prikazana na slici 4. Za utege se pretpostavlja da se oslanjaju na tri prilično tanka PVC stupa na "otvorenome". Za usporedbu također je prikazano ΔT za uteg od 1 kg koji je oslonjen na iste stupove, ali je zatvoren u zvonoliku posudu koja smanjuje tijek zraka konvekcije, tako da je potrebno oko 1,5 do 2 puta više vremena za postizanje istog sniženja temperature ΔT kao za komad od 1 kg bez posude.

Referencija [8]: formula (21) i parametri za slučajeve 3b i 3c iz tablice 4



Slika F1.1: Prilagodba etalonskih utega

Tablice F1.2 i F1.3 daju vremena prilagodbe Δt za etalonske utege koja su potrebna kad se temperaturna razlika treba smanjiti s vrijednosti ΔT_1 na nižu vrijednost ΔT_2 . Uvjeti izmjene topline isti su kao na slici F1.1: Tablica F1.2 za " $m = 0,1$ kg" do " $m = 50$ kg"; tablica F1.3 za " $m = 1$ kg u zatvorenome prostoru".

U stvarnim uvjetima vremena čekanja mogu biti kraća kad uteg stoji izravno na ravnoj površini toplinski vodljiva nosača; ona mogu biti dulja kad je uteg djelomično zatvoren u kovčežić.

Referencija [8]: formula (26) i parametri za slučajeve 3b, 3c iz tablice 4

Tablica F1.2: Vremenski odsječci za sniženje temperaturnih razlika u koracima

Utezi koji se oslanjaju na 3 tanka PVC stupića u zraku

| Vrijeme prilagodbe u min za ΔT koje treba dosegnuti s iduće veće ΔT – Slučaj 3b | | | | | | | | |
|---|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | $\Delta T/K$ | | | | | | | |
| m/kg | 20 | 15 | 10 | 7 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| 50 | | 149,9 | 225,3 | 212,4 | 213,1 | 347,9 | 298,0 | 555,8 |
| 20 | | 96,2 | 144,0 | 135,2 | 135,0 | 219,2 | 186,6 | 345,5 |
| 10 | | 68,3 | 101,9 | 95,3 | 94,8 | 153,3 | 129,9 | 239,1 |
| 5 | | 48,1 | 71,6 | 66,7 | 66,1 | 106,5 | 89,7 | 164,2 |
| 2 | | 30,0 | 44,4 | 41,2 | 40,6 | 65,0 | 54,4 | 98,8 |
| 1 | | 20,8 | 30,7 | 28,3 | 27,8 | 44,3 | 37,0 | 66,7 |
| 0,5 | | 14,3 | 21,0 | 19,3 | 18,9 | 30,0 | 24,9 | 44,7 |
| 0,2 | | 8,6 | 12,6 | 11,6 | 11,3 | 17,8 | 14,6 | 26,1 |
| 0,1 | | 5,8 | 8,5 | 7,8 | 7,5 | 11,8 | 9,7 | 17,2 |
| 0,05 | | 3,9 | 5,7 | 5,2 | 5,0 | 7,8 | 6,4 | 11,3 |
| 0,02 | | 2,3 | 3,3 | 3,0 | 2,9 | 4,5 | 3,7 | 6,4 |
| 0,01 | | 1,5 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 2,9 | 2,4 | 4,2 |

Primjeri za uteg od 1 kg:

sniženje ΔT s 20 K na 15 K trajat će 20,8 min

sniženje ΔT s 15 K na 10 K trajat će 30,7 min

sniženje ΔT s 10 K na 5 K trajat će 28,3 min + 27,8 min = 56,1 min

Tablica F1.3: Vremenski odsječci za sniženje u koracima temperaturnih razlika

Utezi koji se oslanjaju na 3 tanka PVC stupića u zvonolikoj posudi

| Vrijeme prilagodbe u min za ΔT koje treba dosegnuti s iduće veće ΔT – Slučaj 3c | | | | | | | | |
|---|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | $\Delta T/K$ | | | | | | | |
| m/kg | 20 | 15 | 10 | 7 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| 50 | | 154,2 | 235,9 | 226,9 | 232,1 | 388,7 | 342,7 | 664,1 |
| 20 | | 103,8 | 158,6 | 152,4 | 155,6 | 260,2 | 228,9 | 442,2 |
| 10 | | 76,8 | 117,2 | 112,4 | 114,7 | 191,5 | 168,1 | 324,0 |
| 5 | | 56,7 | 86,4 | 82,8 | 84,3 | 140,5 | 123,1 | 236,5 |
| 2 | | 37,8 | 57,5 | 54,9 | 55,8 | 92,8 | 81,0 | 155,0 |
| 1 | | 27,7 | 42,1 | 40,1 | 40,7 | 67,5 | 58,8 | 112,0 |
| 0,5 | | 20,2 | 30,7 | 29,2 | 29,6 | 48,9 | 42,4 | 80,5 |
| 0,2 | | 13,3 | 20,1 | 19,1 | 19,2 | 31,7 | 27,3 | 51,6 |
| 0,1 | | 9,6 | 14,5 | 13,7 | 13,8 | 22,6 | 19,5 | 36,6 |
| 0,05 | | 6,9 | 10,4 | 9,8 | 9,9 | 16,1 | 13,8 | 25,7 |
| 0,02 | | 4,4 | 6,7 | 6,3 | 6,2 | 10,2 | 8,6 | 16,0 |
| 0,01 | | 3,2 | 4,7 | 4,4 | 4,4 | 7,1 | 6,0 | 11,1 |

F2 Prividna promjena mase

Tijek zraka stvoren temperaturnom razlikom ΔT usmjeren je prema gore kad je uteg topliji ($\Delta T > 0$) od zraka u okolišu, a prema dolje kad je hladniji ($\Delta T < 0$). Tijek zraka izaziva sile trenja na okomitu plohu utega i potisne ili vučne sile na njegove vodoravne plohe čiji je rezultat prividna promjena mase Δm_{conv} . Prijamnik tereta vage također doprinosi promjeni na način koji još nije potpuno istražen.

Pokusima je dokazano da su apsolutne vrijednosti promjene općenito manje za $\Delta T < 0$ nego za $\Delta T > 0$. Prema tomu razumno je izračunati promjene mase za apsolutne vrijednosti temperaturne razlike ΔT uporabom parametara za $\Delta T > 0$.

Tablica F2.1 za etalonske utege daje vrijednosti za Δm_{conv} za temperaturne razlike ΔT iz tablice F1.2 i F1.3. One se temelje na pokusima provedenim na komparatoru mase sa zakretnom pločom za automatsku promjenu utega unutar staklenog kućišta. Kad su uvjeti koji prevladavaju pri umjeravanju "normalnih" vaga različiti, vrijednosti iz tablice treba smatrati procjenama djelovanja koja se mogu očekivati pri stvarnome umjeravanju.

Referencije u [8]: formula (34) i parametri za slučaj 3d iz tablice 4.

Tablica F2.1: Prividna promjena mase Δm_{conv}

| Promjena Δm_{conv} u mg normalnog utega za odabrane temperaturne razlike ΔT | | | | | | | | |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| m u kg | ΔT u K | | | | | | | |
| | 20 | 15 | 10 | 7 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| 50 | 113,23 | 87,06 | 60,23 | 43,65 | 32,27 | 20,47 | 14,30 | 7,79 |
| 20 | 49,23 | 38,00 | 26,43 | 19,25 | 14,30 | 9,14 | 6,42 | 3,53 |
| 10 | 26,43 | 20,47 | 14,30 | 10,45 | 7,79 | 5,01 | 3,53 | 1,96 |
| 5 | 14,30 | 11,10 | 7,79 | 5,72 | 4,28 | 2,76 | 1,96 | 1,09 |
| 2 | 6,42 | 5,01 | 3,53 | 2,61 | 1,96 | 1,27 | 0,91 | 0,51 |
| 1 | 3,53 | 2,76 | 1,96 | 1,45 | 1,09 | 0,72 | 0,51 | 0,29 |
| 0,5 | 1,96 | 1,54 | 1,09 | 0,81 | 0,61 | 0,40 | 0,29 | 0,17 |
| 0,2 | 0,91 | 0,72 | 0,51 | 0,38 | 0,29 | 0,19 | 0,14 | 0,08 |
| 0,1 | 0,51 | 0,40 | 0,29 | 0,22 | 0,17 | 0,11 | 0,08 | 0,05 |
| 0,05 | 0,29 | 0,23 | 0,17 | 0,12 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,03 |
| 0,02 | 0,14 | 0,11 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| 0,01 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |

Vrijednosti u toj tablici mogu se uspoređivati s nesigurnošću umjeravanja ili s danim dopuštenim odstupanjima etalonskih utega koji se upotrebljavaju za umjeravanje kako bi se ocijenilo može li stvarna vrijednost ΔT izazvati znatnu prividnu promjenu mase.

Kao primjer, tablica F2.2 daje temperaturne razlike koje će za utege koji zadovoljavaju preporuku R 111 vjerojatno izazvati promjenu vrijednosti mase Δm_{conv} koje ne prelaze određene granice. Usporedba se temelji na tablici F2.1.

Promatrane su granice najveće dopuštene pogriješke ili 1/3 tih pogriješaka.

Očito je da je s tim granicama djelovanje konvekcije bitno samo za utege razreda E2 i F1 iz preporuke R 111.

Tablica F2.2: Temperaturne granice za specificirane vrijednosti Δm_{conv} ΔT_A = temperaturna razlika za $\Delta m_{\text{conv}} \leq mpe$ ΔT_B = temperaturna razlika za $\Delta m_{\text{conv}} \leq mpe/3$

| Razlike ΔT_A za $\Delta m_{\text{conv}} < mpe$ i ΔT_B za $\Delta m_{\text{conv}} < mpe/3$ | | | | | | |
|---|-------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|
| | Razred E2 | | | Razred F1 | | |
| m_N kg | mpe mg | ΔT_A K | ΔT_B K | mpe mg | ΔT_A K | ΔT_B K |
| 50 | 75 | 12 | 4 | 250 | > 20 | 12 |
| 20 | 30 | 7 | 3 | 100 | > 20 | 7 |
| 10 | 15 | 10 | 3 | 50 | > 20 | 10 |
| 5 | 7,5 | 10 | 3 | 25 | > 20 | 10 |
| 2 | 3 | 9 | 1 | 10 | > 20 | 9 |
| 1 | 1,5 | 7 | 1 | 5 | > 20 | 7 |
| 0,5 | 0,75 | 6 | 1 | 2,5 | > 20 | 6 |
| 0,2 | 0,30 | 5 | 1 | 1,0 | > 20 | 5 |
| 0,1 | 0,15 | 4 | 1 | 0,50 | > 20 | 4 |
| 0,05 | 0,10 | 6 | 1 | 0,30 | > 20 | 6 |
| 0,02 | 0,08 | 10 | 2 | 0,25 | > 20 | 10 |
| 0,01 | 0,06 | 15 | 3 | 0,20 | > 20 | 15 |

Dodatak G

Primjeri

Primjeri prikazani u ovome dodatku na različite načine pokazuju kako se mogu ispravno primjenjivati pravila sadržana u ovim uputama. Nije im svrha davanje prednosti nekomu određenom postupku u odnosu na druge za koje nije prikazan ni jedan primjer.

Kad umjerni laboratorij želi postupati potpuno u skladu s jednim od tih primjera, može se na taj primjer pozvati u svojem priručniku o kakvoći i u svakoj izdanoj potvrdi.

Napomena 1.: Potvrda treba sadržavati sve podatke prikazane u podtočkama Gn.1, koliko su poznati, te po potrebi barem one dijelove u podtočkama Gn.2 i Gn.3, s Gn = G1, G2, ... koji su tiskani masno

Napomena 2.: Za upućivanje na odgovarajuće odsječke uputa vidi dodatak D2.

G1 Vaga sposobnosti vaganja 200 g, podjeljak ljestvice 0,1 mg

G1.1 Uvjeti specifični za umjeravanje

| | |
|--|---|
| Vaga | Elektronička vaga, opis i identifikacija |
| Max/d | 200 g / 0,1 mg |
| Temperaturni koeficijent | $TC \leq 1,5 \times 10^{-6} / K$ (priručnik proizvođača) |
| Ugrađen uređaj za ugađanje | Djeluje automatski : uključuje se kad je $\Delta T \geq 3 K$ |
| Ugađanje s pomoću kalibratora | Provedeno prije umjeravanja |
| Temperatura tijekom umjeravanja | 20,2 °C do 20,6 °C |
| Sobni uvjeti | Temperatura stabilizirana na $21 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$; $h \approx 300 \text{ m}$ |
| Prijamnik tereta | Promjer 80 mm |
| Ispitni tereti | Etalonski utezi, razred E2 |

G1.2 Ispitivanja i rezultati

| | | |
|---|---|---------------|
| Ponovljivost (pretpostavlja se da je stalna u području vaganja) | Ispitni teret 100 g primijenjen 6 puta , pokazivanje bez tereta po potrebi vratiti na ništicu; Zabilježena očitavanja: 100,0002 g; 99,9999 g; 100,0001 g; 100,0000 g; 100,0002 g; 100,0002 g | |
| Pogrješke pokazivanja | Svaki ispitni teret primijenjen jednom; isprekidano opterećenje samo prema višim vrijednostima, pokazivanje bez tereta po potrebi vratiti na ništicu; sva opterećenja u središtu prijavnika tereta. Zabilježena pokazivanja: | |
| | teret/g | pokazivanje/g |
| | 30 | 30,0001 |
| | 60 | 60,0003 |
| | 100 | 100,0004 |
| | 150 | 150,0006 |
| | 200 | 200,0009 |

| | | | |
|------------------------------------|---|---------------------------|--|
| Ispitivanje ekscentričnosti | Ispitni teret 100 g , pokazivanje bez tereta po potrebi vratiti na ništicu; položaji/očitavanja u g: | | |
| | 1/100,0005; 4/100,0006; | 2/100,0003; 5/100,0004 | 3/100,0004; $ \Delta I_{ecc} _{max} = 0,2 \text{ mg}$ |

G1.3 Pogriješke i odgovarajuće nesigurnosti

Izračuni prema podtočkama 7.1 do 7.3

| Veličina ili utjecaj | Opterećenje, pokazivanje u g Standardna nesigurnost u mg | | | | | Razdioba/broj stupnjeva slobode |
|--|--|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------------|
| Pokazivanje $I \approx m_N/g$ | 30 | 60 | 100 | 150 | 200 | |
| Pogrješka E_{cal}/mg | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | |
| Ponovljivost s | 0,13 mg | | | | | norm/5 |
| Digitalizacija $d_0 / \sqrt{12}$ | 0,03 mg | | | | | pravokutna |
| Digitalizacija $d_I / \sqrt{12}$ | 0,03 mg | | | | | pravokutna |
| Ekscentričnost $\hat{w}_{ecc}(I)$ | Nije bitno za taj slučaj | | | | | pravokutna |
| $u(I)$ | 0,14 mg | | | | | |
| Ispitni tereti $m_N / g^{10)}$ | 10 + 20 | 10 + 50 | 100 | 50 + 100 | 200 | |
| $u(\delta m_c) = mpe/\sqrt{3}$ | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,15 | 0,17 | pravokutna |
| $u(\delta m_D) = mpe/(3\sqrt{3})$ | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | pravokutna |
| $\hat{w}(m_B)m_N = mpe/(4\sqrt{3})$ | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | pravokutna |
| $u(\delta m_{conv})$ | Nije bitno za taj slučaj | | | | | |
| Nesigurnost pogriješke $u(E)$ | 0,158 | 0,165 | 0,163 | 0,209 | 0,230 | |
| v_{eff} | 12,2 | 14,6 | 13,7 | 37,4 | 54,5 | |
| $k(95 \%)$ | 2,23 | 2,19 | 2,20 | 2,07 | 2,05 | |
| $U(E) = ku(E)$ | 0,35 | 0,36 | 0,36 | 0,43 | 0,47 | |
| Dodatno, opcionalno | | | | | | |
| Aproksimacija pravcem kroz ništicu | $E_{appr}(R) = 4,27 \times 10^{-6}R$ | | | | | |
| Nesigurnost aproksimiranih pogriješaka $u(E_{appr})$ | $u(E_{appr}) = \sqrt{(1,5 \times 10^{-15} \text{ mg}^2 + 5,5 \times 10^{-13} R^2)^{11)}$ | | | | | |
| Povećana nesigurnost $U(E_{appr})$ | $U(E_{appr}) = 2\sqrt{(5,5 \times 10^{-13} R^2)} = 1,5 \times 10^{-6}R$ | | | | | |

Bilo bi prihvatljivo u potvrdi navesti samo najveću vrijednost povećane nesigurnosti za sve pogriješke dane u izvještaju: $U(E) = 0,47 \text{ mg}$, koje se temelje na $k = 2,05$ za $v_{eff} = 55$, praćenu izjavom da je vjerojatnost pokrivanja jednaka barem 95 %.

10) Utezi razreda E2 umjereni prije nekoliko mjeseci; prosječno klizenje nadzire se preko 2 ponovna umjerenja: $|D_{mc}| \leq mpe/3$ tijekom 12 mjeseci; upotrebne na nazivnoj vrijednosti dobro prilagođene sobnoj temperaturi ($\Delta T < 1 \text{ K}$).

11) Prvi član je zanemariv!

Potvrda može davati obavijest korisniku da se standardna nesigurnost pogreške nekog očitavanja R dobivena nakon umjeravanja povećava za nesigurnost očitavanja $u(R) = 0,14$ mg.

G1.4 Nesigurnost pokazivanja u uporabi

Kako je utvrđeno u podtočki 7.4, sljedeće podatke može proizvesti umjerni laboratorij ili korisnik vage. U svakome slučaju oni se ne moraju prikazivati u potvrdi o umjeravanju niti smatrati njezinim dijelom.

G1.4.1 Normalni uvjeti uporabe vage, koji se podrazumijevaju ili kako ih je specificirao korisnik, mogu uključivati:

- promjene temperature od ± 1 K
- opterećenja koja nisu uvijek pažljivo usredištena
- funkcija uravnoteženja tare u radu
- vremena opterećenja: normalna kao pri umjeravanju

G1.4.2 Tablica izračuna prema podtočkama 7.4 i 7.5

| Veličina ili utjecaj | Pokazivanje u g | | | | | Razdioba/broj stupnjeva slobode |
|--|--|-----|-----|-----|-----|---------------------------------|
| | Pogreška, nesigurnost: relativna ili u mg | | | | | |
| Pokazivanje $I \approx m_N/g$ | 30 | 60 | 100 | 150 | 200 | |
| Pogreška E_{cal}/mg | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | |
| Nesigurnost $u(E)$ | 0,23 mg | | | | | norm/55 |
| Alternativa: navođenje rezultata aproksimacije | | | | | | |
| Pogreška E_{appr} | $4,27 \times 10^{-6}R$ | | | | | |
| $u(E_{appr})$ | $0,742 \times 10^{-6}R$ | | | | | |
| Ponovljivost s_R | 0,13 mg | | | | | norm/5 |
| Digitalizacija $d_0/\sqrt{12}$ | 0,03 mg | | | | | pravokutna |
| Digitalizacija $d_R/\sqrt{12}$ | 0,03 mg | | | | | pravokutna |
| Ekscentričnost $\hat{w}_{ecc}(R_{adj})$ | Nije bitno za taj slučaj, jer se vaga redovito ugađa | | | | | |
| Temperatura $\hat{w}(R_{temp})$ | $0,87 \times 10^{-6}$ | | | | | pravokutna |
| Postupak vaganja: $\hat{w}(R_{ecc})$ | $1,15 \times 10^{-6}$ | | | | | pravokutna |
| $\hat{w}(R_{tare})$ | $1,20 \times 10^{-6}$ | | | | | pravokutna |
| $\hat{w}(R_{time})$ | Nije bitno za taj slučaj | | | | | |
| Nesigurnost rezultata vaganja $u(W)$ | $u(W) = \sqrt{(0,0187 \text{ mg}^2 + 4,07 \times 10^{-12}R^2)}$ | | | | | |
| ν_{eff} | >30 | | | | | |
| $k(95\%)$ | 2 | | | | | |
| Nesigurnost rezultata vaganja s ispravkom za $-E_{appr}$ | | | | | | |
| $U(W) = ku(W)$ | $U(W) = 2\sqrt{(0,0187 \text{ mg}^2 + 4,07 \times 10^{-12}R^2)}$ | | | | | |
| Pojednostavnjeno zadržavanjem članova prvog reda | $U(W) \approx U(W=0) + \{[U(W=Max) - U(W=0)] / Max\}R$ $U(W) \approx 0,27 \text{ mg} + 2,86 \times 10^{-6} R$ | | | | | |

| | | |
|--|--|--|
| Globalna nesigurnost rezultata vaganja bez ispravka očitavanja | | |
| $U_{gl}(W) = U(W) + E_{appr}(R) $ | $U_{gl}(W) = 0,27 \text{ mg} + 7,13 \times 10^{-6}R$ | |

G1.4.3 Prilog potvrdi mogao bi sadržavati ovu izjavu:

"Pod normalnim uvjetima uporabe uključujući,

sobnu temperaturu koja se mijenja u granicama od $\pm 1 \text{ K}$,

opterećenja primijenjena bez posebne pozornosti da težište tereta bude primijenjeno u središte

prijamnika tereta

očitanja R dobivena s uravnoteženjem ili bez uravnoteženja tare (netovrijednosti ili brutovrijednosti)

mogućnost automatskog ugađanja vage

bez primjene ikakva ispravka očitavanja R ,

rezultat vaganja W jednak je:

$$W = R \pm (0,27 \text{ mg} + 7,1 \times 10^{-6}R)$$

na razini povjerenja većoj od 95 %."

Alternativno bi trebalo čitati:

(Uvjeti kao prije) ... "...., rezultat vaganja W

u granicama je dopuštenih odstupanja od 1 % za $R \geq 30 \text{ mg}$

u granicama dopuštenih odstupanja od 0,1 % za $R \geq 280 \text{ mg}$

na razini povjerenja većoj od 95 %."

G2 Vaga sposobnosti vaganja od 60 kg, s više podjeljaka

G2.1 Uvjeti specifični za umjeravanje

| | |
|--|---|
| Vaga: | Elektronička vaga, opis i identifikacija, s EC tipnim odobrenjem, ali neovjerena |
| Max/d | Vaga s više podjeljaka, 3 dijelna područja vaganja: Max/kg = 12/30/60; d/g = 2/5/10 |
| Prijamnik tereta | Platforma 60 cm × 40 cm |
| Instalacija | U omotanu radnom prostoru; $17 \text{ °C} \leq T \leq 27 \text{ °C}$ koju je dao korisnik |
| Temperaturni koeficijent | $TC \leq 2 \times 10^{-6}/\text{K}$ (priručnik proizvođača) |
| Ugrađen uređaj za ugađanje | ne postoji: $ E(\text{Max}) \leq 10 \text{ g}$ (priručnik proizvođača) |
| Posljednje umjeravanje | provedeno prije godinu dana; $E(\text{Max})$ bilo 7 g |
| Temperatura tijekom umjeravanja | 22,3 °C do 23,1 °C |
| Barometarski tlak tijekom umjeravanja: | 1002 hPa ± 5 hPa |
| Ispitni tereti | Etalonski utezi, nehrđajući čelik, potvrđeni za dopuštena odstupanja za razred M1 od 50 mg/kg (OIML R 111) |

G2.2 Ispitivanja i rezultati

| | | |
|---|---|--|
| Ponovljivost (pretpostavlja se da je stalna u području vaganja 1.) | Ispitni teret od 10 kg primijenjen 5 puta , pokazivanje bez tereta po potrebi vratiti na ništicu Zabilježena očitavanja: 9,998 kg; 10,000 kg; 9,998 kg; 10,000 kg; 10,000 kg | |
| Ponovljivost (pretpostavlja se da je stalna u područjima vaganja 2. i 3.) | Ispitni teret od 30 kg primijenjen 5 puta , pokazivanje bez tereta po potrebi vratiti na ništicu Zabilježena očitavanja: 29,995 kg; 30,000 kg; 29,995 kg; 29,995 kg; 30,000 kg | |
| Pogrješke pokazivanja | svaki ispitni teret primjenjuje se jednom; diskontinuirana opterećenja samo naviše, pokazivanje bez tereta vratiti na ništicu gdje je to potrebno; sva opterećenja u središtu prijamnika tereta | |
| | teret/kg | pokazivanje/kg |
| | bez tereta tare | |
| | 10 | 10,000 |
| | 25 | 24,995 |
| | 40 | 39,990 |
| | 60 | 59,990 |
| | 25 kg staviti na prijamnik, pokazivanje namješteno na netoništicu djelovanjem tare | |
| 10 | 9,998 | |
| 20 | 19,995 | |
| Ispitivanje ekscentričnosti | ispitni teret 20 kg : pokazivanje bez tereta vratiti u ništicu gdje je to potrebno; položaji/očitavanja: | |
| | 1: 19,995 kg; 4: 19,990 kg; $ \Delta I_{ecc} _{max} = 5 \text{ g}$ | 2: 19,995 kg; 5: 19,990 kg; 3: 19,995 kg |

G2.3 Pogreške i odgovarajuće nesigurnosti

Izračuni se provode prema podtočkama 7.1 do 7.3

| Veličina ili utjecaj | Opterećenje, pokazivanje pogreška u kg Standardna nesigurnost u g, ili kao relativna vrijednost | | | | | | Razdioba/broj stupnjeva slobode |
|--|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------------|
| | 10 | 25 | 40 | 60 | | | |
| Pokazivanje $I \approx m_N/kg$ | 10 | 25 | 40 | 60 | | | |
| Pogrješka E_{cal} | 0 | -0,005 | -0,010 | -0,010 | | | |
| Pokazivanje I_{Net} | Nakon uravnoteženja tare predopterećenje od 25 kg | | | | 10 | 20 | |
| Pogrješka $E_{cal,Net}$ | | | | | -0,002 | -0,005 | |
| Ponovljivost s | 1,10 | 2,74 | | | 1,10 | 2,74 | norm/4 |
| Digitalizacija $d_0/\sqrt{12}$ | 0,58 | | | | | | pravokutna |
| Digitalizacija $d/\sqrt{12}$ | 0,58 | 1,44 | 2,89 | 2,89 | 0,58 | 1,44 | pravokutna |
| Ekscentričnost $\hat{w}_{ecc}(I)$ | Nije bitno za taj slučaj | | | | | | pravokutna |
| $u(I)$ | 1,37 | 3,15 | 4,02 | 4,02 | 1,376 | 3,15 | |
| Ispitni tereti ¹²⁾ | 10 | 20 + 5 | 2 × 20 | 3 × 20 | (25 +) 10 | (25 +) 20 | |

12) Uteg razreda M1 umjeren prije 8 mjeseci, prosječno klizenje tijekom 2 umjeravanja: $|D_{mc}| \leq mpe/2$ tijekom 12 mjeseci, upotrebljava se na nazivnoj vrijednosti; dobro prilagođene sobnoj temperaturi ($\Delta T < 1 \text{ K}$).

| | | | | | | | |
|--|--|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| $u(\delta m_C) = mpe/\sqrt{3}$ | 0,29 | 0,72 | 1,15 | 1,73 | 0,29 | 0,58 | pravokutna |
| $u(\delta m_D) = mpe/(2\sqrt{3})$ | 0,14 | 0,36 | 0,58 | 0,87 | 0,14 | 0,29 | pravokutna |
| $u(\delta m_B) = \hat{w}(m_B)$ $m_N = (2,6 \text{ mg/kg}) m_N^{13)}$ | zanemarivo | | | | | | pravokutna |
| $u(\delta m_{\text{conv}})$ | zanemarivo | | | | | | |
| Nesigurnost pogriješke $u(E)$ | 1,40 | 3,25 | 4,22 | 4,46 | 1,40 | 3,21 | |
| v_{eff} | 10,8 | 7,9 | 22,6 | 28,2 | 10,8 | 7,6 | |
| $k(95 \%)$ | 2,28 | 2,36 | 2,12 | 2,1 | 2,28 | 2,4 | |
| $U(E) = ku(E)$ | 3,2 | 7,7 | 9,0 | 9,4 | 3,2 | 7,7 | |
| Aproksimacija provedena s 4 brutopokazivanja | | | | | | | |
| Aproksimacija pravcem kroz ničticu | $E_{\text{appr}}(R) = -1,69 \times 10^{-4}R$ | | | | | | |
| Nesigurnost aproksimiranih pogrješka $u(E_{\text{appr}})$ za dijelna vaganja (PWR) | PWR 1 | $u(E_{\text{appr}}) = \sqrt{(5,4 \times 10^{-8} \text{ g}^2 + 2,63 \times 10^{-9} R^2)^{14}}$ | | | | | |
| | PWR 2 | $u(E_{\text{appr}}) = \sqrt{(2,8 \times 10^{-7} \text{ g}^2 + 2,63 \times 10^{-9} R^2)}$ | | | | | |
| | PWR 3 | $u(E_{\text{appr}}) = \sqrt{(4,6 \times 10^{-7} \text{ g}^2 + 2,63 \times 10^{-9} R^2)}$ | | | | | |
| $u(E_{\text{appr}})$ za PWR 1 do 3 | $u(E_{\text{appr}}) = 5,13 \times 10^{-5}R$ | | | | | | |
| Povećana nesigurnost s $k = 2$ | $U(E_{\text{appr}}) = 2 u(E_{\text{appr}}) = 10,3 \times 10^{-5}R$ | | | | | | |
| Za usporedbu aproksimacije su ponovljene sa svih 6 pokazivanja | | | | | | | |
| Aproksimacija pravcem kroz ničticu | $E_{\text{appr}}(R) = -1,79 \times 10^{-4}R$ | | | | | | |
| $u(E_{\text{appr}})$ za PWR 1 do 3 | $u(E_{\text{appr}}) = 4,61 \times 10^{-5}R$ | | | | | | |
| Povećana nesigurnost s $k = 2$ | $U(E_{\text{appr}}) = 2 u(E_{\text{appr}}) = 9,2 \times 10^{-5}R$ | | | | | | |
| Pri <i>Max</i> prva aproksimacija daje $E = -10,1 \text{ g}$, $U(E_{\text{appr}}) = 6,2 \text{ g}$; druga aproksimacija daje $E = -10,7 \text{ g}$, $U(E_{\text{appr}}) = 5,5 \text{ g}$; razlika nije velika, vidi G.2.5.1 | | | | | | | |

Bilo bi prihvatljivo u potvrdi navesti samo najveću vrijednost povećane nesigurnosti za sve iskazane pogriješke: $U(E) = 4,2 \text{ g}$, koje se temelje na $k = 2,1$ za $v_{\text{eff}} = 28$, s priloženom izjavom da je vjerojatnost pokrivanja jednaka barem 95 %.

Potvrda može davati obavijest korisniku da standardna nesigurnost pogriješke nekog očitavanja R dobivena nakon umjeravanja povećana za standardnu nesigurnost očitavanja $u(R)$ ovisi o podjeljku ljestvice:

| | | |
|--------------------|--------------------|------------------------|
| od 0 kg do 12 kg: | $d = 2 \text{ g}$ | $u(R) = 1,4 \text{ g}$ |
| od 12 kg do 30 kg: | $d = 5 \text{ g}$ | $u(R) = 3,2 \text{ g}$ |
| od 30 kg do 60 kg: | $d = 10 \text{ g}$ | $u(R) = 4,0 \text{ g}$ |

Za prethodno navedene ispitne točke nesigurnosti $u(W^*)$ rezultata vaganja pod uvjetima umjeravanja: $W^* = R - E$ tada su:

| | | | | |
|-------------------------------|-----|-----|------|------|
| Očitavanje R/kg | 10 | 25 | 40 | 60 |
| Nesigurnost $U(W^*)/\text{g}$ | 3,9 | 9,1 | 11,7 | 12,0 |

13) Za $\Delta p = 40 \text{ hPa}$, $\Delta T = 10 \text{ K}$, $u(\rho_a) = 0,0207 \text{ kg/m}^3$ (iz tablice u A3.1). $S \rho = (7950 \pm 70) \text{ kg/m}^3$ formula (7.1.2-7) daje $\hat{w}(m_B) = 2,6 \text{ mg/kg}$

14) Prvi je član zanemariv za sva 3 PWR.

G2.4 Nesigurnost pokazivanja u uporabi

Kako je utvrđeno u podtočki 7.4, sljedeće podatke može proizvesti umjerni laboratorij ili korisnik vage. U svakome slučaju oni se ne moraju prikazivati u potvrdi o umjeravanju ili smatrati njezinim dijelom.

G2.4.1 Normalni uvjeti uporabe vage, pretpostavljeni ili kako ih je specificirano korisnik, mogu uključivati:

- Promjene temperature od ± 5 K
- Terete koji nisu uvijek pažljivo usredišteni
- Funkciju uravnoteženja tare u radu
- Vremena opterećenja: normalna, kao pri umjeravanju.

G2.4.2 Tablica za izračun prema podtočkama 7.4 i 7.5

| Veličina ili utjecaj | Teret, pokazivanje, pogriješka u kg Standardna nesigurnost u g ili kao relativna vrijednost | | | Razdioba/broj stupnjeva slobode |
|---|--|--|-------|---------------------------------|
| Pogrješke pokazivanja brutoočitanja i netoočitavanja | $E_{\text{appr}}(R) = -1,79 \times 10^{-4}R$ | | | |
| Nesigurnost pogriješaka $u(E_{\text{appr}}(R))$ | $u(E_{\text{appr}}) = 4,61 \times 10^{-5}R$ | | | |
| Nesigurnost očitavanja $u(R) = u(I)$ | PWR 1 | PWR 2 | PWR 3 | |
| | 1,37 | 3,15 | 4,02 | |
| Nesigurnost pogriješke $u(E(R)) = \sqrt{\{u^2(R) + u^2(E_{\text{appr}})\}}$ | PWR 1 | $u(E(R)) = \sqrt{\{1,87 \text{ g}^2 + 2,13 \times 10^{-9}R^2\}}$ | | |
| | PWR 2 | $u(E(R)) = \sqrt{\{9,92 \text{ g}^2 + 2,13 \times 10^{-9}R^2\}}$ | | |
| | PWR 3 | $u(E(R)) = \sqrt{\{16,17 \text{ g}^2 + 2,13 \times 10^{-9}R^2\}}$ | | |
| Utjecaji s vage | | | | |
| Ugađanje klizenja vidi G2.5.2 | $\hat{w}(R_{\text{adj}}) = 9,6 \times 10^{-5}$ | | | |
| Temperatura vidi G2.5.2 | $\hat{w}(R_{\text{temp}}) = 1,2 \times 10^{-6}$ | | | |
| Utjecaji postupka vaganja | | | | |
| Ekscentrično opterećenje | $\hat{w}(R_{\text{ecc}}) = 4,3 \times 10^{-5}$ | | | |
| Djelovanje uređaja za taru | $\hat{w}(R_{\text{tara}})$: uključena postupkom umjeravanja | | | |
| Vrijeme opterećenja | nije bitno za taj slučaj | | | |
| Nesigurnost rezultata vaganja $u(W)$ | PWR 1 | $u(W) = \sqrt{\{1,87 \text{ g}^2 + 3,12 \times 10^{-9}R^2\}}$ | | |
| | PWR 2 | $u(W) = \sqrt{\{9,92 \text{ g}^2 + 3,12 \times 10^{-9}R^2\}}$ | | |
| | PWR 3 | $u(W) = \sqrt{\{16,17 \text{ g}^2 + 3,12 \times 10^{-9}R^2\}}$ | | |
| Nesigurnost rezultata vaganja s ispravkom za $-E_{\text{appr}}$ | | | | |
| Povećana nesigurnost $u(W) = ku(W)$, $k = 2$ | PWR 1 | $U(W) = 2\sqrt{\{1,87 \text{ g}^2 + 3,12 \times 10^{-9}R^2\}}$ | | |
| | PWR 2 | $U(W) = 2\sqrt{\{9,92 \text{ g}^2 + 3,12 \times 10^{-9}R^2\}}$ | | |
| | PWR 3 | $U(W) = 2\sqrt{\{16,17 \text{ g}^2 + 3,12 \times 10^{-9}R^2\}}$ | | |
| Aproksimacija članovima prvog reda: $U(W) \approx U(\text{Max}_{i-1}) + \{[U(\text{Max}_i) - U(\text{Max}_{i-1})]/(\text{Max}_i - \text{Max}_{i-1})\} R$ | PWR 1 | $U(W) \approx 2,7 \text{ g} + 9,5 \times 10^{-5} R$ | | |
| | PWR 2 | $U(W) \approx 6,9 \text{ g} + 1,64 \times 10^{-4} (R - 12 \text{ kg})$ | | |
| | PWR 3 | $U(W) \approx 10,6 \text{ g} + 1,79 \times 10^{-4} (R - 30 \text{ kg})$ | | |
| Globalna nesigurnost rezultata vaganja bez ispravka očitavanja | | | | |
| $U_{\text{gl}}(W) = U(W) + E_{\text{appr}}(R) $ također aproksimacija članovima prvog reda | PWR 1 | $U_{\text{gl}}(W) \approx 2,7 \text{ g} + 2,74 \times 10^{-4}R$ | | |
| | PWR 2 | $U_{\text{gl}}(W) \approx 6,9 \text{ g} + 3,43 \times 10^{-4}(R - 12 \text{ kg})$ | | |
| | PWR 3 | $U_{\text{gl}}(W) \approx 10,6 \text{ g} + 3,58 \times 10^{-4}(R - 30 \text{ kg})$ | | |

G2.4.3 Prilog potvrdi mogao bi sadržavati ovu izjavu:

"Pod normalnim uvjetima uporabe uključujući promjene sobne temperature u granicama od 17 °C do + 27 °C opterećenja primijenjena bez posebne pozornosti da težište tereta bude primijenjeno u središte prijammnika tereta očitavanja R dobivena s uravnoteženjem ili bez uravnoteženja tare (netovrijednosti ili brutovrijednosti) mogućnost automatskog ugađanja vage bez primjene ikakva ispravka očitavanja R ,

rezultat je vaganja W :

$W = R \pm U(W)$, s nesigurnostima $U(W)$ danim u tablici u nastavku:

| Područje vaganja | Očitavanje R | | Nesigurnost $U(W)$ rezultata vaganja W |
|------------------|----------------|-------|---|
| | od | do: | |
| $PWR 1$ | 0 | 12 kg | $\approx 2,7 \text{ g} + 2,74 \times 10^{-4}R$ |
| $PWR 2$ | 12 kg | 30 kg | $\approx 6,9 \text{ g} + 3,43 \times 10^{-4}(R - 12 \text{ kg})$ $\approx 3 \text{ g} + 3,4 \times 10^{-4}R$ |
| $PWR 3$ | 30 kg | 60 kg | $\approx 10,6 \text{ g} + 3,58 \times 10^{-4}(R - 30 \text{ kg})$ $\approx 3,6 \times 10^{-4}R$ |

na razini povjerenja većoj od 95 %."

Alternativno bi trebalo čitati:

(Uvjeti kao prije) ... "...., rezultat vaganja W je

u granicama dopuštenih odstupanja od 1 % za $R \geq 0,28 \text{ kg}$
u granicama dopuštenih odstupanja od 0,5 % za $R \geq 0,57 \text{ kg}$
u granicama dopuštenih odstupanja od 0,2 % za $R \geq 1,56 \text{ kg}$
u granicama dopuštenih odstupanja od 0,1 % za $R \geq 3,72 \text{ kg}$

na razini povjerenja većoj od 95 %."

G2.5 Dopunski podatci za primjer

Vage s više podjeljaka imaju promjenjivi podjeljak ljestvice u području vaganja (vidi specifikaciju za Max i d u G2.1) i daju netopokazivanja nakon postupka uravnoteženja tare uvijek počinjući od najmanjega podjeljka ljestvice na isti način kao kad daju brutopokazivanja.

Za takve vage nije moguće, s razumnim naporom, provoditi ispitivanja pogriješka netopokazivanja vage s velikim opterećenjem tare. Može se prema tomu smatrati da će vaga sa zadovoljavajućom linearnošću odnosa $I = f(m)$ isti netoteret pokazati s gotovo istom pogriješkom bez obzira na vrijednost uravnoteženja tare. Aproksimacija linearnom funkcijom bez posmaka, tj. linearnom funkcijom kroz ništicu ($I(m = 0) = 0$) kao prema (C2.2-16) omogućuje ocjenu linearnosti relacije: pod uvjetima (C2.2-2) stvarni ispitni podatci zadovoljavaju kriterij $\min \chi^2$, aproksimacija linearnom funkcijom smatra se prikladnim pristupom, što znači da su pojedinačne pogriješke doista dostatno blizu pravcu koji prolazi kroz ništicu.

Za ispitivanje s jednim ili dva netotereta primijenjena nakon uravnoteženja tare treba međutim provesti znatno predopterećenje kako bi se osiguralo da djelovanja puzanja i histereze ne utječu znatno na pogriješke netotereta. Pod uvjetom da su pogriješke za iste netoterete, sa ili bez predopterećenja približno iste unutar standardnog odstupanja ponovljivosti, može se pretpostaviti da se pogriješke određene umjeravanjem stvarno primjenjuju na sva pokazana brutopopterećenja i netopopterećenja.

G2.5.1 Usporedba aproksimacija

Ta usporedba pokazuje da u tome slučaju vrijednosti pogreške određene u točkama ispitivanja 5. i 6. ne mijenjaju znatno rezultate aproksimacije.

Izračunima su dobivene vrijednosti za $\min \chi^2$:

2,10 treba procijeniti prema vrijednosti kriterija od **9,66** za prvu aproksimaciju

2,35 treba procijeniti prema vrijednosti kriterija od **12,93** za drugu aproksimaciju.

U oba je slučaja model linearne aproksimacije nesumnjivo u skladu sa stvarnim ispitnim podacima.

G2.5.2 Kako je utvrđeno u G2.1, pogreška *Max* bila je +7 g u vrijeme posljednjeg umjeravanja, a – 10 g u ovo vrijeme. Obje vrijednosti nalaze se u granicama proizvođačeve specifikacije za pogrešku u vrijednosti *Max*. Prema formuli (7.4.3-2) relativna nesigurnost za promjenu ugađanja jednaka je:

$$\hat{w}(R_{\text{adj}}) = |\Delta E(\text{Max})| / (\text{Max}/\sqrt{3}) = 9,6 \times 10^{-5}$$

G2.5.3 Kako je utvrđeno u podtočki G2.1, okolišna temperatura oko vage kreće se od 17 °C do + 27 °C, što dovodi do $\Delta T = 10$ K. Temperaturni koeficijent vage koji je specificirao proizvođač treba biti $TC \leq 2 \times 10^{-6} / \text{K}$: Prema tomu formula (7.4.3-1) daje:

$$\hat{w}(R_{\text{temp}}) = 2 \times 10^{-5} / \sqrt{3} = 1,2 \times 10^{-5}$$

G3 Vaga sposobnosti vaganja 30 t, podjeljak ljestvice 10 kg

G3.1 Uvjeti posebni za umjeravanje

| | |
|---|---|
| Vaga: | Elektronička vaga, opis i identifikacija , s EC tipnim odobrenjem, ali neovjerena |
| Max/d | 30 t/10 kg |
| Prijamnik tereta | 3 m širok, 10 m dug, oslonac u 4 točke |
| Instalacija | Na otvorenome, u sjeni |
| Temperaturni koeficijent | $TC \leq 2 \times 10^{-6} / \text{K}$ (priručnik proizvođača) |
| Ugrađen uređaj za ugađanje | Ne postoji |
| Posljednje umjeravanje | Obavljeno prije 10 mjeseci; pogreška u <i>Max</i> bila je –5 kg |
| Podjeljak ljestvice za ispitivanje | Veće razlučivanje (u radu), $d_T = 1$ kg |
| Trajanje ispitivanja | Od 9:00 prije podne do 11:00 prije podne |
| Temperatura tijekom umjeravanja | 17 °C do 20 °C |
| Barometarski tlak tijekom umjeravanja: | 1010 hPa \pm 10 hPa |
| Ispitni tereti | <p>Etalonski utezi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12 valjkastih utega koji se mogu valjati, lijevano željezo, 500 kg svaki, potvrđeni za utege razreda M1 s dopuštenim odstupanjem $mpe = 25$ g (OIML R 111) <p>Zamjenski tereti sastavljeni od čelika ili lijevanog željeza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 6 čeličnih spremnika punjenih rasutim čelikom ili lijevanim željezom, svaki mase ≈ 3000 kg • Prikolica za nošenje čeličnih spremnika mase ugođene na ≈ 6000 kg • Viličar mase $\approx 4,5$ t, kapaciteta 6 t za prenošenje zamjenskih tereta |

G3.2 Ispitivanja i rezultati

| | | |
|--|--|--|
| Ponovljivost (pretpostavlja se da je stalna u području vaganja) | Viličar s 2 čelična spremnika koji se kreću naizmjenično od jednoga do drugoga kraja prijamnika tereta, teret usredišten prostim okom; pokazivanje bez tereta po potrebi vraćeno na ništicu. Ispitni teret $\approx 10,5$ t Zabilježena očitavanja: 10411 kg; 10414 kg; 10418 kg; 10412 kg; 10418 kg. Nakon rasterećenja nijedno pokazivanje nije između 0 i 2 kg | |
| Pogrješka pokazivanja | ispitni tereti ugrađeni zamjenom s etalonskim utezima od 6000 kg i 4 zamjenska tereta od približno 6 tona svaki. Svi ispitni tereti primijenjeni su jednom, diskontinuirano opterećenje samo naviše, pokazivanja nakon uklanjanja etalonskih utega zabilježena, ali nije primijenjen ispravak; sva opterećenja uređena razumno oko središta prijamnika tereta. Zabilježena pokazivanja: | |
| Pogrješka pokazivanja | Teret L_T /kg | Pokazivanje I_i /kg |
| | 6000 | 6001 |
| | 12014 | 12014 |
| | 17996 | 17999 |
| | 24014 | 24019 |
| | 30001 | 30010 |
| | 0 | 4 |
| | Vidi G3.5.1 za potpun zapis podataka | |
| Ispitivanje ekscentričnosti | Neka ispitivanja tereta od $\approx 10,5$ t bila su upotrijebljena za ispitivanja ponovljivosti, pokazivanje bez opterećenja vraćanja na ništicu kad je potrebno; položaji/očitavanja u kg: | |
| | 1/10471 kg; 4/10476 kg; | 2/10467 kg; 5/10475 kg; 3/10473 kg |
| | $ \Delta I_{ecc} _{max} = 5$ kg | |

G3.3 Pogreške i odgovarajuće nesigurnosti

Izračuni se temelje na podtočkama 7.1 do 7.3

| Veličina ili utjecaj | Teret, pokazivanje, pogreška u kg | | | | | Razdioba/broj stupnjeva slobode |
|---|--|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------------|
| | Standardna nesigurnost u kg ili kao relativna vrijednost | | | | | |
| Pokazivanje $I \approx m_N$/kg | 6000 | 12000 | 18000 | 24000 | 30000 | |
| Pogrješka E_{cal}/mg | 1 | 0 | 3 | 5 | 9 | |
| Ponovljivost s/kg | 3,3 | | | | | norm/4 |
| Digitalizacija $d_{T0}/\sqrt{12}$ | 0,3 | | | | | pravokutna |
| Digitalizacija $d_{T1}/\sqrt{12}$ | 0,3 | | | | | pravokutna |
| Ekscentričnost $u(I_{ecc,ind}) = 6,9 \times 10^{-5} I_j$ Temelj: G3.5.2 | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 2,1 | pravokutna |
| Puzanje/histereza $u(I_{time}) = 7,7 \times 10^{-5} I_j$ Temelj: G3.5.3 | 0 | 0,92 | 1,39 | 1,85 | 2,31 | pravokutna |
| Nesigurnost pokazivanja $u(I)$ | 3,34 | 3,54 | 3,80 | 4,14 | 4,54 | |

| Ispitni tereti | | |
|--|-------|------------|
| Etalonski utezi m_{c1} ¹⁵⁾ | 6000 | |
| $u(\delta m_c) = mpe/\sqrt{3}$ | 0,173 | pravokutna |
| $u(\delta m_D) = mpe/\sqrt{3}$ | 0,173 | pravokutna |
| $u(\delta m_B) = 9 \times 10^{-6} m_{c1}$ ¹⁶⁾ | 0,054 | pravokutna |
| $u(m_{c1})$ | 0,25 | trokutna |

| Zamjenski tereti | 0 | 6000 | 12000 | 18000 | 24000 | |
|--|--|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|
| $L_{\text{subj}} \approx$ | | | | | | |
| $L_{Tj} = m_{c1} + L_{\text{subj}} \approx$ | 6000 | 12000 | 18000 | 24000 | 30000 | |
| $u(\delta m_B) = 2,9 \times 10^{-6} L_{\text{sub}}$ vidi G3.5.4 | zanemarivo | | | | | |
| $u(L_{Tj}) = \sqrt{\{j^2 u^2(m_{c1}) + 2\sum u^2(I_{j-1})\}}$ | 0,25 | 4,75 | 6,92 | 8,78 | 10,58 | trokutna prema normalnoj |
| Nesigurnost pogriješke $u(E) = \sqrt{\{u^2(I_j) + u^2(L_{Tj})\}}$ | 3,35 | 5,92 | 7,89 | 9,71 | 11,51 | |
| v_{eff} | 4 | 42 | > 100 | | | |
| $k(95\%)$ | 2,87 | 2,04 | 2 | 2 | 2 | |
| $U(E) = ku(E)$ | 9,6 | 12,1 | 15,8 | 18,4 | 23,0 | |
| dodatni, opcionalni: | | | | | | |
| Rezultat aproksimacije pravcem kroz ništicu | $E_{\text{appr}}(R) = 0,00019R$ | | | | | |
| Nesigurnost pogriješkaka aproksimacije | $u(E_{\text{appr}}(R)) = \sqrt{(9,4 \times 10^{-7} \text{ kg}^2 + 3,93 \times 10^{-8} R^2)}$ ⁽¹⁷⁾ | | | | | |
| Povećana nesigurnost s $k = 2$ | $U(E_{\text{appr}}(R)) = 2u(E_{\text{appr}}(R)) = 7,9 \times 10^{-4} R$ | | | | | |

Potvrda treba davati obavijest korisniku da svako očitavanje R dobiveno nakon umjeravanja treba ispraviti oduzimanjem odgovarajuće prethodno spomenute pogriješke E samo nakon zaokruživanja na podjeljak ljestvice d (znak E_d) te da se standardna nesigurnost pogriješke nekog očitavanja povećava zbog standardne nesigurnosti očitavanja $u(R) = \sqrt{(2d^2/12 + s^2)} = 5,25 \text{ kg}$.

O stvarnim vrijednostima koje se mogu prikazati u potvrdi vidi G3.5.5.

Bilo bi prihvatljivo u potvrdi navesti samo najveću vrijednost povećane nesigurnosti za sve iskazane pogriješke: $U(E) = 23 \text{ kg}$ ili $U(E_d) = 25 \text{ kg}$, koje se temelje na faktoru pokrivanja $k = 2$ popraćenom izjavom da je vjerojatnost pokrivanja jednaka barem 95 %.

G3.4 Nesigurnost pokazivanja u uporabi

Kako je utvrđeno u podtočki 7.4, sljedeće podatke može proizvesti umjerni laboratorij ili korisnik vage. Oni se ni u kojemu slučaju ne mogu prikazivati ni smatrati dijelom potvrde o umjeravanju.

15) Uteg razreda M1, umjeren prije 3 mjeseca, prosječno klizenje tijekom 2 umjeravanja: $|D_{\text{mc}}| \leq mpe$ tijekom 12 mjeseci, upotrebljava se na nazivnoj vrijednosti; dobro prilagođen sobnoj temperaturi ($\Delta T < 5 \text{ K}$).

16) Vrijednost iz tablice E2.1 za kovano željezo, sivo: $\rho = (7100 \pm 300) \text{ kg/m}^3$; $u(\rho_a) = 0,064 \text{ kg/m}^3$, $\hat{w}(m_B) = 9 \times 10^{-6}$

17) Prvi član je zanemarivo.

G3.4.1 Normalni uvjeti uporabe vage, koji se podrazumijevaju ili kako ih je specificirano korisnik, mogu uključivati:

- promjene temperature od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- opterećenja koja nisu uvijek pažljivo usredištena
- funkciju uravnoteženja tare u radu
- vremena opterećenja: kraća nego pri umjeravanju

G3.4.2 Tablica za izračun prema podtočkama 7.4 i 7.5

| Veličina ili utjecaj | Pokazivanje u kg Pogrješka, nesigurnost: relativna ili u kg | Razdioba/broj stupnjeva slobode |
|---|--|---------------------------------|
| Pogrješke određene umjeravanjem | $E(R) = 0,00019R$ | |
| Standardna nesigurnost $u(E(R))$ | $u(E(R)) = \sqrt{\{(5,24\text{ kg})^2 + 3,93 \times 10^{-8}R^2\}}$ | |
| Drugi doprinosi nesigurnosti | | |
| Vaga | | |
| Postupak vaganja Klizanje ugadjanja promjena $E(Max)$ u 1 godini = 15 kg | $\hat{w}(R_{adj}) = 15/(30000\sqrt{3}) = 2,89 \times 10^{-4}$ | |
| Temperatura $\hat{w}(R_{temp}) = TC \times \Delta T / \sqrt{12}$ | $2 \times 10^{-6} \times 40 / \sqrt{12} = 0,23 \times 10^{-4}$ | pravokutna |
| Postupak vaganja | | |
| Ekscentričnost tereta: $\hat{w}(R_{ecc}) = \Delta l _{max} / (L_{ecc} \sqrt{3})$ | $5/(10470\sqrt{3}) = 2,76 \times 10^{-4}$ | pravokutna |
| Uravnoteženje tare: pogrješke nelinearnosti manje od njihove standardne nesigurnosti | – | pravokutna |
| Vrijeme opterećenja $u(I_{time})$ primjenjuje se za cijelo područje vaganja, vidi G3.5.3 | $\hat{w}(R_{time}) = 0,77 \times 10^{-4}$ | pravokutna |
| Nesigurnost rezultata vaganja $u(W)$ | $u(W) = \sqrt{\{(5,24\text{ kg})^2 + (3,93 + 8,35 + 0,05 + 7,60 + 0,59) \times 10^{-8}R^2\}}$ $u(W) = \sqrt{\{(5,24\text{ kg})^2 + (16,6) \times 10^{-8}R^2\}}$ | |
| $k(95\text{ } \%)$ | 2 | |
| Nesigurnost rezultata vaganja s ispravkom za E_{appr} | | |
| $U(W) = k u(W)$ | $U(W) = 2\sqrt{\{(5,24\text{ kg})^2 + (16,6) \times 10^{-8}R^2\}}$ | |
| Aproksimirano članovima prvog reda | $U(W) \approx U(W=0) + \{[U(W=Max) - U(W=0)] / Max\}R$ $U(W) \approx 10,5\text{ kg} + 5,4 \times 10^{-4}R$ | |
| Ukupna nesigurnost rezultata vaganja bez ispravka očitavanja | | |
| $U_{gl}(W) = U(W) + E_{appr}(R) $ | $U_{gl}(W) = 10,5\text{ kg} + 7,3 \times 10^{-4}R$ | |

G3.4.3 Prilog potvrdi mogao bi sadržavati ovu izjavu:

"Pod normalnim uvjetima uporabe, uključujući
sobnu temperaturu koja se mijenja u granicama od -10 °C do $+30\text{ °C}$
opterećenja primijenjena bez posebne pozornosti je li težište primijenjeno u središte prijavnika tereta
očitanja R dobivena s uravnoteženjem ili bez uravnoteženja tare (netovrijednosti ili brutovrijednosti)
bez primjene ikakva ispravka očitavanja R ,

rezultat vaganja W jednak je:

$$W = R \pm (10,5 \text{ kg} + 7,3 \times 10^{-4}R)$$

na razini povjerenja većoj od 95 %."

Alternativno bi trebalo čitati:

"(Uvjeti kao prije) ...,
rezultat vaganja W je
u granicama dopuštenih odstupanja od 1 % za $R \geq 1130 \text{ kg}$
u granicama dopuštenih odstupanja od 1 % za $R \geq 2450 \text{ kg}$
u granicama dopuštenih odstupanja od 0,2 % za $R \geq 8200 \text{ kg}$

na razini povjerenja većoj od 95 %."

G3.5 Dopunski podatci za primjer

G3.5.1 Podatci o postupku zamjene; referencija: 4.3.3

Pri ispitivanju umjeravanja sa zamjenskim teretom svaki zamjenski teret bio je ugođen dodavanjem ili oduzimanjem strojnih dijelova kako bi se postigle razlike $\Delta I_j \leq 20 \text{ kg}$ (štedi se vrijeme u usporedbi s ugađanjem $\Delta I \leq 1 \text{ kg}$). Sva su pokazivanja s velikim razlučivanjem $d_T = 1 \text{ kg}$.

U koraku 1. kao zamjenski teret bila je upotrijebljena prazna prikolica; u koracima 2 do 4, na prikolicu su svaki put stavljana dva spremnika.

Svi podatci koji su bili zabilježeni prikazuju se u cijelosti u nastavku. U skladu s podtočkom 4.3.3 upotrebljavaju se znakovi koji imaju ovo značenje:

| | |
|----------------------|--|
| L_{Tj} | ispitni teret u koraku j , koji se sastoji od etalonskih utega mase $m_{c1} = 6000 \text{ kg}$ plus akumulirani zamjenski teret L_{Tj-1} |
| E_j | $= I_j - L_{Tj}$ |
| I_j' | pokazivanje nakon uklanjanja m_{c1} |
| $I(L_{\text{subj}})$ | pokazivanje nakon dodavanja zamjenskoga tereta od $\approx 6000 \text{ kg}$ |
| ΔI_j | $= I(L_{\text{subj}}) - I_j$ |
| L_{sub} | $= L_{Tj} + \Delta I_j$, vrijednost zamjenskoga tereta |

| Korak j | L_{Tj} | I_j | E_j | I_j' | $I(L_{\text{subj}})$ | ΔI_j | L_{sub} |
|-----------|----------|-------|-------|--------|----------------------|--------------|------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 1 | 6000 | 6001 | 1 | 1 | 6015 | 14 | 6014 |
| 2 | 12014 | 12014 | 0 | 6016 | 11996 | -18 | 11996 |
| 3 | 17996 | 17999 | 3 | 12001 | 18017 | 18 | 18014 |
| 4 | 24014 | 24019 | 5 | 18022 | 24006 | -13 | 24001 |
| 5 | 30001 | 30010 | 9 | | - | - | - |

Nakon uklanjanja svih ispitnih tereta bilo je zabilježeno stabilno pokazivanje od 4 kg.

U G3.3 sva se pokazivanja navode kao nazivne vrijednosti (kao prema podtočki 6.2.1).

G3.5.2 Ekscentričnost ispitnih tereta

Položaji tereta za ispitivanja ekscentričnosti: razlike od središta prijamnika tereta bile su 2,50 m po duljini i 0,75 m po širini, kao za položaje običnoga tereta za to ispitivanje.

Tereti za ispitivanja bili su vizualno pažljivo usređeni, opažena je najveća udaljenost od 1 m po duljini i 0,4 m po širini. Ekscentričnost tih tereta nije prema tomu bila veća od $\frac{1}{2}$ udaljenosti pri ispitivanju ekscentričnosti.

Relativna standardna nesigurnost zbog ekscentričnosti pri ispitivanjima pokazivanja tada je jednaka:

$$\hat{w}(I_{\text{ecc.ind}}) = |\Delta I_{\text{ecc}}|_{\text{max}} / (2L_{\text{ecc}}\sqrt{3})$$

G3.5.3 Djelovanja puzanja i histereze

Za sve korake opterećenja zamjenskim teretom treba uzeti u obzir dodatnu nesigurnost zbog činjenice da taj postupak uključuje niz opterećenja i rasterećenja te da je potrebno dodatno vrijeme za ugađanje svakoga akumuliranog zamjenskog tereta.

Za puzanje i histerezu doprinos se može izvesti iz pokazivanja E_0 pri povratku na ništični teret, kao prema podtočki 7.4.4.2.

Izraz (7.4.4-7):
$$\hat{w}(I_{\text{time}}) = E_0 / (Max\sqrt{3})$$

daje vrijednost od

$$\hat{w}(I_{\text{time}}) = 4 / (30000 \times \sqrt{3}) = 7,7 \times 10^{-5}$$

koju bi trebalo dodati nesigurnosti pokazivanja za sve terete osim prvoga tereta od 6000 kg koji se sastoji samo od etalonskih utega.

Ista se nesigurnost dodaje pokazivanjima u uporabi jer se u normalnoj uporabi očekuje da će vrijeme opterećenja biti prilično kratko te da će se prema tomu razlikovati od onog pri umjeravanju.

G3.5.4 Ispravak zbog uzgona zraka za zamjenske terete

Zamjenski tereti bili su prikolica i čelični spremnici punjeni otpadnim strojnim dijelovima (čelik i kovano željezo).

Pretpostavlja se da je gustoća punjenih spremnika (na temelju podataka danih u dodatku E) jednaka $\rho = (7500 \pm 400) \text{ kg/m}^3$.

Radi jednostavnosti ista se gustoća može pretpostaviti i za prikolicu (koja se temelji uglavnom na čeliku, osim za gume i određene dijelove kočnoga sustava).

Tijekom umjeravanja temperatura zraka t mijenjala se od $17 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+ 20 \text{ }^\circ\text{C}$, a atmosferski tlak je bio $p = (1010 \pm 10) \text{ hPa}$.

Primjenom izraza (A1.1-1) u kojemu je zanemaren član s relativnom vlažnošću nalazimo krajnje vrijednosti:

$$\rho_{\text{a,min}} = 0,34848 p_{\text{min}} / (273,15 + t_{\text{max}}) = 1,1889 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{a,max}} = 0,34848 p_{\text{max}} / (273,15 + t_{\text{min}}) = 1,2251 \text{ kg/m}^3$$

s razlikom

$$\Delta\rho_{\text{a}} = 0,0362 \text{ kg/m}^3$$

Najveća promjena uzgona zraka zamjenskih tereta bila bi prema tomu:

$$\Delta m_{\text{sub,B}} \approx \Delta\rho_{\text{a}} / \rho = 24000 \times 0,0362 / 7500 = 0,12 \text{ kg,}$$

što daje relativnu nesigurnost od:

$$w(\delta m_{\text{sub,B}}) = \Delta m_{\text{sub,B}} / (L_{\text{sub}}\sqrt{3}) = 2,9 \times 10^{-6}$$

koja je doista zanemariva.

G3.5.5 Rezultati su vaganja pod uvjetima umjeravanja

Rezultati vaganja $W^* = R - E$ dobiveni nakon umjeravanja određeni u ispitnim točkama pod uvjetima umjeravanja sljedeći:

| | | | | | | |
|---|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| Očitavanje R | 6000 | 12000 | 18000 | 24000 | 30000 | |
| Pogrješke zaokružene na d | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | |
| $u(R)$ | 5,25 | | | | | |
| $u(W^*) = \sqrt{\{u^2(R) + u^2(E)\}}$ | 6,22 | 7,91 | 9,47 | 11,03 | 12,65 | |
| v_{eff} | 25 | > 60 | | | | |
| $k(95 \%)$ | 2,11 | 2 | | | | |
| $U(W^*) = ku(W^*)$ | 13,1 | 15,8 | 18,9 | 22,1 | 25,3 | |
| Rezultat aproksimacije pravcem kroz ničticu | $E_{\text{appr}}(R) = 0,00019 R$ | | | | | |
| Nesigurnost vrijednosti W^* | $U(W^*) = 2\sqrt{\{(5,25 \text{ kg})^{-2} + 3,93 \times 10^{-8} R^2\}}$ | | | | | |
| Povećana nesigurnost s $k = 2$ | $U(W^*) = 2 u(W^*)$ | | | | | |

