

MEĐUNARODNI  
DOKUMENT

**OIML R 111-1**  
Izdanje 2004.

---

**Utezi razreda  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M_1$ ,  $M_{1-2}$ ,  $M_2$ ,  
 $M_{2-3}$  i  $M_3$**

**1. dio: Mjeriteljski i tehnički zahtjevi**

---



ORGANISATION INTERNATIONALE  
DE MÉTROLOGIE LÉGALE

---

MEĐUNARODNA ORGANIZACIJA  
ZA ZAKONSKO MJERITELJSTVO

Naslov izvornika:

INTERNATIONAL RECOMMENDATION OIML R 111-1

Weights of classes  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M_1$ ,  $M_{1-2}$ ,  $M_2$ ,  $M_{2-3}$  and  $M_3$   
Part 1: Metrological and technical requirements

Poids des classes  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M_1$ ,  $M_{1-2}$ ,  $M_2$ ,  $M_{2-3}$  et  $M_3$   
Partie 1: Exigences métrologiques et techniques

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

---

Prijevod međunarodne preporuke OIML R 111-1 nije namijenjen za raspačavanje nego kao radni materijal isključivo za potrebe DZM-a.

## Sadržaj

<i>Predgovor</i> .....	3
<b>Općenito</b> .....	4
1 Područje primjene .....	4
2 Nazivlje .....	5
3 Znakovi .....	8
4 Jedinice i nazivne vrijednosti utega .....	11
<b>Mjeriteljski zahtjevi</b> .....	11
5 Najveće dopuštene pogreške pri ovjeravanju .....	11
<b>Tehnički zahtjevi</b> .....	13
6 Oblik .....	13
7 Građa .....	14
8 Gradivo .....	15
9 Magnetizam .....	16
10 Gustoća .....	17
11 Stanja površine .....	18
12 Ugađanje .....	19
13 Oznake .....	20
14 Prikazivanje .....	21
<b>Mjeriteljski pregledi</b> .....	22
15 Podnošenje na mjeriteljske preglede .....	22
16 Označivanje pregleda .....	23
<b>Dodatak A: Primjeri različitih oblika i dimenzije</b> .....	25
<b>Dodatak B: Ispitni postupci za utege (obvezatni)</b> .....	28
B.1 Uvod .....	28
B.2 Ispitni slijed .....	28
B.3 Prikaz dokumenata i vizualni pregled .....	28
B.4 Čišćenje utega .....	29
B.5 Hrapavost površine .....	30
B.6 Magnetizam .....	33
B.7 Gustoća .....	42
B.8 Dodjela OIML 111 (2004) razreda starim i/ili posebnim utezima .....	60
<b>Dodatak C: Umjeravanje utega ili garniture utega (obvezatni)</b> .....	61
C.1 Područje primjene .....	61
C.2 Opći zahtjevi .....	61
C.3 Planiranje vaganja .....	62
C.4 Ciklusi vaganja .....	63
C.5 Analiza podataka .....	65
C.6 Izračunavanje nesigurnosti .....	66

<b>Dodatak D: Statističko upravljanje (obavijesni)</b> .....	71
D.1 Etalon za provjeru .....	71
D.2 Preciznost vage .....	72
<b>Dodatak E: Formula CIPM-a i aproksimacijska formula (obavijesni)</b> .....	74
E.1 Formula CIPM-a .....	74
E.2 Stalnice .....	74
E.3 Približna formula za gustoću zraka .....	76

## PREDGOVOR

Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo (OIML) svjetska je međuvladina organizacija čiji je osnovni cilj usklađivanje propisa i mjeriteljskih provjera koje primjenjuju nacionalne mjeriteljske službe ili srodne organizacije njezinih zemalja članica.

Dvije su osnovne kategorije publikacija OIML-a.

- 1) **međunarodne preporuke (OIML R)**, koje su model propisa kojima se utvrđuju mjeriteljske značajke koje se zahtijevaju za određena mjerila te koje utvrđuju metode i opremu za provjeru njihove sukladnosti; zemlje članice moraju koliko je to moguće primjenjivati preporuke OIML-a;
- 2) **međunarodni dokumenti (OIML D)**, koji su po naravi obavijesni dokumenti čija je svrha poboljšati rad mjeriteljskih služba.

Nacrte preporuka i dokumenata OIML-a pripremaju tehnički odbori ili pododbori koje osnivaju zemlje članice. Određene međunarodne i regionalne ustanove također sudjeluju na savjetodavoj osnovi.

Sporazumi o suradnji uspostavljaju se između OIML-a i određenih ustanova, kao na primjer ISO-a i IEC-a, s ciljem izbjegavanja proturječnih zahtjeva; posljedica toga je da proizvođači i korisnici mjerila, ispitni laboratoriji itd. mogu primjenjivati istodobno publikacije OIML-a i publikacije drugih institucija.

Međunarodne preporuke i međunarodni dokumenti objavljuju se na francuskome (F) i engleskome (E) jeziku i podvrgavaju periodičnim prerađbama.

Ovu publikaciju – OIML R 111-1, izdanje iz 2004. (E) – izradio je pododbor OIML-a TC 9/SC 3, *Utezi*. Nju je 2004. godine za konačno objavljivanje odobrio Međunarodni odbor za zakonsko mjeriteljstvo.

Publikacije OIML-a mogu se izravno učitati s mrežne stranice OIML-a u obliku PDF datoteka. Dodatni podaci o publikacijama OIML-a mogu se dobiti u sjedištu organizacije.

Bureau International de Métrologie Légale  
11, rue Turgot – 75009 Paris – France  
Telefon: 33 (0) 1 4878 1282  
Fax: 33 (0) 1 4282 1727  
E-mail: [oiml@oiml.org](mailto:oiml@oiml.org)  
Internet: [www.oiml.org](http://www.oiml.org)

## UTEZI RAZREDA $E_1$ , $E_2$ , $F_1$ , $F_2$ , $M_1$ , $M_{1-2}$ , $M_2$ , $M_{2-3}$ i $M_3$

### Općenito

#### 1 PODRUČJE PRIMJENE

1.1 Ova preporuka sadržava glavne fizikalne značajke i mjeriteljske zahtjeve za utege koji se upotrebljavaju:

- za ovjeravanje vaga
- ovjeravanje utega nižeg razreda točnosti
- za vaganje.

Nazivne vrijednosti mase utega koje obuhvaća ova preporuka nalaze se u području od 1 miligrama (mg) do 50 kilograma (kg).

#### 1.2 Primjena

Ova se preporuka primjenjuje na utege s nazivnim vrijednostima mase od 1 mg do 5 000 kg razreda točnosti  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M_1$ ,  $M_{1-2}$ ,  $M_2$ ,  $M_{2-3}$  i  $M_3$

#### 1.3 Najmanji razred točnosti utega

Razredi točnosti utega koji se upotrebljavaju kao etaloni za ovjeravanje utega ili vaga moraju se utvrditi u odgovarajućoj međunarodnoj preporuci koja se odnosi na vage.

1.3.1 Razredi točnosti utega prema OIML-u definiraju se na sljedeći način:

**Razred  $E_1$**  Utezi namijenjeni za osiguranje sljedivosti između nacionalnog etalona mase (s vrijednostima izvedenim iz međunarodne pramjere kilograma) i utega razreda  $E_2$  i nižih razreda. Utezi razreda  $E_1$  ili garniture utega moraju biti praćeni potvrdom o umjeravanju (vidi 15.2.2.1).

**Razred  $E_2$** : Utezi namijenjeni za ovjeravanje ili umjeravanje utega razreda  $F_1$  i za uporabu s vagama posebnog razreda točnosti I. Utezi razreda  $E_2$  ili garniture utega moraju biti praćeni potvrdom o umjeravanju (vidi podtočku 15.2.2.1). Ti se utezi mogu upotrebljavati kao utezi razreda  $E_1$  ako zadovoljavaju zahtjeve za hrapavost površine, magnetsku susceptibilnost i magnetizaciju za utege razreda  $E_1$  te ako potvrda o umjeravanju daje odgovarajuće podatke kako je specificirano u podtočki 15.2.2.1.

**Razred  $F_1$** : Utezi namijenjeni za ovjeravanje ili umjeravanje utega razreda  $F_2$  i za uporabu s vagama posebnog razreda točnosti I i razreda II visoke točnosti.

**Razred  $F_2$** : Utezi namijenjeni za ovjeravanje ili umjeravanje utega razreda  $M_1$  i možda razreda  $M_2$ . Također su namijenjeni za uporabu u važnim trgovačkim transakcijama (npr. plemenitih kovina i dragoga kamenja) s vagama razreda II visoke točnosti.

**Razred  $M_1$** : Utezi namijenjeni za ovjeravanje ili umjeravanje utega razreda  $M_2$  i za uporabu s vagama razreda III srednje točnosti.

**Razred  $M_2$** : Utezi namijenjeni za ovjeravanje ili umjeravanje utega razreda  $M_3$  i za uporabu u uobičajenim trgovačkim transakcijama i s vagama razreda III srednje točnosti.

**Razred  $M_3$** : Utezi namijenjeni za uporabu s vagama razreda III srednje točnosti i običnim vagama razreda točnosti III.

**Razred  $M_{1-2}$  i  $M_{2-3}$** : Utezi od 50 kg do 5000 kg niže točnosti namijenjeni su za uporabu s vagama razreda III srednje točnosti.

*Napomena:* Pogriješka utega koji se upotrebljava za ovjeravanje vaga ne smije biti veća od 1/3 najveće dopuštene pogriješke za vagu. Te su vrijednosti dane u podtočki 3.7.1 preporuke OIML R 76, *Neautomatske vage* (1992.).

## 2 NAZIVLJE

Nazivlje koje se upotrebljava u ovoj preporuci u skladu je s *Međunarodnim rječnikom osnovnih i općih naziva u metrologiji* (izdanje iz 1993.) [1] i *Međunarodnim rječnikom naziva u zakonskoj metrologiji* (izdanje iz 2000.) [2]. Dodatno se za potrebe ove preporuke primjenjuju sljedeće definicije.

### 2.1 Razred točnosti

Razred dodijeljen utegu ili garnituri utega koji zadovoljava određene mjeriteljske zahtjeve namijenjen za održavanje vrijednosti mase u specificiranim granicama.

### 2.2 Vaga

Mjerilo koje pokazuje prividnu masu i koje je osjetljivo na sljedeće sile:

$F_g = m \times g$	Sila teže
$F_b = V \times \rho_a \times g = \frac{m}{\rho} \rho_a \times g$	Uzgon zraka jednak težini istisnutog zraka
$F_z = \mu_0 \iiint_V (M + \chi H) \frac{\partial H}{\partial z} dV$	Okomita sastavnica magnetskog međudjelovanja između utega i vage i/ili okoliša

$H$  i  $M$  su vektori;  $z$  je okomita kartezijska koordinata.

Ako su magnetska djelovanja zanemariva, tj. ako su trajna magnetizacija ( $M$ ) utega i magnetska susceptibilnost ( $\chi$ ) dostatno malene i ako je vaga umjerena s pomoću referentnih utega dobro poznate mase, ta se vaga može upotrebljavati za pokazivanje dogovorene mase ( $m_c$ ) tijela pod dogovorno odabranim uvjetima.

### 2.3 Umjeravanje

Skup postupaka kojima se u određenim uvjetima uspostavlja odnos između vrijednosti veličina koje pokazuje neko mjerilo ili mjerni sustav, ili vrijednosti koje prikazuje neka tvarna mjera ili neka referentna tvar, i odgovarajućih vrijednosti ostvarenih etalonima

*Napomena 1.:* Rezultat umjeravanja dopušta pridruživanje vrijednosti mjerenih veličina pokazivanjima ili određivanje ispravka pokazivanja.

*Napomena 2.:* Umjeravanjem se mogu također odrediti i druga mjeriteljska svojstva, npr. djelovanje utjecajnih veličina.

*Napomena 3.:* Rezultat umjeravanja može se zabilježiti u dokument koji se katkad naziva potvrda o umjeravanju ili izvještaj o umjeravanju.

#### 2.3.1 Potvrda o umjeravanju (izvještaj)

Potvrda koju izdaju samo ovlaštene ili akreditirane laboratorije u koju se bilježe rezultati umjeravanja.

### 2.4 Potvrda o sukladnosti

Dokument koji izdaje ovlašteno nacionalno tijelo koji označuje povjerenje da su naznačeni uteg ili garnitura utega, ili njihovi uzorci, sukladni s odgovarajućim zahtjevima ove preporuke (vidi *Sustav potvrđivanja mjerila OIML-a*).

### 2.5 Etalon za provjeru

Etalon za koji je predviđeno da se u statističkom upravljanju procesom upotrebljava za "provjeru" osiguranja da su etaloni, mjerni procesi i rezultati u statistički prihvatljivim granicama.

## 2.6 Usporedba

Mjerna metoda koja se temelji na usporedbi vrijednosti veličine koja se mjeri s poznatom vrijednošću iste veličine.

## 2.7 Dogovorena masa (također se naziva dogovorenom vrijednošću mase)

Dogovorena vrijednost rezultata vaganja u zraku u skladu s međunarodnom preporukom OIML R 28, *Dogovorena vrijednost rezultata vaganja u zraku* [3]. Za uteg uzet na referentnoj temperaturi od 20 °C dogovorena masa jednaka je masi referentnog utega gustoće ( $\rho_{\text{ref}}$ ) od 8 000 kg·m<sup>-3</sup> koja uravnotežuje taj uteg u zraku gustoće ( $\rho_0$ ) od 1,2 kg·m<sup>-3</sup>.

## 2.8 Gustoća tijela

Masa podijeljena obujmom dana formulom:  $\rho = \frac{m}{V}$ .

## 2.9 Magnetizam

Djelovanje koje stvara privlačnu ili odbojnu silu.

### 2.9.1 Magnetski dipolni moment ( $m_d$ )

Parametar magnetskoga dipola. Jakost magnetskoga polja proizvedena dipolom, također sila između dipola i magnetiziranog uzorka, razmjerna je momentu toga dipola. Sila između dipola i uzorka koji ima magnetsku susceptibilnost razmjerna je kvadratu dipolnog momenta.

### 2.9.2 Jakost magnetskoga polja ( $H$ )

Lokalni intenzitet magnetskoga polja proizveden magnetskim gradivom, npr. trajnim magnetom ili električnim krugovima.

### 2.9.3 Magnetska sila ( $F_1, F_2, F_a, F_b, F_{\text{max}}$ i $F_z$ )

Sila proizvedena na magnetski osjetljivu gradivu vanjskim magnetskim poljima.

### 2.9.4 Magnetska permeabilnost ( $\mu$ )

Mjera sposobnosti sredstva da preinačuje magnetsko polje.

### 2.9.5 Magnetska stalnica (magnetska permeabilnost vakuuma ( $\mu_0$ ))

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$$

### 2.9.6 Obujamska magnetska susceptibilnost ( $\chi$ )

Mjera sposobnosti sredstva da mijenja magnetsko polje. Ona je povezana s magnetskom permeabilnošću ( $\mu$ ) relacijom:  $\mu/\mu_0 = 1 + \chi$ . Veličina  $\mu/\mu_0$  katkad se naziva relativnom permeabilnošću ( $\mu_0$ ).

### 2.9.7 Trajna magnetizacija ( $M$ )

Parametar koji specificira magnetsko stanje tijela kao što su utezi kad ne postoji magnetsko polje (najopćenitije, magnetizacija je vektor čija apsolutna vrijednost i smjer u gradivu nisu nužno stalni). Magnetizacija tijela stvara nehomogeno magnetsko polje u prostoru i prema tomu proizvodi magnetske sile na druga gradiva.

## 2.10 Najveća dopuštena pogriješka ( $\delta m$ ili mpe)

Najveća apsolutna vrijednost razlike dopuštene nacionalnim propisom između izmjerene dogovorene mase i nazivne vrijednosti utega kako je određena odgovarajućim referentnim utezima.



### 2.11 Parametar hrapavosti ili R-parametar ( $R_a$ , ili $R_z$ )

Parametar koji opisuje procijenjenu hrapavost profila uzorka. Slovo R pokazuje tip procijenjenoga profila, u ovome slučaju R označuje hrapavost profila. Procijenjeni profil uzorka može se opisati različitim tipovima profila: profilom hrapavosti ili R-parametrom, primarnim profilom ili P-parametrom, valovitim profilom ili W-parametrom.

### 2.12 Uteg osjetljivosti

Uteg koji se upotrebljava za određivanje osjetljivosti vage (vidi T.4.1 u OIML R 76-1).

### 2.13 Garnitura utega

Niz ili skupina utega, koji se obično daju u kakvu kovčežiću, sastavljena tako da omogućuje vaganje svih tereta s masom između mase utega s najmanjom nazivnom vrijednošću i vrijednosti zbroja masa svih utega iz te skupine s progresijom u kojoj masa utega najmanje nazivne vrijednosti čini najmanji korak u tome nizu. Utezi imaju slične mjeriteljske značajke i iste ili različite nazivne vrijednosti kako je definirano u podtočki 4.3 ove preporuke i pripadaju istomu razredu točnosti.

### 2.14 Temperatura ( $t$ )

U Celzijevim stupnjevima, povezana je s termodinamičkom temperaturnom ljestvicom koja se naziva Kelvinovom ljestvicom izrazom  $t = T - 273,15$  K.

### 2.15 Ispitivanje

Tehnička radnja koja se sastoji od određivanja jednog ili više svojstava određenoga proizvoda, gradiva, opreme, organizacije, fizikalna pojave, procesa ili usluge u skladu s jasno određenim postupkom. (Na temelju natuknice 13.1, *Ispitivanje*, ISO/IEC upute 2: 1996, *Normizacija i srodne djelatnosti – Opći rječnik*) [5]

### 2.16 Ispitni uteg ( $m_i$ )

Uteg koji se ispituje u skladu s ovom preporukom.

### 2.17 Tip

Definirani model utega ili garniture utega s kojim je u skladu.

#### 2.17.1 Vrednovanje tipa

Sustavno provjeravanje i ispitivanje značajka jednog ili više primjeraka utvrđenoga tipa mjerila prema dokumentiranim zahtjevima ove preporuke, čiji se rezultati nalaze u izvještaju o vrednovanju, radi određivanja može li se tip odobriti.

#### 2.17.2 Odobrenje tipa

Proces donošenja odluke ovlaštenoga tijela, koja se temelji na izvještaju o vrednovanju za tip utega ili garnituru utega i profesionalnoj prosudbi, da je taj tip u skladu s obvezatnim zahtjevima iz ove preporuke za zakonske primjene.

### 2.18 Ovjeravanje

Sve radnje koje provodi tijelo nacionalne službe zakonskog mjeriteljstva (ili druga zakonski ovlaštena organizacija) čija je svrha ispitivanje i utvrđivanje da uteg u potpunosti zadovoljava zahtjeve propisa za ovjeravanje. Ovjeravanje obuhvaća ispitivanje i žigosanje. (Prilagođeno iz VIML 2.4 i 2.13)

### 2.18.1 Prvo ovjeravanje

Niz ispitivanja i vizualnih provjera koji se provode prije nego što se oprema/uteg stavi u funkciju kako bi se odredilo jesu li uteg ili garnitura utega proizvedeni kako bi replicirali dani tip, jesu li u skladu s tim tipom i propisima te leže li njihove mjeriteljske značajke u granicama koje se zahtijevaju za prvo ovjeravanje kopija toga tipa. Ako utezi ili garnitura utega prođu sva ispitivanja i provjere, daje im se zakoniti karakter njihovim prihvaćanjem koje se potvrđuje žigosanjem i/ili izdavanjem potvrde o ovjeravanju. (Prilagođeno iz OIML D 20, *Prva i naknadna ovjeravanja mjerila i procesa* (1988).)

### 2.18.2 Naknadno ovjeravanje ili pregled u radu

Niz ispitivanja i vizualnih provjera, koje također provodi službenik službe zakonskog mjeriteljstva (inspektor), kako bi utvrdio da li uteg ili garnitura utega, koji su određeno vrijeme od prethodnog ovjeravanja bili u uporabi, i dalje zadovoljavaju, ili su ponovno zadovoljili propise, te da zadržavaju svoje mjeriteljske značajke u zahtijevanim granicama. Ako utezi ili garnitura utega prođu sva ispitivanja i provjere, njihov se zakoniti karakter potvrđuje ili ponovno uspostavlja njihovim prihvaćanjem koje se potvrđuje žigosanjem i/ili izdavanjem potvrde o ovjeravanju. Kad se za ovjeru populacije utega upotrebljava uzorkovanje, svi elementi u populaciji smatraju se ovjerenim.

### 2.19 Utteg

Tvarna mjera mase uređena propisom s obzirom na njezine fizikalne i mjeriteljske značajke: oblik, dimenzije, gradivo, kakvoću površine, nazivnu vrijednost, gustoću, magnetska svojstva i najveću dopuštenu pogrješku.

### 2.20 Težina tijela ( $F_g$ )

Sila teže kojom zemlja privlači to tijelo. Riječ težina označuje veličinu iste naravi kao sila: težina tijela umnožak je njegove mase i ubrzanja sile teže.

## 3 ZNAKOVI

### Znak Jedinica Definicija

$A$	$m^2$	ploština
$B$	T	magnetska indukcija u sredstvu
$B_E$	T	očitanje gausometra magnetskoga polja u okolišu kad nema utega
$B_0$	T	magnetska indukcija u vakuumu
$C$	–	faktor ispravka zbog gustoće zraka
$C_a$	–	faktor ispravka zbog uzgona zraka za gustoću zraka tijekom ciklusa vaganja u zraku
$C_{al}$	–	faktor ispravka zbog uzgona zraka za gustoću zraka tijekom ciklusa vaganja u kapljevinu
$C_s$	–	faktor ispravka zbog uzgona zraka za gustoću utega osjetljivosti
$D$	kg	razlika očitavanja vage između najmanje i najveće vrijednosti iz ispitivanja ekscentričnosti
$d$	kg	podjeljak ljestvice
$F_1$	N	prosječna sila izračunana uporabom promjene prosječne mase na masi komparatora za prvi skup očitavanja
$F_2$	N	prosječna sila izračunana uporabom promjene prosječne mase na masi komparatora za drugi skup očitavanja
$F_a$	N	prosječna sila koja se upotrebljava za magnetsku susceptibilnost
$F_b$	N	prosječna sila koja se upotrebljava za magnetizaciju
$F_g$	N	sila teže
$F_{max}$	N	najveća sila za magnetsku susceptibilnost
$F_z$	N	magnetska sila između mase komparatora i utega u okomitome ili z-smjeru

**Znak Jedinica Definicija**

$g$	$\text{m s}^{-2}$	ubrzanje sile teže
$h$	mm ili m	visina utega
$H$	$\text{A m}^{-1}$	jakost magnetskoga polja
$H_{EZ}$	$\text{A m}^{-1}$	okomita sastavnica jakosti magnetskoga polja zemlje
$hr$	%	relativna vlažnost
$\Delta I$	kg	razlika pokazivanja vage, gdje je $\Delta I = I_t - I_r$
$\Delta I_a$	kg	razlika pokazivanja vage u zraku, gdje je $\Delta I_a = I_{ta} - I_{ra}$
$\Delta I_1$	kg	razlika pokazivanja vage u kapljevine, gdje je $\Delta I_1 = I_{t1} - I_{r1}$
$\Delta I_s$	kg	promjena pokazivanja vage zbog utega osjetljivosti
$I$	kg	pokazivanje vage (podjeljak ljestvice)
$I_a$	–	faktor geometrijskog ispravka [6]
$I_b$	–	faktor geometrijskog ispravka [6]
$I_{d1}$	–	pokazivanje vage za istisnutu razliku kapljevine
$I_1$	–	pokazivanje vage za posudu koja sadržava kapljevinu i uteg
$I_{+t}$	–	pokazivanje vage za posudu koja sadržava kapljevinu i uteg
$I_{ta}$	–	pokazivanje vage za ispitni uteg u zraku (nakon tariranja)
$I_{t1}$	–	pokazivanje vage za ispitni uteg u kapljevine (nakon tariranja)
$j$	–	indeks za broj ispitnih utega ili broj u nizu mjerenja
$k$	–	faktor pokrivanja, u tipičnom slučaju 2 ili 3 (Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti, GUM) (1995) [7]
$m$	kg	masa krutoga tijela (utega)
$M$	$\text{A m}^{-1}$	trajna magnetizacija (vidi također $\mu_0 M$ )
$M_v$	$\text{kg mol}^{-1}$	molarna masa vode (jednadžba E.1)
$M_a$	$\text{kg mol}^{-1}$	molarna masa suhog zraka
$m_c$	kg	dogovorena masa utega
$m_{cr}$	kg	dogovorena masa referentnog utega
$m_{ct}$	kg	dogovorena masa ispitnog utega
$\Delta m_c$	–	prosječna razlika vaganja opažena između ispitnog utega i referentnog utega gustoće $\rho_{ref}$
$m_d$	$\text{Am}^2$	magnetski moment (magneta koji se upotrebljava u susceptometru)
$m_0$	kg	masa, nazivna vrijednost utega (npr. 1 kg)
$m_r$	kg	masa referentnog utega za usporedbe s ispitnim utegom, oba u zraku ili oba uronjena u kapljevinu
$m_{ra}$	kg	masa referentnog utega za usporedbe s ispitnim utegom u zraku
$m_{r1}$	kg	masa kombinacije referentnog utega za usporedbe s ispitnim utegom, etalonski u zraku, a ispitni u kapljevine
$m_s$	kg	masa utega osjetljivosti
$m_t$	kg	masa ispitnog utega
$m_{wa}$	kg	masa utega u zraku
$m_{w1}$	kg	masa utega u kapljevine
$\Delta m$	kg	razlika mase, obično između ispitnog i referentnog utega
$\overline{\Delta m}$	kg	prosječna vrijednost niza mjerenja, koji se sastoji od istovjetnih ciklusa vaganja, ili broj niza, koji inaju približno isto standardno odstupanje
$\Delta m_c$	kg	razlika dogovorene mase
$n$	–	indeks za broj nizova mjerenja
$p$	Pa ili hPa	tlak
$p_{sv}$	Pa	tlak zasićenja vlažnog zraka
$R$	$\text{J}/(\text{mol K})$	molarna plinska stalnica

**Znak Jedinica Definicija**

$R_a$	$\mu\text{m}$	najmanja visina profila hrapavosti (R-parematar) (vidi točku 11.)
$R_z$	$\mu\text{m}$	najmanja visina profila hrapavosti (R-parematar) (vidi točku 11.)
$r$	–	indeks za referentni uteg
$s$	kg	standardno odstupanje
$s$	–	indeks za osjetljivost utega
$T$	K	Termodinamička temperatura uporabom Međunarodne temperaturne ljestvice iz 1990. (ITS-90)
$t$	–	indeks za uteg
$t$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura u Celzijevim stupnjevima, gdje je $t = T - 273,15$ K
$t_{\text{ref}}$	$^{\circ}\text{C}$	referentna temperatura
$U$	kg	povećana nesigurnost
$u$	kg	nesigurnost, standardna nesigurnost
$u(m_r)$	kg	nesigurnost referentnog utega
$u_b$	kg	nesigurnost ispravka zbog uzgona zraka
$u_{ba}$	kg	nesigurnost zbog vage
$u_{ba}(\Delta m_c)$	kg	sastavljena standardna nesigurnost vage
$u_c$	kg	sastavljena standardna nesigurnost
$u_d$	kg	nesigurnost zbog razlučivanja predočnika digitalne vage
$u_E$	kg	nesigurnost zbog ekscentričnosti
$u_{\text{inst}}$	kg	nesigurnost zbog nestabilnosti referentnog utega
$u_{\text{ma}}$	kg	nesigurnost zbog magnetizma
$u_s$	kg	nesigurnost zbog osjetljivosti vage
$u_w$	kg	nesigurnost zbog procesa vaganja
$V$	$\text{m}^3$	obujam krutoga tijela (utega)
$V_{\text{rli}}$	$\text{m}^3$	obujam $i$ -tog referentnog utega garniture utega
$x_v$	–	molni udio vodene pare
$Z$	–	faktor stlačivosti
$Z_1$	mm	udaljenost između gornje strane utega i središta magneta (slika B.1)
$Z_0$	mm	udaljenost između središta utega i središta magneta (slika B.1)
$\rho_a$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoća vlažnoga zraka
$\rho_0$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoća zraka kao referentna vrijednost jednaka $1,2 \text{ kg m}^{-3}$
$\rho_r$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoća referentnog utega mase $m_r$
$\rho_{ra}$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoća referentnog utega mase $m_{ra}$
$\rho_{\text{ref}}$	$\text{kg m}^{-3}$	referentna gustoća (tj. gustoća $8000 \text{ kg m}^{-3}$ )
$\rho_{rl}$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoća referentnog utega mase $m_{rl}$
$\rho_s$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoću utega osjetljivosti
$\rho_t$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoća ispitnog utega
$\rho_r$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoća referentnog utega
$\rho_x$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoća slitine (x)
$\rho_y$	$\text{kg m}^{-3}$	gustoća slitine (y)
$\delta m/m_0$	–	najveća dopuštena relativna pogreška utega
$\mu$	$\text{N A}^{-1}$	magnetska permeabilnost
$\mu_r$	–	relativna magnetska permeabilnost ( $\mu/\mu_0$ )
$\mu_0$	$\text{N A}^{-1}$	magnetska stalnica (magnetska permeabilnost vakuuma)
$\mu_0 M$	T	magnetska polarizacija
$\chi$	–	(obujamska) magnetska susceptibilnost

## 4 JEDINICE I NAZIVNE VRIJEDNOSTI UTEGA

### 4.1 Jedinice

Upotrebljavaju se ove jedinice:

- Za masu: miligram (mg), gram (g) i kilogram (kg);
- Za gustoću: kilogram po kubičnome metru ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

### 4.2 Nazivne vrijednosti

Nazivne vrijednosti mase utega moraju biti jednake  $1 \times 10^n$  kg ili  $2 \times 10^n$  kg ili  $5 \times 10^n$  kg, gdje je  $n$  pozitivan ili negativan cio broj ili ništica.

### 4.3 Niz utega

**4.3.1** Garnitura utega može se sastojati od različitih nizova nazivnih vrijednosti. Ako se nizovi utega upotrebljavaju u garnituri utega, moraju se upotrebljavati sljedeći pojedinačni nizovi utega:

$$(1; 1; 2; 5) \times 10^n \text{ kg}$$

$$(1; 1; 1; 2; 5) \times 10^n \text{ kg}$$

$$(1; 2; 2; 5) \times 10^n \text{ kg}$$

$$(1; 1; 2; 2; 5) \times 10^n \text{ kg},$$

gdje je  $n$  cio pozitivan ili negativan broj ili ništica.

**4.3.2** Garnitura utega može obuhvaćati množine utega, od kojih svi imaju istu nazivnu vrijednost (npr. 10 komada ili članova garniture, od kojih svaki član ima nazivnu masu od  $5 \times 10^n$  kg)

## Mjeriteljski zahtjevi

## 5 NAJVEĆE DOPUŠTENE POGRJEŠKE PRI OVJERAVANJU

### 5.1 Najveće dopuštene pogreške pri prvome i naknadnome ovjeravanju ili pri pregledu u radu

**5.1.1** Najveće dopuštene pogreške pri prvome ovjeravanju pojedinačnih utega dane se u tablici 1., a odnose se na dogovorenu masu.

**5.1.2** Određivanje najvećih dopuštenih pogrešaka pri naknadnome ovjeravanju ili pri ovjeravanju u radu pravo je svake države. Ako su međutim dopuštene veće pogreške od najvećih dopuštenih pogrešaka danih u tablici 1., za uteg se ne može deklarirati da pripada odgovarajućemu OIML razredu.

### 5.2 Povećana nesigurnost

Za svaki uteg povećana nesigurnost  $U$  za faktor pokrivanja  $k = 2$  dogovorene mase mora biti manja od jedne trećine najveće dopuštene pogreške dane u tablici 1. ili jednaka njoj.

$$U \leq \delta m/3 \tag{5.2-1}$$

### 5.3 Dogovorena masa

**5.3.1** Dogovorena masa  $m_c$  (određena s povećanom nesigurnošću  $U$  u skladu s točkom 5.2) ne smije se ni za jedan uteg razlikovati od nazivne vrijednosti utega ( $m_0$ ) za vrijednost veću od razlike između najveće dopuštene pogreške  $\delta m$  i povećane nesigurnosti:

$$m_0 - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_0 + (\delta m - U) \quad (5.3-1)$$

**5.3.2** Za utege razreda  $E_1$  i  $E_2$ , koje uvijek prate potvrde koje daju odgovarajuće podatke (utvrđene u točki 15.2.1), korisnik mora uzeti u obzir odstupanje od nazivne vrijednosti ( $m_c - m_0$ ).

**Tablica 1.** Najveće dopuštene pogreške za utege ( $\pm \delta m$  u mg)

Nazivna vrijednost*	Razred $E_1$	Razred $E_2$	Razred $F_1$	Razred $F_2$	Razred $M_1$	Razred $M_{1-2}$	Razred $M_2$	Razred $M_{2-3}$	Razred $M_3$
5 000 kg			25 000	80 000	250 000	500 000	800 000	1 600 000	2 500 000
2 000 kg			10 000	30 000	100 000	200 000	300 000	600 000	1 000 000
1 000 kg		1600	5 000	16 000	50 000	100 000	160 000	300 000	500 000
500 kg		800	2 500	8 000	25 000	50 000	80 000	160 000	250 000
200 kg		300	1 000	3 000	10 000	20 000	30 000	60 000	100 000
100 kg		160	500	1 600	5 000	10 000	16 000	30 000	50 000
50 kg	25	80	250	800	2 500	5 000	8 000	16 000	25 000
20 kg	10	30	100	300	1 000		3 000		10 000
10 kg	5	16	50	160	500		1 600		5 000
5 kg	2,5	8,0	25	80	250		800		2 500
2 kg	1,0	3,0	10	30	100		300		1 000
1 kg	0,5	1,0	5,0	16	50		160		500
500 g	0,25	0,8	2,5	8,0	25		80		250
200 g	0,10	0,3	1,0	3,0	10		30		100
100 g	0,05	0,16	0,5	1,6	5,0		16		50
50 g	0,03	0,10	0,3	1,0	3,0		10		30
20 g	0,025	0,08	0,25	0,8	2,5		8,0		25
10 g	0,020	0,06	0,20	0,6	2,0		6,0		20
5 g	0,016	0,05	0,16	0,5	1,6		5,0		15
2 g	0,012	0,04	0,12	0,4	1,2		4,0		12
1 g	0,010	0,03	0,10	0,3	1,0		3,0		10
500 mg	0,008	0,025	0,08	0,25	0,8		2,5		
200 mg	0,006	0,020	0,06	0,20	0,6		2,0		
100 mg	0,005	0,016	0,05	0,16	0,5		1,6		
50 mg	0,004	0,012	0,04	0,12	0,4				
20 mg	0,003	0,010	0,03	0,10	0,3				
10 mg	0,003	0,008	0,025	0,08	0,25				
5 mg	0,003	0,006	0,020	0,06	0,20				
2 mg	0,003	0,006	0,020	0,06	0,20				
1 mg	0,003	0,006	0,020	0,06	0,20				

\* Nazivnim vrijednostima utega u tablici 1. specificiraju se najmanja i najveća masa utega dopuštene za neki razred iz preporuke R 111, a najveće dopuštene pogreške i kategorije ne smiju se ekstrapolirati na više ili niže vrijednosti. Naprimjer, najmanja nazivna vrijednost za neki uteg razreda  $M_2$  jednaka je 100 mg, dok je najveća vrijednost jednaka 5 000 kg. Utteg od 50 mg ne bi bio prihvaćen kao utteg razreda  $M_2$  iz preporuke R 111 te bi umjesto za taj razred utega trebao zadovoljavati zahtjeve za najveće dopuštene pogreške i druge zahtjeve (npr. oblik ili oznake) za razred  $M_1$ . Inače se utteg ne može opisati da je u skladu s preporukom R 111.

## Tehnički zahtjevi

### 6 OBLIK

#### 6.1 Općenito

**6.1.1** Utezi moraju imati jednostavan geometrijski oblik da bi se olakšala njihova proizvodnja; ne smiju imati oštre bridove kako bi se spriječilo njihovo habanje te ne smiju imati izražene udubine kako bi se izbjeglo taloženje (npr. prašine) na njihovoj površini.

**6.1.2** Utezi iz dane garniture utega moraju imati isti oblik, osim utega od 1 g ili manjih.

#### 6.2 Utezi od 1 g ili manji

**6.2.1** Utezi manji od 1 g moraju biti ravne mnogokutne pločice ili žice, čiji je oblik u skladu s tablicom 2., koje omogućuju lako rukovanje.

**6.2.2** Utezi od 1 g mogu biti ravne mnogokutne pločice ili žice (vidi 6.3.1). Za utege koji nemaju označenu nazivnu vrijednost njihov oblik mora biti u skladu s vrijednostima danim tablicom 2.

**Tablica 2.** Oblici utega od 1 g ili manjih

Nazivna vrijednost	Mnogokutne pločice	Žice		
			ili	
5, 50, 500 mg	peterokut	peterokut	}	5 odsječaka
2, 20, 200 mg	četvorina	četvorina		2 odsječka
1, 10, 100, 1000 mg	trokut	trokut		1 odsječak

**6.2.3** Garnitura utega može se sastojati od više skupina oblika, koji se razlikuju od jedne do druge skupine. U nizu skupina, između dviju skupina utega koji imaju isti oblik ne smije se međutim umetati skupina utega različita oblika.

#### 6.3 Utezi od 1 g do 50 kg

**6.3.1** Uteg od 1 g može imati oblik utega višekratnika od 1 g ili oblik utega nižekratnika od 1 g.

**6.3.2** Utezi nazivnih vrijednosti od 1 g do 50 kg mogu imati vanjske dimenzije prikazane na slikama i tablicama u dodatku A.

**6.3.2.1** Ti utezi mogu također imati valjkasto ili blago stožasto tijelo. Visina tijela mora biti približno jednaka srednjoj vrijednosti promjera; visina mora biti između 3/4 i 5/4 toga promjera.

**6.3.2.2** Ti utezi mogu također biti opremljeni glavom za dizanje čija je visina između srednje vrijednosti promjera i polumjera tijela.

**6.3.3** Osim gore navedenih oblika (6.3.2) utezi od 5 kg do 50 kg mogu imati različit oblik koji odgovara načinu rukovanja njima. Umjesto glave za dizanje oni mogu imati krute uređaje za rukovanje ugrađene u utege kao što su naprimjer osovine, ručice ili slično.

**6.3.4** Utezi razreda M nazivne vrijednosti od 5 kg do 50 kg mogu također imati oblik kvadra sa zaobljenim bridovima i čvrstu ručicu. Tipični primjeri dimenzija tih utega prikazani su na slikama A.2 i A.3.

## **6.4 Utezi od 50 kg ili veći**

**6.4.1** Utezi od 50 kg ili veći mogu imati valjkasti, pravokutni ili drugi prikladan oblik. Za oblik se mora predvidjeti sigurno skladištenje i rukovanje.

**6.4.2** Utezi od 50 kg ili veći mogu imati krute uređaje za rukovanje kao što su osovine, ručice, kuke, izrezi itd.

**6.4.3** Ako je predviđeno da se utezi razreda M vuku po podu ili (na tračnicama), moraju biti opskrbljeni valjcima ili žljebovima ograničene površine.

## **7 GRADA**

### **7.1 Utezi razreda E**

#### **7.1.1 Utezi razreda E od 1 mg do 50 kg**

Utezi razreda E od 1 mg do 50 kg moraju biti čvrsti bez otvorenih šupljina. Moraju biti izrađeni iz jednoga komada gradiva.

#### **7.1.2 Utezi razreda E<sub>2</sub> veći od 50 kg**

**7.1.2.1** Utezi razreda E<sub>2</sub> veći od 50 kg mogu imati šupljinu za ugađanje. Obujam te šupljine ne smije prelaziti 1/1000 ukupnog obujma utega. Šupljina mora imati mogućnost brtvljenja te mora biti vodotijesna i zrakotijesna (npr. s pomoću spojeva). Šupljinu za ugađanje moraju zatvarati čep s navojem s izrezom za izvijač ili uređaj za rukovanje kao što je gumb, ručica ili izrez itd. Gradivo čepa mora biti isto kao i tijela utega te mora zadovoljavati zahtjeve koji se odnose na površinu utega razreda E<sub>2</sub>.

**7.1.2.2** Nakon početnog ugađanja približno 1/2 ukupnog obujma šupljine za ugađanje mora ostati prazna.

### **7.2 Utezi razreda F**

Utezi razreda F mogu se sastojati od jednog ili više komada izrađenih od istoga gradiva.

#### **7.2.1 Utezi razreda F od 1 mg do 50 kg**

**7.2.1.1** Utezi razreda F od 1 g do 50 kg mogu imati šupljinu za ugađanje. Obujam te šupljine ne smije prelaziti 1/4 ukupnog obujma utega. Šupljina mora biti zatvorena glavom za dizanje ili nekim drugim prikladnim uređajem.

**7.2.1.2** Nakon početnog ugađanja približno 1/2 ukupnog obujma šupljine za ugađanje mora biti prazna.

#### **7.2.2 Utezi razreda F veći od 50 kg**

Utezi razreda F veći od 50 kg mogu se također sastojati od kutije sastavljene od nekoliko komada, zatvorenih i zrakotijesno i vodotijesno zavarenih. Sadržaj kutije može se sastojati od gradiva različita od gradiva kutije i mora zadovoljavati zahtjeve za magnetska svojstva razreda F<sub>1</sub> i F<sub>2</sub>. Stijenke kutije moraju biti dostatno čvrste da ne dolazi do izobličenja zbog promjena u okolnome tlaku zraka, rukovanju, skladištenju itd. Omjer između mase i obujma mora biti u skladu sa zahtjevima gustoće iz tablice 5.

**7.2.2.1** Utezi razreda F veći od 50 kg mogu imati šupljinu za ugađanje. Obujam te šupljine ne smije prelaziti 1/20 ukupnog obujma utega. Šupljinu za ugađanje mora biti moguće plombirati te mora biti vodotijesna i zrakotijesna (npr. s pomoću spojeva). Čep s navojem i izrezom za izvijač ili uređaj za rukovanje kao što je npr. glava, ručica, očica itd. moraju zatvoriti šupljinu.

**7.2.2.2** Nakon početnog ugađanja približno 1/2 ukupnog obujma šupljine za ugađanje mora ostati prazna.



### 7.3 Utezi razreda $M_1$

#### 7.3.1 Utezi razreda $M_1$ , $M_2$ i $M_3$ od 1 g do 50 kg

**7.3.1.1** Utezi razreda  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$  od 1 g do 10 g moraju biti puni i bez šupljina za ugađanje. Utezi razreda  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$  od 100 g do 50 kg moraju imati šupljine za ugađanje. Međutim šupljina je za ugađanje izborna za utege razreda  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$  od 20 g do 200 g izrađene od nehrđajućeg čelika. Šupljina za ugađanje mora biti oblikovana tako da se spriječi taloženje stranih tvari i ostataka kako bi se omogućilo sigurno zatvaranje šupljine i da se šupljina otvori za dodatna ugađanja. Obujam šupljine za ugađanje ne smije biti veći od 1/4 ukupnog obujma utega.

**7.3.1.2** Nakon početnog ugađanja približno 1/2 ukupnog obujma šupljine za ugađanje mora ostati prazna.

**7.3.2** Utezi razreda  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$  od 100 g do 50 kg valjkastoga tipa (vidi sliku A.1) moraju imati šupljinu za ugađanje suosnu s okomitom osi utega, otvorom prema gornjoj strani gumba i koja uključuje proširenje promjera na ulazu. Ta šupljina mora biti zatvorena navojnim čepom (s urezom za izvijač) ili diskom (s provrtom za rukovanje u sredini) (vidi sliku A.1, varijanta 1) ili diskom sa središnjim provrtom za rukovanje (vidi sliku A.1, inačica 3.). Čep ili disk moraju biti izrađeni od mjedi ili druge prikladne kovine te moraju biti zabrtvljeni olovom ili sličnim gradivom utisnutim u unutrašnji kružni žlijeb koji se nalazi u proširenome dijelu promjera.

**7.3.3** Utezi razreda točnosti  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$  od 5 kg do 50 kg u obliku kvadra moraju imati šupljinu za ugađanje koju čini unutrašnjost ručice u obliku cijevi ili, ako je ručica puna, šupljinu za ugađanje koja je oblikovana na jednoj od pobočki utega koja je otvorena na gornjoj površini te pobočke (vidi slike A.2 i A.3).

**7.3.3.1** Ako se šupljina za ugađanje nalazi u ručici u obliku cijevi (vidi sliku A.2), mora biti zatvorena navojnim čepom (s urezom za izvijač) ili diskom (s provrtom za rukovanje u sredini). Čep ili disk moraju biti izrađeni od mjedi ili druge prikladne kovine te moraju biti zatvoreni olovom (ili sličnim gradivom) utisnutim u unutrašnji kružni žlijeb ili u navoje cijevi.

**7.3.3.2** Ako se šupljina za ugađanje nalazi na bočnoj strani, mora biti zatvorena pločicom izrađenom od mekoga čelika ili drugoga prikladnoga gradiva zatvorena olovom (ili sličnim gradivom) utisnutim u kućište stožastoga presjeka.

#### 7.3.4 Utezi razreda $M$ od 50 kg ili veći

Ti utezi ne smiju imati nikakve šupljine koje mogu izazvati brzo taloženje prašine ili krhotina.

**7.3.4.1** Ti utezi moraju imati jednu ili više šupljina za ugađanje. Ukupni obujam šupljina za ugađanje ne smije biti veći od 1/10 ukupnoga obujma utega. Te šupljine mora biti moguće plombirati te moraju biti vodotijesne i zrakotijesne (npr. s pomoću spojeva). Šupljine mora biti moguće plombirati uporabom čepa s navojem s urezom s izvijačem ili s uređajem za rukovanje (npr. glavom ili ručicom).

**7.3.4.2** Nakon prvog ugađanja barem 1/3 ukupnog obujma šupljine za ugađanje mora ostati prazna.

## 8 GRADIVO

### 8.1 Općenito

Utezi moraju biti otporni na hrđanje. Kakvoća gradiva mora biti takva da promjena mase utega bude zanemariva u odnosu na najveće pogreške dopuštene za njihov razred točnosti u normalnim uvjetima uporabe i za svrhu za koju se upotrebljavaju.

### 8.2 Utezi razreda $E_1$ i $E_2$

**8.2.1** Tvrdća gradiva i njegova otpornost na habanje moraju biti najmanje jednake tvrdoći i otpornosti austenitičnoga nehrđajućeg čelika.

### 8.3 Utezi razreda F

Površina utega razreda F od 1 g ili većih može se obrađivati prikladnim kovinskim premazom kako bi se poboljšala njezina otpornost na koroziju i tvrdoća.

**8.3.1** Tvrdoća i lomljivost gradiva koja se upotrebljavaju za utege razreda F od 1 g ili veće mora biti barem jednaka tvrdoći i lomljivosti vučene mjedi.

**8.3.2** Tvrdoća i lomljivost gradiva koja se upotrebljavaju za utege razreda F od 50 kg ili veće za cijelo tijelo ili za vanjske površine mora biti barem jednaka tvrdoći i lomljivosti nehrđajućeg čelika.

### 8.4 Utezi razreda M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> i M<sub>3</sub> od 50 kg ili manji

Površina utega od 1 g ili većih može se obrađivati prikladnim kovinskim premazom kako bi se poboljšala njezina otpornost na koroziju i tvrdoća.

**8.4.1** Utezi razreda M manji od 1 g moraju biti izrađeni od gradiva koje je dostatno otporno na hrđanje i oksidaciju.

**8.4.2** Valjkasti utezi razreda M<sub>1</sub> manji od 5 kg i utezi razreda M<sub>2</sub> i M<sub>3</sub> manji od 100 g moraju biti izrađeni od mjedi ili gradiva čija je tvrdoća i otpornost na hrđanje slična onoj mjedi ili bolja od nje. Drugi valjkasti utezi razreda M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> i M<sub>3</sub> od 5 kg do 50 kg moraju biti izrađeni od sivoga kovanog željeza ili drugoga gradiva čija je lomljivost i otpornost na koroziju slična onoj sivoga kovanog željeza ili bolja od nje.

**8.4.3** Utezi u obliku kvadra od 5 kg do 50 kg moraju biti izrađeni od gradiva koje ima otpornost na koroziju koja je barem jednaka onoj sivoga kovanog željeza ili bolja od nje. Njegova lomljivost ne smije prelaziti onu sivoga kovanog željeza.

**8.4.4** Ručice pravokutnih utega razreda M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> moraju biti izrađene od bešavne čelične cijevi ili od lijevanog željeza, čineći cjelinu s tijelom utega.

### 8.5 Utezi razreda M veći od 50 kg

**8.5.1** Površina utega može se obrađivati prikladnim premazom kako bi se poboljšala njezina otpornost na koroziju. Taj premaz mora izdržati udare i vanjske vremenske uvjete.

**8.5.2** Utezi moraju biti izrađeni od sivoga kovanog željeza ili drugoga gradiva čija je lomljivost i otpornost na koroziju slična onoj sivoga kovanog željeza ili bolja od nje.

**8.5.3** Gradivo mora biti takve tvrdoće i čvrstoće da izdrži opterećenja teretima i udare koji se mogu pojaviti u normalnim uvjetima uporabe.

**8.5.4** Ručice pravokutnih utega moraju biti izrađene od bešavne čelične cijevi ili od lijevanog željeza, čineći cjelinu s tijelom utega.

## 9 MAGNETIZAM

### 9.1 Granice polarizacije

Magnetizacija ( $M$ ) izražena s pomoću polarizacije ( $\mu_0 M$ ) ne smije prelaziti vrijednosti dane u tablici 3.

**Tablica 3.** Maksimalna polarizacija,  $\mu_0 M$ , ( $\mu\text{T}$ )

Razred utega	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1-2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1-2</sub>	M <sub>3</sub>
Maksimalna polarizacija, $\mu_0 M$ , ( $\mu\text{T}$ )	2,5	8	25	80	250	500	800	1600	2500

## 9.2 Granice magnetske susceptibilnosti

Susceptibilnost utega ne smije prelaziti vrijednosti dane u tablici 4.

**Tablica 4:** Maksimalna susceptibilnost ( $\chi$ )

Razred utega	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
$m \leq 1$ g	0,25	0,9	10	–
$2$ g $\leq m \leq 10$ g	0,06	0,18	0,7	4
$20$ g $\leq m$	0,02	0,07	0,2	0,8

**9.3** Ako su vrijednosti svih lokalnih mjerenja magnetizacije i susceptibilnosti manje od tih granica, može se pretpostaviti da su sastavnice nesigurnosti zbog magnetizma utega zanemarive. Maksimalna trajna magnetizacija i magnetske susceptibilnosti dane u tablicama 3. i 4. takve su da u magnetskim poljima i gradijentima magnetskih polja koji mogu postojati na plitici vage proizvede promjenu dogovorene mase od 1/10 najveće dopuštene pogreške ispitnog utega ili veću [8][9].

## 10 GUSTOĆA

### 10.1 Općenito

Gustoća gradiva koje se upotrebljava za utege specificiran je u tablici 5. i mora biti takva da odstupanje od 10 % od utvrđene gustoće zraka ( $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) ne izaziva pogrešku koja prelazi četvrtinu najveće dopuštene pogreške. Te se granice daju u ovoj tablici 1.

**Tablica 5.** Najmanje i najveće granice gustoće ( $\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\max}$ )

Nazivna vrijednost	$\rho_{\min}, \rho_{\max} (10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3})$							
	Razred utega (za razred M <sub>3</sub> , nisu specificirane nikakve vrijednosti)							
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1-2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2-3</sub>
$\geq 100$ g	7,934–8,067	7,81–8,21	7,39–8,73	6,4–10,7	$\geq 4,4$	$> 3,0$	$\geq 2,3$	$\geq 1,5$
50 g	7,92–8,08	7,74–8,28	7,27–8,89	6,0–12,0	$\geq 4,0$			
20 g	7,84–8,17	7,50–8,57	6,6–10,1	4,8–24,0	$\geq 2,6$			
10 g	7,74–8,28	7,27–8,89	6,0–12,0	$\geq 4,0$	$\geq 2,0$			
5 g	7,62–8,42	6,9–9,6	5,3–16,0	$\geq 3,0$				
2 g	7,27–8,89	6,0–12,0	$\geq 4,0$	$\geq 2,0$				
1 g	6,9–9,6	5,3–16,0	$\geq 3,0$					
500 mg	6,3–10,9	$\geq 4,4$	$\geq 2,2$					
200 mg	5,3–16,0	$\geq 3,0$						
100 mg	$\geq 4,4$							
50 mg	$\geq 3,4$							
20 mg	$\geq 2,3$							

Napomena 1: Pravilo koje se odnosi na gustoću utega. Neka je  $\delta m/m_0$  vrijednost najveće dopuštene relativne pogreške utega. Gustoća ( $\rho$ ) utega mora zadovoljavati sljedeća uvjete:

$$8\,000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1 + 10^5 \left( \frac{\delta m / m_0}{6} \right)} \leq \rho \leq 8\,000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1 - 10^5 \left( \frac{\delta m / m_0}{6} \right)} \quad \text{ako je } \delta m/m_0 < 6 \times 10^{-5} \quad (10.1-1)$$

$$8\,000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1 + 10^5 \left( \frac{\delta m / m_0}{6} \right)} \leq \rho \quad \text{ako je } \delta m/m_0 \geq 6 \times 10^{-5} \quad (10.1-2)$$

Napomena 2.: Neovisno o zahtjevima koji se odnose na gustoću utega poželjno je dobiti, posebno za referentne utege ili one koji imaju visoku nazivnu vrijednost, gustoće od  $8000 \text{ kg m}^{-3}$ . Naprimjer, tijelo od lijevanog željeza može se upotrebljavati, što uključuje posebnu šupljinu u kojoj olovna jezgra može biti lijevana s masom od približno 30 % od ukupne mase etalona.

## 10.2 Ispravak zbog odstupanja gustoće zraka

**10.2.1** Ako gustoća zraka ( $\rho_a$ ) odstupa od referentne gustoće  $\rho_0 = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$  za više od  $\pm 10 \%$ , a gustoća ispitnog utega ( $\rho_i$ ) odstupa od referentne gustoće ( $\rho_r$ ), dogovorena masa može se ispraviti za član  $C$  na sljedeći način:

$$m_{ct} = m_{cr} (1 + C) + \overline{\Delta m_c} \quad (10.2-1)$$

$$s \quad C = (\rho_r - \rho_i) \left[ \frac{1}{\rho_i} - \frac{1}{\rho_r} \right] \quad (10.2-2)$$

gdje je:  $\overline{\Delta m_c}$  prosječna razlika u vaganju koja se opaža između ispitnog i referentnog utega

$\rho_r$  gustoća referentnog utega i

$m_{ct}$  i  $m_{cr}$  redom su dogovorene mase ispitnih i referentnih utega.

## 10.2.2 Utezi koji se upotrebljavaju za umjeravanje/ovjeravanje vaga

Kad se upotrebljava dogovorena masa utega, na mjernu pogrešku mogu utjecati nadmorska visina i odgovarajuće promjene u gustoći zraka; prema tomu mora se upotrijebiti ispravak zbog uzgona iz podtočke 10.2.1, što zahtijeva poznavanje gustoća utega. Ako se utezi razreda E upotrebljavaju iznad 330 m, zajedno s njihovom mjernom nesigurnošću mora se dati i gustoća utega. Za uteg razreda  $F_1$  to vrijedi iznad 800 m. Inače proizvođač mora uzeti smanjeno djelovanje uzgona na višoj nadmorskoj visini kad specificira razred utega za etalone dogovorene mase.

## 11 STANJA POVRŠINE

### 11.1 Općenito

U normalnim uvjetima uporabe kakvoće površina moraju biti takve da svaka promjena mase utega bude zanemariva u odnosu na najveću dopuštenu pogrešku.

**11.1.1** Površina utega (uključujući osnovicu i vrhove) mora biti glatka, a bridovi zaobljeni.

**11.1.2** Površina utega razreda E i F ne smije imati pukotina te kad se vizualno provjerava mora imati gladak izgled. Vizualno promatranje može biti dostatno osim u slučaju sumnje ili spora. U tome se slučaju moraju upotrebljavati vrijednosti dane u tablici 6. Najveća hrapavost površine dopuštena za utege veće do 50 kg mora biti dvostruko veća od vrijednosti specificirane u tablici 6.

**11.1.3** Površina valjkastih utega razreda  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$  od 1 g do 50 kg mora biti glatka i kad se vizualno provjerava, ne smiju se opažati pore. Završna obradba pravokutnih utega razreda  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$  od 5 kg, 10 kg, 50 kg mora biti slična završnoj obradbi sivoga lijevanog željeza pažljivo lijevanog u finome pijesku za lijevanje. To se može postići prikladnim premazivanjem.

**Tablica 4.** Najveće vrijednosti hrapavosti površine

Razred:	$E_1$	$E_2$	$F_1$	$F_2$
$R_z$ ( $\mu\text{m}$ ):	0,5	1	2	5
$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ):	0,1	0,2	0,4	1

## 12 UGAĐANJE

Utezi dane nazivne vrijednosti moraju se ugađati tako da dogovorena masa rezultata vaganja toga utega u zraku bude jednaka danj nazivnoj vrijednosti u granicama najvećih dopuštenih pogrešaka utvrđenih za razred točnosti kojemu uteg pripada. Moraju se primjenjivati zahtjevi nesigurnosti dani u podotčki 5.3.1.

### 12.1 Utezi razreda E

Utezi se moraju ugađati struganjem, brušenjem ili drugom odgovarajućom metodom. Na kraju toga procesa moraju biti zadovoljeni zahtjevi koji se odnose na površinu. Utezi veći od 50 kg sa šupljinom za ugađanje mogu se ugađati istim gradivom od kojeg je izrađen uteg.

### 12.2 Utezi razreda F

Čvrsti utezi moraju se ugađati struganjem, brušenjem ili nekom odgovarajućom metodom koja ne mijenja površinu. Utezi sa šupljinama za ugađanje moraju se ugađati istim gradivom od kojeg su izrađeni ili kositrom, molibdenom ili volframom.

### 12.3 Utezi razreda M

**12.3.1** Utezi od 1 mg do 1 g moraju se ugađati rezanjem, struganjem ili brušenjem.

**12.3.2** Valjkasti utezi bez šupljina moraju se ugađati struganjem.

**12.3.3** Utezi koji imaju šupljine za ugađanje moraju se ugađati dodavanjem gustoga kovinskoga gradiva kao što je olovna sačma. Ako se ne može ukloniti više gradiva, ugađaju se brušenjem.

### 12.4 Referentni uvjeti

Referentni uvjeti primjenjivi na ugađanje etalonskih utega su sljedeći:

- normirana referentna gustoća:  $8000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- gustoća zraka u okolišu:  $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- ravnoteža u zraku na  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  bez ispravka zbog uzgona zraka.

## 13 OZNAKE

### 13.1 Općenito

Osim utega razreda E i utega od 1 g koji su opisani u podtočki 6.2.2, utezi od 1 g i njihovi višekratnici moraju nositi jasnu oznaku njihove nazivne vrijednosti pod uvjetom da te oznake ili proces koji se upotrebljava za označivanje utega ne utječu na kakvoću i stabilnost površine utega.

**13.1.1** Brojevi koji pokazuju nazivne vrijednosti mase utega moraju prikazivati:

- kilograme za mase od 1 kg naviše
- grame za mase od 1 g do 500 g.

**13.1.2** Utezi dvojnici ili trojnici u garnituri moraju se jasno razlikovati jednom ili dvjema zvjezdicama ili točkama u središtu površine, osim za žičane utege koji se moraju razlikovati za jednu ili dvije kuke.

### 13.2 Utezi razreda E

Razred se mora označiti na poklopcu kovčežića (vidi podtočku 14.1). Utezi razreda E ne smiju nositi nikakve oznake osim oznaka za razlikovanje jednog od drugog utega razreda E i pod uvjetom da te oznake ili proces koji se upotrebljava za označivanje utega ne utječu na kakvoću i stabilnost površine utega. Najveći broj korisničkih oznaka dan je u tablici 7.

Utezi razreda točnosti  $E_2$  mogu nositi točku izvan središta na gornjoj plohi da bi se razlikovali od utega razreda  $E_1$ .

### 13.3 Utezi razreda F

Utezi od 1 g ili veći moraju nositi, laštenjem ili graviranjem, oznake njihove nazivne vrijednosti izražene u skladu s podtočkom 13.1 (iza njih ne stoji naziv ili znak jedinice).

**13.3.1** Utezi razreda  $F_1$  ne smiju nositi nikakvu oznaku razreda.

**13.3.2** Utezi razreda  $F_2$  od 1 g ili veći moraju nositi svoje oznake razreda u obliku "F" zajedno s oznakom njihove nazivne vrijednosti.

### 13.4 Utezi razreda $M_1$ , $M_2$ i $M_3$

**13.4.1** Pravokutni utezi od 5 kg do 50 kg moraju pokazivati nazivnu vrijednost utega iza koje stoji znak "kg" u šupljini ili ispupčenju na gornjoj površini tijela utega, kako je prikazano na slikama A.2 i A.3.

**13.4.2** Valjkasti utezi od 1 g do 10 kg moraju pokazivati nazivnu vrijednost utega iza koje stoji znak "g" ili "kg" u šupljini ili na ispupčenju na gornjoj površini glave utega, kako je prikazano na slici A.1. Na valjkastim utezima od 500 g do 5000 kg oznaka se može izvesti na valjkastoj površini tijela utega.

**13.4.3** Utezi razreda  $M_1$  moraju nositi znak  $M_1$  ili M u šupljini ili na ispupčenju zajedno s oznakom nazivne vrijednosti u položaju prikazanu na slikama A.2 i A.3. Utezi razreda  $M_1$  pravokutnog oblika mogu nositi oznaku proizvođača u šupljini ili na ispupčenju u središnjemu položaju utega, kako je prikazano na slikama A.2 i A.3.

**13.4.4** Utezi razreda točnosti  $M_2$  moraju nositi zajedno s oznakom nazivne vrijednosti znak  $M_2$  u šupljini ili na ispupčenju, kako je prikazano na slikama A.2 i A.3.

**13.4.5** Utezi razreda  $M_3$  moraju nositi znak  $M_3$  ili X u šupljini ili na ispupčenju zajedno s oznakom nazivne vrijednosti u položaju prikazanu na slikama A.2 i A.3.

**13.4.6** Utezi razreda  $M_2$  i  $M_3$  (osim žičanih utega) mogu nositi proizvođačku oznaku u šupljini ili na ispupčenju:

- na gornjoj površini središnjega položaja pravokutnih utega
- na gornjoj strani glave valjkastih utega i
- na gornjoj strani valjka valjkastih utega razreda  $M_3$  koji su opremljeni ručicom

kako je prikazano na slikama A.1, A.2 ili A.3.

**13.4.7** Utezi razreda  $M_3$  do 50 kg ili veći

Uteg mora nositi nazivnu vrijednosti u brojkama iza kojih se nalazi znak jedinice.

### 13.5 Utezi razreda $M_{1-2}$ i $M_{2-3}$

Utezi razreda  $M_{1-2}$  moraju nositi znak  $M_{1-2}$ , a utezi razreda  $M_{2-3}$  moraju nositi znak  $M_{2-3}$  u šupljini ili na ispupčenju zajedno s nazivnom vrijednošću iza koje se nalazi znak "kg". Utezi razreda  $M_{1-2}$  i  $M_{2-3}$  mogu nositi znak proizvođača u šupljini ili na ispupčenju na gornjoj površini i slične veličine kako je prikazano na slikama A.1, A.2 ili A.3 za drugi razred utega M.

### 13.6 Korisničke oznake

Dobra je praksa za korisnika da jasno označi pojedinačne utege kako bi mogao povezati uteg s njegovom potvrdom o umjeravanju ili dokumentom o ovjeravanju. Prihvatljive najveće vrijednosti za oznake korisnika dane su u tablici 7.

**Tablica 7.:** Najveći broj oznaka korisnika

Razred	Nazivna vrijednost	Visina slova	Najveći broj znakova, brojka ili slova
<b>E, F, <math>M_1</math> i <math>M_2</math></b>	< 1 g	1 mm	2
<b><math>E_1</math></b>	$\geq 1$ g	2 mm	3
<b><math>E_2</math></b>	$\geq 1$ g	3 mm	5
<b><math>F_1</math> to <math>M_2</math></b>	1 g to 100 g	3 mm	5
<b><math>F_1</math> to <math>M_2</math></b>	200 g to 10 kg	5 mm	5
<b><math>F_1</math> to <math>M_2</math></b>	$\geq 20$ kg	7 mm	5

Oznake korisnika moraju se sastojati od znakova, brojka ili slova tako da ne bude nikakve zabune oko oznake nazivne vrijednosti ili razreda.

## 14 PRIKAZIVANJE

### 14.1 Općenito

Osim utega razreda  $M_{1-2}$ ,  $M_2$ ,  $M_{2-3}$  i  $M_3$ , utezi se moraju prikazivati u skladu s ovim zahtjevima.

**14.1.1** Na poklopcu kovčežića u kojemu se nalaze utezi mora se označiti njihov razred u obliku  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  ili  $M_1$ .

**14.1.2** Utezi koji pripadaju istoj garnituri moraju imati isti razred točnosti.

## 14.2 Utezi razreda E i F

**14.2.1** Pojedinačni utezi i garniture utega moraju se zaštititi od habanja ili oštećenja zbog udara ili vibracija. Oni se moraju držati u kovčežićima izrađenim od drveta, plastike ili prikladnoga gradiva s posebnim udubinama.

**14.2.2** Sredstva za rukovanje utezima razreda E i F trebaju biti takva da ne grebu ili mijenjaju površinu utega.

## 14.3 Utezi razreda M<sub>1</sub>

**14.3.1** Valjkasti utezi razreda M<sub>1</sub> nazivne vrijednosti do i uključivo 500 g (pojedinačni ili u garniturama) moraju se držati u kućištu s posebnim udubinama.

**14.3.2** Utezi u obliku tankih pločica i žica moraju se držati u kovčežićima koja imaju pojedinačne udubine; njihov razred mora biti upisan na poklopcu kovčežića (M<sub>1</sub>).

## Mjeriteljski pregledi

### 15 PODNOŠENJE NA MJERITELJSKE PREGLEDE

U državi u kojoj utezi podliježu državnim mjeriteljskim pregledima ti pregledi mogu ovisno o nacionalnome zakonodavstvu obuhvaćati jedan ili više od sljedećih postupaka: tipno odobrenje, umjeravanje, ponovno umjeravanje, ovjeravanje, prvo i naknadno ovjeravanje. Tablica 8. daje upute za određivanje koja se ispitivanja trebaju provoditi tijekom koje faze razvoja.

**Tablica 8.** Upute za određivanje koja se ispitivanja moraju provoditi za tipno odobrenje i preporučena ispitivanja za prvo i naknadno ovjeravanje

Ispitivanje	Gustoća $\rho$			Hrapavost površine			Magnetska susceptibilnost $\chi$			Trajna magnetizacija $M$			Dogovorena masa $m_0$		
	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M
<b>TA</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>IV</b>	✓ <sup>+</sup>			V	V	V	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>SV</b>				V	V	V				*	*	*	✓	✓	✓

Legenda: TA Tipno odobrenje

IV Prvo ovjeravanje koje se provodi kad se uteg prvi put stavlja u uporabu

SV Naknadno ili periodično ovjeravanje

Ispitivanje nije primjenjivo

V Samo vizualni pregled

✓ Zahtijeva se ispitivanje

\* U slučaju sumnje trajna magnetizacija utega može se ispitati tijekom naknadnog ovjeravanja

+ Primjenjuje se na razrede E<sub>1</sub> i E<sub>2</sub>



## 15.1 Tipno odobrenje

**15.1.1** Svaki proizvođač ili ovlaštenu predstavnik može podnijeti model utega namijenjenih za proizvodnju služba zakonskog mjeriteljstva radi utvrđivanja jesu li oni sukladni sa zahtjevima iz propisa. Obvezatni ispitni postupci dani su u dodacima B i C ove preporuke. Za tipno odobrenje u preporuci R 111-2 dan je format izvještaja o obvezatnome ispitivanju. Tablica 8. daje obvezatna ispitivanja za odobrenje.

**15.1.2** Jednom kad je dobio tipno odobrenje odobreni model ne smije se preinačivati bez posebnog odobrenja (vidi OIML B3, *Sustav potvrđivanja za mjerila OIML-a*).

## 15.2 Umjeravanje ili ovjeravanje

Za umjeravanje i ovjeravanje utega ili garnitura utega mora biti odgovorno nacionalno tijelo ili korisnik, ovisno o nacionalnome zakonodavstvu i uporabi za koju su namijenjeni. Potvrde o umjeravanju i ovjeravanju mogu izdavati samo ovlaštenu ili akreditirani laboratoriji. Mora se održavati sljedivost prema nacionalnim etalonima.

### 15.2.1 Potvrde o umjeravanju i ovjeravanju

U potvrdi za utege razreda  $E_1$  mora se kao minimum navesti: dogovorena masa svakog utega ( $m_c$ ), oznaka je li uteg ugođen prije umjeravanja, njegova povećana nesigurnost ( $U$ ) i vrijednost faktora pokrivanja ( $k$ ).

**15.2.2** Utezi razreda E moraju biti praćeni potvrdom o umjeravanju

**15.2.2.1** U potvrdi za utege razreda  $E_1$  moraju se navesti barem vrijednosti dogovorene mase ( $m_c$ ), povećana nesigurnost ( $U$ ) i faktor pokrivanja  $k$  te gustoća ili obujam za svaki uteg. Osim toga u potvrdi se mora navesti jesu li gustoća ili obujam izmjereni ili procijenjeni.

**15.2.2.2** U potvrdi za utege razreda  $E_2$  moraju se navesti barem sljedeći podatci:

- a) vrijednost dogovorene mase ( $m_c$ ), povećana nesigurnost ( $U$ ) i faktor pokrivanja  $k$  ili
- b) podatci koji se zahtijevaju za potvrde o umjeravanju za utege razreda  $E_1$  (pod uvjetima podtočke 1.3.1.a)

## 15.3 Ponovno umjeravanje ili periodično ovjeravanje

**15.3.1** Tablica 8. daje ispitivanja koja se preporučuju za prva i naknadna ovjeravanja. Kategorije utega koji se moraju podnositi na umjeravanje ili prvo ovjeravanje trebaju se također podnositi na ponovna umjeravanja ili periodična ovjeravanja, dajući mogućnost da se provjeri čuvaju li oni svoja mjeriteljska svojstva. Svi utezi za koje se utvrdi da su neispravni u vrijeme periodičnog ovjeravanja moraju se odbaciti ili ponovo ugoditi.

**15.3.2** Za naknadna ovjeravanja utega kao minimum mora se vizualno pregledati konstrukcija i površinska stanja te provjeriti masa prema potvrdi i Potvrdi o sukladnosti OIML-a

## 16 OZNAČIVANJE PREGLEDA

### 16.1 Općenito

Oznake provjera ne zahtijevaju se na utezima kad se izdaje potvrda o umjeravanju.

### 16.2 Utezi razreda E

**16.2.1** Oznake pregleda mogu se pričvrstiti na kovčežić.

**16.2.2** Potvrdu o umjeravanju moraju dati mjeriteljske vlasti (npr. ovlaštene službe za umjeravanje ili laboratoriji) za svaki uteg ili garnituru utega.

### **16.3 Utezi razreda F**

#### **16.3.1 Utezi razreda F<sub>1</sub>**

Ako se utezi podvrgavaju mjeriteljskim pregledima, oznake tih pregleda moraju se pričvrstiti na kovčežić u kojemu se drže utezi.

#### **16.3.2 Utezi razreda F<sub>2</sub>**

Ako se valjkasti utezi F<sub>2</sub> podvrgavaju mjeriteljskim pregledima, na zatvaranje šupljine za ugađanje moraju se pričvrstiti prikladne oznake pregleda. Za utege bez šupljine za ugađanje oznake pregleda moraju se pričvrstiti na njihovu osnovicu ili na kovčežić u kojemu se nalaze utezi.

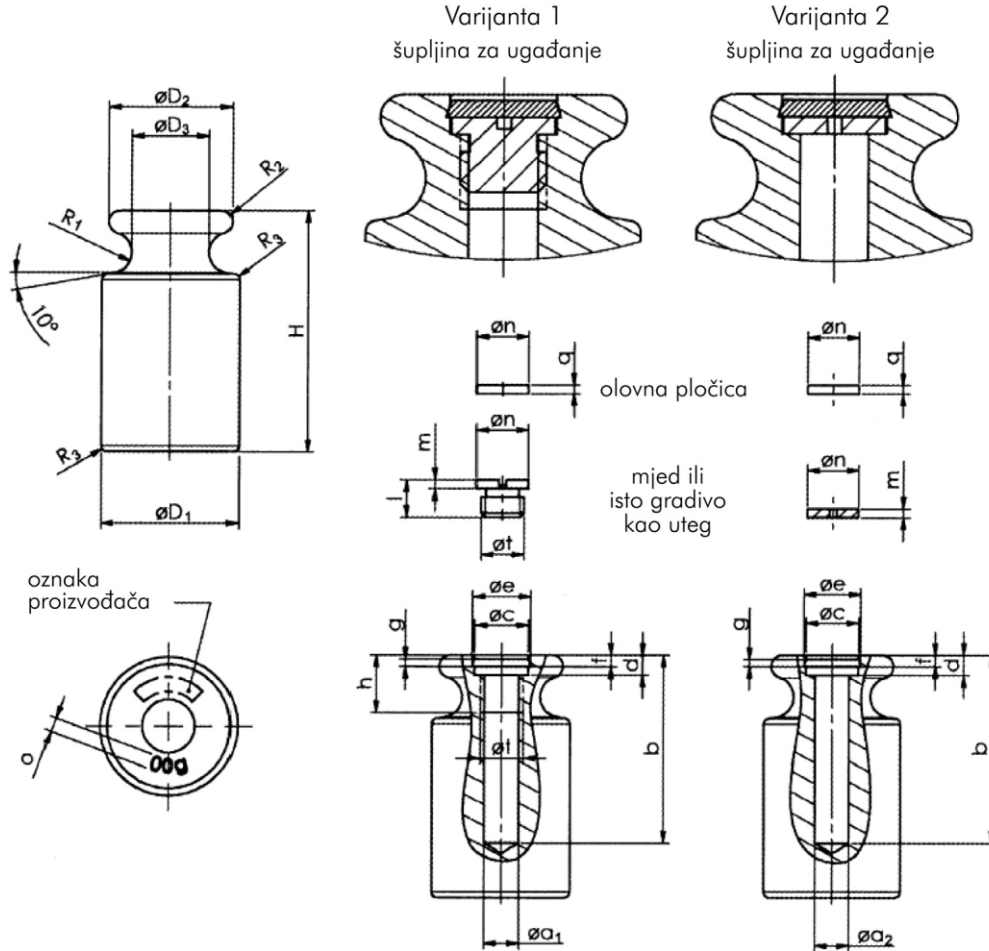
### **16.4 Utezi razreda M**

**16.4.1** Ako se utezi razreda M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> ili M<sub>3</sub> podvrgavaju mjeriteljskim pregledima, na zatvaranje šupljine za ugađanje moraju se pričvrstiti prikladne oznake pregleda. Za utege bez šupljine za ugađanje oznake pregleda moraju se pričvrstiti na njihovu osnovicu.

**16.4.2** Ako se uteg razreda M<sub>1</sub> u obliku tanke pločice ili žice podvrgava mjeriteljskim pregledima na kućište se moraju pričvrstiti zakonske oznake pregleda.

## Dodatak A Primjeri različitih oblika i dimenzije

Slika A.1 Primjeri valjkastih utega

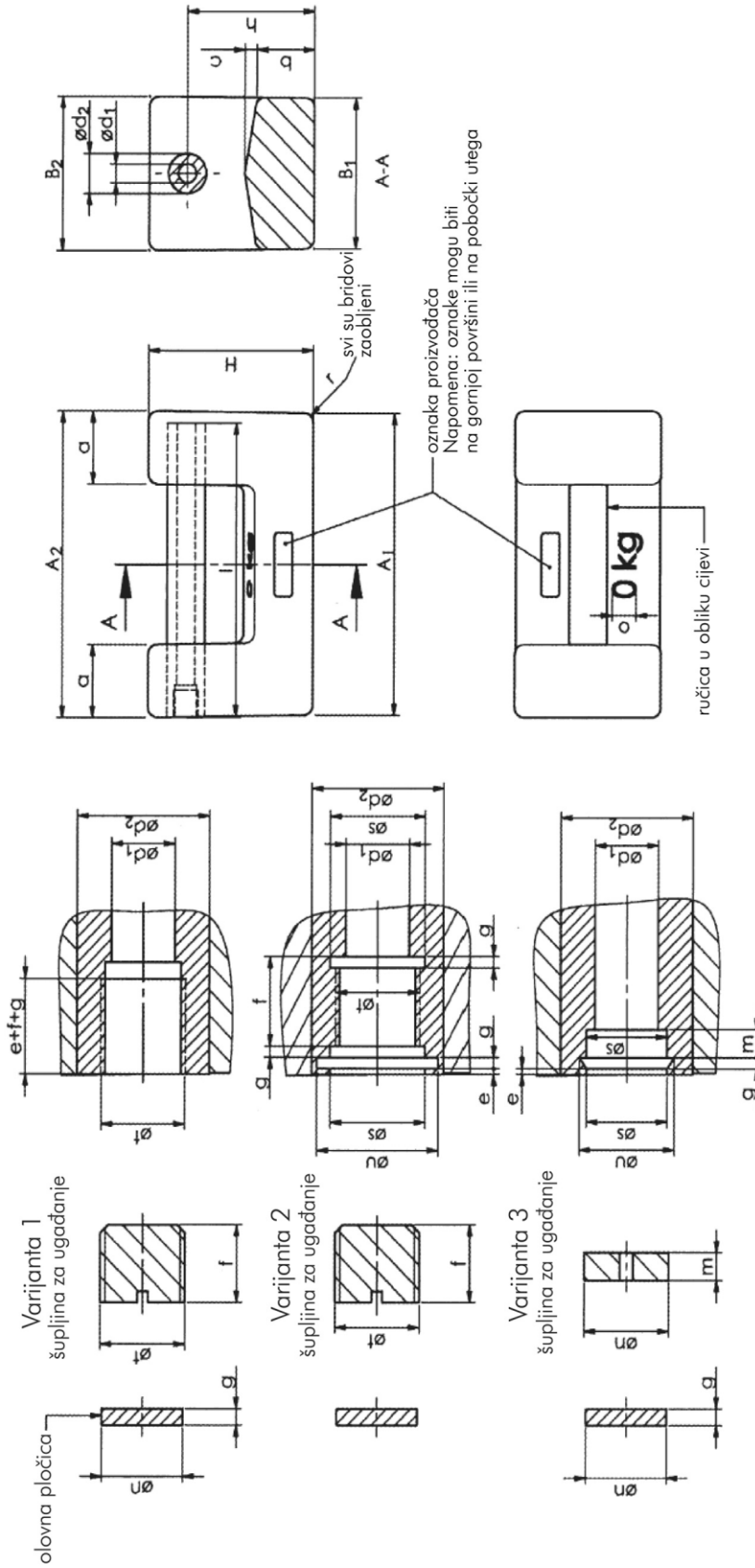


**Dodatak A: Primjeri različitih oblika i dimenzija**  
A. 1 Tablica dimenzija (u milimetrima)

Nazivna vrijednost	$D_1$	$D_2$	$D_3$	H	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$o$	$a_1$	$a_2$	$b$ <sup>①</sup>	c	d	e	f	g	h	i	m	n	q	t
1 g	6	5,5	3		0,9	0,5	0,5	1														
2 g	6	5,5	3		0,9	0,5	0,5	1														
5 g	8	7	4,5		1,25	0,7	0,5	1														
10 g	10	9	6		1,5	0,8	0,5	1														
20 g	13	11,5	7,5		1,8	1	0,5	1,5														
50 g	18	16	10		2,5	1,5	1	2														
20 g	13	11,5	7,5		1,8	1	0,5	1,5	3,5	3	18	5,5	2,5	6,5	1,5	1	9	5	1	5	1	M4 x 0,5
50 g	18	16	10		2,5	1,5	1	2	5,5	4,5	25	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M5 x 0,5
100 g	22	20	13		3,5	2	1	2	5,5	4,5	30	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M6 x 0,5
200 g	28	25	16		4	2,25	1,5	3,2	6,9	7	40	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1
500 g	38	34	22		5,5	3	1,5	3,2	6,9	7	50	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1
1 kg	48	43	27		7	4	2	5	12,4	12	65	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5
2 kg	60	54	36		9	5	2	5	12,4	12	80	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5
5 kg	80	72	46		12	6,5	2	10	18,4	18	120	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5
10 kg	100	90	58		15	8,5	3	10	18,4	18	160	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5
20 kg	128	112	74		18	11	3	10	18,4	18	160	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5

① Dubina šupljina za ugađanje daje se samo za naznaku

Slika A.2 Primjeri pravokutnih utega (Tip 1)

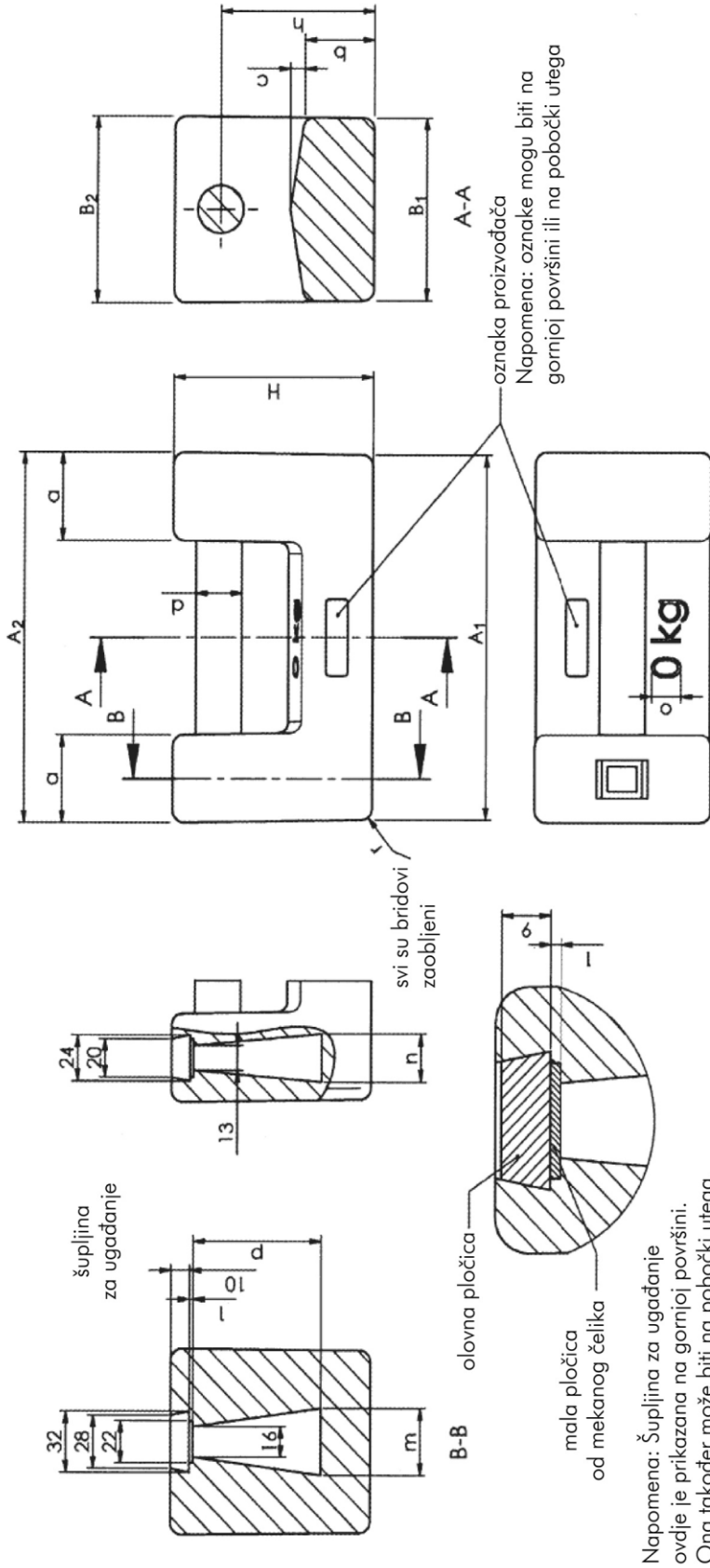


Tablica dimenzija (u milimetrima)

Nazivna vrijednost	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	H	a	b	c	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	e	f	g	h	l	m	n	o	r	s	t	u
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	12	19	1	14	2	66	145	5	16	12	5	16,5	M16x1,5	18
10 kg	190	193	95	97	108	46	38	8	12	25	1	14	2	84	185	5	16	16	6	16,5	M16x1,5	18
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	24	29	2	21	3	109	220	8	27	20	8	27,5	M27x1,5	30
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	24	40	2	21	3	152	300	8	27	25	10	27,5	M27x1,5	30

Dimenzije A i A' kao i B i B' mogu se zamijeniti.

Slika A.3 Primjeri pravokutnih utega (Tip 2)



Tablica dimenzija (u milimetrima)

Nazivna vrijednost	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	H	a	b	c	d	h	m	n	o	p	r
5 kg	150	162	75	77	84	36	30	6	19	66	16	13	12	55	5
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	25	84	35	25	16	70	6
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	29	109	50	30	20	95	8
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	40	152	70	40	25	148	10

Dimenzije A i A' kao i B i B' mogu se zamijeniti.

Unutrašnje dimenzije m, n i p šupljina za ugađanje daju se samo za naznaku.

## **Dodatak B**

### **Ispitni postupci za utege**

#### **(obvezatni)**

### **B.1 Uvod**

Ovaj dodatak prikazuje prihvaćene metode za određivanje odabranih svojstava utega. Te se metode primjenjuju za pojedinačne utege ili garniture.

**B.1.1** U ispitnome izvještaju mora se jasno naznačiti metoda kojom je provedeno svako ispitivanje. Metode sadržane u ovom dodatku mogu se u uputnicama naznačiti odgovarajućim brojem njihova odsječka. Ako se upotrebljavaju druge metode, tada se valjanost metode mora dokumentirano dokazati.

**B.1.2** Naziv "dogovorena masa" upotrebljava se u cijelome tekstu, osim u odsječku o gustoći gdje se upotrebljava naziv "stvarna masa" (vidi 2.6).

### **B.2 Redoslijed ispitivanja**

Prethodna vrednovanja i ispitivanja trebaju se provoditi sljedećim redom (ako je to primjenjivo):

- a) Pregled dokumentacije i vizualni pregled u skladu s listom za provjeru (vidi preporuku R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*)
- b) Čišćenje utega (B.4)
- c) Hrapavost površine (B.5)
- d) Magnetizam (B.7)
- e) Gustoća (B.7)  
*Napomena:* Čišćenje se mora ponoviti nakon mjerenja gustoće ako fluid koji se upotrebljava u sustavu gustoće nije bila voda (drugi fluidi koji se obično upotrebljavaju (npr. fluorougljik) ostavljaju ostatke koji se moraju ukloniti čišćenjem otapalom kao što je alkohol.
- f) Mjerenje dogovorene mase (dodatak C).

### **B.3 Prikaz dokumenata i vizualni pregled**

#### **B.3.1 Upravna provjera**

Pregledajte, u skladu s podtočkom 15.1, podnesenu dokumentaciju, uključujući potrebne fotografije, crteže, odgovarajuće tehničke specifikacije itd. kako bi se odredilo je li dokumentacija prikladna i ispravna.

#### **B.3.2 Usporedba izvedbe s dokumentacijom**

Usporedite fizikalni izgled utega i kovčežića utega kako bi se osigurala sukladnost s dokumentacijom (u skladu s točkama 6, 7, 8, 14 i 15.1 ove preporuke).

#### **B.3.3 Početno ispitivanje**

##### **B.3.3.1 Mjeriteljske značajke**

Zabilježite mjeriteljske značajke u skladu s preporukom R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*.

##### **B.3.3.2 Oznake** (u skladu s točkama 13. do 16. ove preporuke)

Provjerite oznake u skladu s preporukom R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*.

## B.4 Čišćenje utega

**B.4.1** Važno je da se prije svakog mjerenja utezi očiste jer proces čišćenja može promijeniti masu utega. Čišćenjem se ne smije ukloniti nikakav veći iznos gradiva utega. Pri rukovanju i skladištenju utezi trebaju ostati čisti. Prije umjeravanja moraju se ukloniti prašina i sve strane čestice. Mora se paziti da se ne promijene svojstva površine utega (tj. grebanjem utega).

Ako uteg sadržava veće količine nečistoće koja se ne može ukloniti gore navedenim metodama, uteg ili neki njegov dio mogu se oprati čistim alkoholom, destiliranom vodom ili drugim otapalima. Utezi s unutrašnjim šupljinama ne smiju se normalno uranjati u otapalo kako bi se izbjegla mogućnost da u otvore prodre fluid. Ako je potrebno nadzirati stabilnost utega u uporabi, masa utega treba se odrediti prije čišćenja, ako je to moguće.

**B.4.2** Nakon čišćenja otapalima utezi se trebaju stabilizirati tijekom vremena danih u tablici B.1.

**Tablica B.1** Vrijeme stabilizacije nakon čišćenja

Razred utega	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub> do M <sub>3</sub>
Nakon čišćenja alkoholom	7 – 10 dana	3 – 6 dana	1 – 2 dana	1 sat
Nakon čišćenja destiliranom vodom	4 – 6 dana	2 – 3 dana	1 dan	1 sat

### B.4.3 Toplinska stabilizacija

Prije provedbe bilo kakvih ispitnih umjeravanja, utezi se trebaju prilagoditi okolišnim uvjetima laboratorija. Posebno temperatura utega razreda E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> ili F<sub>1</sub> treba biti bliska temperaturi u prostoru vaganja.

**B.4.3.1** Obvezatna najkraća vremena koja se zahtijevaju za temperaturnu stabilizaciju (ovisno o veličini utega, razredu utega i razlici između početne temperature i sobne temperature u laboratoriju) prikazana su u tablici B.2. Kao praktične upute preporučuje se vrijeme vaganja od 24 sata.

**Tablica B.2.** Toplinska stabilizacija u satima

$\Delta T^*$	Nazivna vrijednost	Razred E <sub>1</sub>	Razred E <sub>2</sub>	Razred F <sub>1</sub>	Razred F <sub>2</sub>
± 20 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	–	–	79	5
	100, 200, 500 kg	–	70	33	4
	10, 20, 50 kg	45	27	12	3
	1, 2, 5 kg	18	12	6	2
	100, 200, 500 g	8	5	3	1
	10, 20, 50 g	2	2	1	1
	< 10 g		1		0,5
± 5 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	–	–	1	1
	100, 200, 500 kg	–	40	2	1
	10, 20, 50 kg	36	18	4	1
	1, 2, 5 kg	15	8	3	1
	100, 200, 500 g	6	4	2	0,5
	10, 20, 50 g	2	1	1	0,5
	< 10 g			0,5	



$\Delta T^*$	Nazivna vrijednost	Razred E <sub>1</sub>	Razred E <sub>2</sub>	Razred F <sub>1</sub>	Razred F <sub>2</sub>
± 2 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	–	–	1	0,5
	100, 200, 500 kg	–	16	1	0,5
	10, 20, 50 kg	27	10	1	0,5
	1, 2, 5 kg	12	5	1	0,5
	100, 200, 500 g	5	3	1	0,5
	< 100 g	2	1		0,5
± 0,5 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	–	–	–	–
	100, 200, 500 kg	–	1	0,5	0,5
	10, 20, 50 kg	11	1	0,5	0,5
	1, 2, 5 kg	7	1	0,5	0,5
	100, 200, 500 g	3	1	0,5	0,5
	< 100 g	1		0,5	

\*  $\Delta T$  = Početna razlika između temperature utega i temperature laboratorija.

## B.5 Hrapavost površine

### B.5.1 Uvod

Stabilnost mase utega veoma ovisi o strukturi površine utega. Očekuje se da uteg s glatkom površinom bude stabilniji od utega s hrapavom površinom, ako su svi drugi elementi isti. Važno je da površina utega bude čista kad se vrednuje hrapavost njegove površine.

**B.5.1.1** Za nove utege bez vidljivih ogrebotina hrapavost se površine može kvantificirati na dobro definiran način. Za površine s mnogo ogrebotina to je mnogo teže. U dimenzijskome mjeriteljstvu hrapavost površina jasno se razlikuje od oštećenja površine, kao što su ogrebotine. Ogrebotine će međutim sakupljati nečistoće ako im je uteg izložen tako da će se količina ogrebotina ocjenjivati usporedno s hrapavošću neizgrebanoga dijela površine. Ocjena hrapavosti površine primjenjuje se samo na utege razreda E i F koji su jednaki 1 g ili veći.

### B.5.2 Opća ocjena

Ocjena hrapavosti utega najprije se provodi vizualnim pregledom. Za utege razreda E i F međutim ta se ocjena također treba provoditi uzorkom za usporedbu hrapavosti (CS) uporabom instrumenta s iglom (SI).

**Upozorenje:** *Uporaba instrumenta s iglom može oštetiti površinu utega.*

Hrapavost površine može se opisati nizom različitih parametara hrapavosti. Svaki parametar opisuje svojstvo površine koje je važno za posebnu funkciju površine.

#### B.5.2.1 Uzorak za usporedbu (CS metoda)

Ako stvarna vrijednost hrapavosti površine nije potrebna, nego samo treba zadovoljavati određenu specifikaciju, površina se može vizualno uspoređivati s hrapavošću uzorka za usporedbu. Takav se uzorak sastoji od niza površinskih odsječaka s rastućom specificiranom hrapavošću. Smatra se da je uzorak potvrđen ako ga je umjerio akreditirani laboratorij i ako je praćen potvrdom o umjerenju. Potvrda mora uključivati parametar hrapavosti ( $R_a$  ili  $R_z$ ). Površina uzorka za usporedbu mora imati sličan izgled te mora biti proizvedena sličnim



metodama strojne obradbe kao i površina utega. Budući da utezi imaju ravne i valjkaste površine, moraju se upotrebljavati dvije garniture uzoraka, jedna s ravnim površinama i jedna s valjkastim površinama.

#### **B.5.2.2 Instrument s iglom (SI metoda)**

Obično se hrapavost površine mjeri instrumentom s iglom. Kod tih instrumenata oštra igla prati veoma nježno liniju površine te se okomito kretanje igle bilježi kao funkcija položaja uzduž linije. Na taj se način bilježi profil površine.

*Upozorenje: Uporaba instrumenta s iglom može oštetiti površinu utega.*

#### **B.5.2.3 Drugi instrumenti**

Za mjerenja hrapavosti postoje i instrumenti koji se razlikuju od tradicionalnih instrumenata, kao npr. mjerenjem rasipanja svjetlosti [12].

### **B.5.3 Ispitni postupci**

#### **B.5.3.1 Vizualni pregled**

##### **B.5.3.1.1 Pomagala**

- a) Dobro osvijetljen prostor
- b) Laboratorijske rukavice
- c) Odjeća bez dlačica.

##### **B.5.3.1.2 Mjerni postupak**

###### **B.5.3.1.2.1 Novi utezi**

- a) Za utege svih razreda vizualno pregledajte površinu utega:
  - 1) zabilježite sve udubine ili uleknine na njegovoj površini ili dublje ogrebotine;
  - 2) površina mora biti glatka (vidi podtočku 11.1.1);
  - 3) rubovi moraju biti zaobljeni;
  - 4) Za utege od 1 g do 10 kg površina utega ne smije biti porozna.
- b) Za utege razreda E i F vizualno pregledajte površinu utega:
  - 1) površina utega ne smije biti porozna
  - 2) površine moraju biti sjajne
- c) Za valjkaste utege od 1g do 50 kg površina utega mora biti glatka i ne smije biti porozna.
- d) Za pravokutne utege (5 kg, 10 kg, 20 kg i 50 kg) završna obradba površine mora odgovarati završnoj obradbi površine sivoga lijevanog željeza (vidi 11.1.3)
- e) Za utege razreda M<sub>3</sub> od 50 kg ili veće površina se mora premazati gradivom prikladnim za osiguranje zaštite od korozije koje čini površinu nepropusnom. Taj premaz mora izdržati udar i druge atmosferske uvjete (vidi 8.5.1).

###### **B.5.3.1.2.2 Upotrebljavani utezi**

Osim pregleda iz odsjeka B.5.3.1.2.1 pregledajte površinu utega radi tragova uporabe na sljedeći način.

Vizualno pregledajte površinu utega. Rabljeni će utezi normalno imati ogrebotine, posebno na površini osnove:

- 1) ako su broj i dubina ogrebotina u skladu s odgovarajućom stabilnošću utega, uteg se može prihvatiti;
- 2) tijekom ocjene hrapavosti površine, pojedinačne ogrebotine i druga oštećenja ne smiju se uzeti u obzir; ili
- 3) ako je broj ogrebotina za ocjenu hrapavosti površine prevelik, uteg se ne smije prihvatiti.

### B.5.3.1.3 Iskazivanje rezultata

Zabilježite ocjenu na formularu iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*, označujući »vizualni pregled« kao metodu ocjene.

### B.5.3.2 Uzorak za usporedbu hrapavosti (CS metoda) (utezi razreda E i F)

Hrapavost površine može se usporediti vizualno s hrapavošću uzoraka za usporedbu.

#### B.5.3.2.1 Pomagala

- a) Čist potvrđen uzorak za usporedbu hrapavosti (vidi B.5.2.1)
- b) Dobro osvijetljen prostor
- c) Laboratorijske rukavice
- d) Odjeća bez dlačica.

#### B.5.3.2.2 Mjerni postupak

- a) Očistite površinu uzorka za usporedbu čistom krpom bez dlačica umočenom u alkohol. Ako se površina utega ne čini čistom i ona se mora očistiti.  
*Napomena:* Čišćenje može znatno promijeniti masu utega. O čišćenju utega vidi B.4.
- b) Držite uteg u uspravnome položaju prema odsječku uzorka za usporedbu pri čemu položaji dviju površina moraju biti usporedni.
- c) Istodobno promatrajte te dvije površine pod različitim kutovima.
- d) Procijenite čini li se hrapavost utega manjom ili većom od posebnog odsjeka uzorka za usporedbu hrapavosti.
- e) Ponovite s različitim uzorcima za usporedbu uzorka i odredite gornju granicu.

### B.5.3.2.3 Iskazivanje rezultata

Zabilježite vrijednosti  $R_a$  i  $R_z$  koje najviše sličje ispitnomu utegu uporabom formulara iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*, koja pokazuje "CS" metodu ocjene. Ako vizualna ocjena jasno pokazuje da je hrapavost ( $R_a$  ili  $R_z$ ) površine utega manja od najmanje vrijednosti specificirane u 11.1.2, nisu potrebna druga mjerenja hrapavosti. Ako postoji sumnja, hrapavost ( $R_a$  ili  $R_z$ ) se mora izmjeriti instrumentom s iglom.

### B.5.3.3 Mjerenje hrapavosti instrumentom s iglom (SI metoda) (razred E i F)

#### B.5.3.3.1 Pomagala

- a) Instrument s iglom definiran u normi ISO 3274 [14]
- b) Laboratorijske rukavice

#### B.5.3.3.2 Mjerni postupak (u skladu s normom ISO 4288 [15])

- a) Provedite barem 6 mjerenja:
  - 1) Dva u ravnini gornje površine, i
  - 2) Četiri na valjkastoj površini.
- b) Ne uključujte ogrebotine ili druga oštećenja površine u praćenim profilima.
- c) Sve izmjerene vrijednosti hrapavosti površine ( $R_a$  ili  $R_z$ ) moraju biti manje od najveće vrijednosti specificirane u tablici 6. u podtočki 11.1.2.

### B.5.3.3.3 Iskazivanje rezultata

Zabilježite vrijednosti  $R_a$  i  $R_z$  koje najviše sličje ispitnomu utegu uporabom formulara iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*, naznačujući metodu ocjene kao "SI".

## B.6 Magnetizam

### B.6.1 Uvod

Magnetske sile mogu štetno utjecati na proces vaganja jer se pri određivanju mase bez sustavnog istraživanja te lažne sile ne mogu razlikovati od sila teže. Magnetske sile nastaju od uzajamnih djelovanja dvaju etalona mase te između etalona mase, komparatora mase koji se upotrebljava za vaganje i drugih magnetskih predmeta u blizini.

#### B.6.1.1 Opća razmatranja

Magnetska svojstva (magnetizaciju i susceptibilnost) etalona mase treba odrediti prije umjeravanja mase (dodatak C) kako bi se osiguralo da magnetska međudjelovanja budu zanemariva. Uteg koji ne prođe ispitivanje magnetizma ne smije se umjeravati.

**B.6.1.1.1** Nije nužno mjeriti magnetska svojstva utega izrađenih od aluminija jer je poznato da oni nisu magnetični te da imaju magnetsku susceptibilnost  $\chi$  mnogo manju od 0,01. Osim toga za male utege (< 2 g) i za utege nižeg razreda točnosti (razreda F<sub>1</sub> i niže, < 20 g) dostatno je pozvati se na proizvođačevu specifikaciju magnetskih svojstava gradiva koje je upotrijebljeno za izradbu utega (vidi B.6.3).

**B.6.1.1.2** Mnogi utezi razreda M izrađuju se od lijevanog čelika ili jednostavne čelične slitine. Prema tomu utezi razreda M zbog magnetskih djelovanja između utega i vage imaju veću relativnu pogrješku češće od utega razreda E i F. Sve kovine imaju određenu magnetsku susceptibilnost. Međutim slitine koje sadržavaju magnetske nečistoće imat će veću susceptibilnost te mogu postati magnetične.

*Napomena:* Bočne magnetske sile na uteg također se trebaju uzimati u obzir, ali se one ne razmatraju u ovome izdanju preporuke R 111.

#### B.6.1.2 Pregled ispitnih postupaka

U odsječcima B.6.2 do B.6.6 opisuju se dvije metode za određivanje magnetizacije utega (B.6.2 i B.6.4) i četiri prihvaćene metode za određivanje magnetske susceptibilnosti (B.6.3, B.6.4, B.6.5, B.6.6), uključujući formule za izračun magnetizacije i magnetske susceptibilnosti. Granice za trajnu magnetizaciju i magnetsku susceptibilnost dane su u podtočki 9.1 i 9.2. U tablicama B.3(a), B.3(b) i B.3(c) prikazane su preporučene metode za različite razrede točnosti i nazivne mase. Mogu se također upotrebljavati i alternativne metode pod uvjetom da je njihova valjanost potvrđena u odgovarajućoj dokumentaciji koja je pridružena ispitnomu izvještaju.

*Napomena:* Potpun opis magnetizacije utega tehnički je nepraktičan. Ovdje prikazane metode oslanjaju se na približenja za koja je dokazano da su korisna. U slučajevima gdje ovdje prikazane različite metode daju nesukladne rezultate red valnosti je: B.6.4, B.6.2 (Hallova proba), B.6.2 (proba magnetometra zasićenja).

### B.6.2 Metoda određivanja trajne magnetizacije, gausometar

Trajna se magnetizacija utega može procijeniti iz mjerenja gausmetrom magnetskoga polja u blizini utega. Ta se metoda može upotrebljavati za sve razrede točnosti navedene u tablici B.3(c).

#### B.6.2.1 Opća razmatranja

- a) U prostoru gdje se provodi ispitivanje prije početka ispitivanja treba s pomoću gausometra provjeriti smjer magnetskog polja okoliša. Ispitivanje treba provoditi u području u kojemu nema feromagnet-skih predmeta. Operater ne smije nositi ili imati u odjeći željezne predmete.
- b) Mjerenje magnetskoga polja zbog utega npr. Hallovim osjetilom (preporučeni instrument) ili magnetometru zasićenja. Magnetometar zasićenja ne smije se upotrebljavati za utege manje od 100 g. Probu treba usmjeriti tako da njezina osjetna os bude okomita na površinu utega.
- c) Mjerenje treba poduzimati u smjeru gdje je magnetska indukcija okoliša mjerena probom u blizini ništice.
- d) Alternativno vrijednost indukcije okoliša treba oduzeti od mjerene indukcije kad je uteg prisutan.

### B.6.2.2 Pomagala

- Gausometar kao što je Hallovo osjetilo ili magnetometar zasićenja
- Oruđa za rukovanje utezima (npr. laboratorijske rukavice, odjeća bez dlačica, laboratorijske pincete) i
- Dobro osvijetljen prostor.

### B.6.2.3 Mjerni postupak

- Namjestite mjerilo na ništicu
- Postavite probu na nemagnetsku površinu
- Očitajte magnetsko polje s okomitom orijentacijom probe. Ta je vrijednost mjera magnetskoga polja okoliša. To će se očitavanje oduzimati od bilo kojega budućeg očitavanja izvedena na utegu ili u blizini utega.
- Postavite uteg na osjetilo i pritom održavajte orijentaciju probe. Središte osnovice utega mora se postaviti iznad osjetila. Provjerite homogenost magnetizacije kretanjem utega od središta do granice osnovice i promatrajte promjene u očitavanju. Ako se ono glatko ne smanjuje, uteg može biti nehomogeno magnetiziran.
- Ako je uteg homogeno magnetiziran, mjerenja se mogu provoditi u središtu osnovice, u blizini površine utega bez dodira i u skladu sa specifikacijama gausometra.

*Napomena:* Za neke probe kao što su magnetometar zasićenja, osjetilo se postavlja na udaljenosti od kraja probe [6]. Time se obično dobije manja jakost polja od one koja se dobije Hallovim osjetilom postavljanim što je moguće bliže utegu. Ako je uteg nehomogeno magnetiziran, mjerenja se moraju provoditi uzduž središnje osi utega na udaljenosti od površine od barem pola promjera valjkastog utega ili barem pola najveće dimenzije pravokutnog utega. Očitavanja probe moraju se ispraviti s pomoću formule dane u nastavku.

- Očitajte pokazivanje (koje može biti u mT). Zabilježite u  $\mu\text{T}$ .
- Preokrenite uteg za mjerenje odozgo (samo za utege s ravnom gornjom stranom), tada ponovite korake d – f.
- Ispravite očitavanje probe i procijenite polarizaciju ( $\mu_0 M$ ) s pomoću sljedeće jednadžbe:

$$\mu_0 M = \frac{2B}{\frac{d+h}{\sqrt{R^2+(d+h)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2+d^2}}} - f(B_E) \quad (\text{B.6.2-1})$$

$$\text{s: } f(B_E) = 5,4B_E \text{ za utege razreda M} \quad (\text{B.6.2-2})$$

$$\text{i } f(B_E) = \frac{\chi}{1+0,23\chi} B_E \text{ za utege razreda E i F} \quad (\text{B.6.2-3})$$

gdje je:  $B$  = očitavanje gausometra s postojećim utegom (oduzeto polje u okolišu, vidi c)

$B_E$  = očitavanje gausometra magnetskoga polja u okolišu kad nema utega

$d$  = udaljenost između središta osjetila (koje je ugrađeno u probu) i površine utega

$h$  = visina utega

$R$  = polumjer valjkastog utega ili, u slučaju pravokutnog utega, polumjer kruga s istom površinom kao mjerena ravnina utega.

*Napomena:* Očitavanja  $B$  i  $B_E$  mogu u nekim slučajevima imati različite predznake.

- Upotrijebljena oprema i udaljenost moraju se u svim slučajevima navesti u ispitnome izvještaju.

### B.6.2.4 Nesigurnost

Ti se uređaji umjeravaju s nesigurnošću sumjerljivom zahtjevu da se magnetizacija može odrediti s granicom nesigurnosti manjom od jedne trećine granice pogreške dane u tablici 3. Rezultat je toga postupka povećanje nesigurnosti  $U$  ( $k = 2$ ) magnetizacije od približno 30 % (uključujući nesigurnost umjeravanja gausometra). Pojednostavnjenja u metodi ne mogu se međutim uračunati u tu nesigurnost. Prema tomu tako određena magnetizacija dogovorena je premda korisna vrijednost.

### B.6.2.5 Bilježenje rezultata

Zabilježite mjerne rezultate na formularu iz preporuke R 111-2, *Formular ispitnog izvještaja*.

### B.6.3 Specifikacija gradiva

Mjerenje magnetske susceptibilnosti može se provoditi uporabom postupka B.6.4 na ispitnome komadu uzetu iz komada kovine koja se upotrebljava za proizvodnju utega. U tome se slučaju povećana nesigurnost  $U$  ( $k = 2$ ) mjerenja mora povećati za 20 % kako bi se uzela u obzir moguća promjena toga parametra u komadu gradiva. Međutim svi dovršeni utezi moraju zadovoljavati zahtjeve dane u tablici 3. Zbog djelovanja zasićenja u mjerenju magnetske susceptibilnosti primijenjeno magnetsko polje na uteg mora biti dostatno maleno ( $< 4 \text{ kA m}^{-1}$  za tipičnu čeličnu slitinu).

**B.6.3.1** Utezi proizvedeni od aluminiya imaju magnetsku susceptibilnost od  $\chi < 0,01$ .

**B.6.3.2** Za utege ispod 2 g podatak o susceptibilnosti uzima se iz proizvođačeve specifikacije magnetskih svojstava gradiva koje se upotrebljava za proizvodnju.

**B.6.3.3** Za utege razreda F manje od 20 g, podatak o susceptibilnosti uzima se iz proizvođačeve specifikacije magnetskih svojstava gradiva koje se upotrebljava za proizvodnju.

## B.6.4 Magnetska susceptibilnost i trajna magnetizacija, susceptometrijska metoda

### B.6.4.1 Načela ispitivanja

Ta se metoda može upotrebljavati za određivanje magnetske susceptibilnosti i trajne magnetizacije slabo magnetiziranih utega mjerenjem sile koja djeluje na masu etalona u smjeru u kojemu se magnetsko polje jakoga trajnog magneta najbrže mijenja [vidi sliku B.1].

Ta je metoda primjenjiva samo na utege za koje je magnetska susceptibilnost  $\chi < 1$ . Susceptometrijska se metoda ne preporučuje za utege izrađene od više dijelova. Za uporabu te metode zahtijeva se dobro poznavanje metoda iz bibliografske jedinice [6]. U tipičnome slučaju susceptometar ima mjerni obujam koji je ograničen u opsegu (približno  $10 \text{ cm}^3$ ) na stolu u blizini magneta i okomito iznad njega. Za utege veće od 2 kg provodi se mjerenje na sredini osnovice utega (ako se smatra potrebnim mjeriti trajnu magnetizaciju na nekoliko mjesta uzduž osnovice, upotrebljava se gausometar umjesto susceptometra). Normalno uteg mora biti u uspravnome položaju. Za mjerenje magnetskih svojstava pobočka ili gornje strane zahtijeva se razrađeni metoda [6].

### B.6.4.2 Opća razmatranja

Postoji znatan rizik da **postupak izazove trajnu magnetizaciju** ispitnog utega ako je izložen prejakim magnetskim poljima ( $> \text{kA m}^{-1}$  za tipične čelične slitine utega razreda  $E_1$ ). Preporučuje se npr. da se ispitivanja utega razreda  $E_1$  najprije izvedu na udaljenosti  $Z_0$  od oko 20 mm između sredine visine magneta i osnovice utega (vidi sliku B.1). Tada se samo smanjuje  $Z_0$  ako je susceptibilnost uzorka premalena da bi izazvala prikladan signal [6]. Dodatne mjere opreza mogu biti potrebne kad se ispituju utezi veće susceptibilnosti (vidi B.6.4.5c).

### B.6.4.3 Pomagala

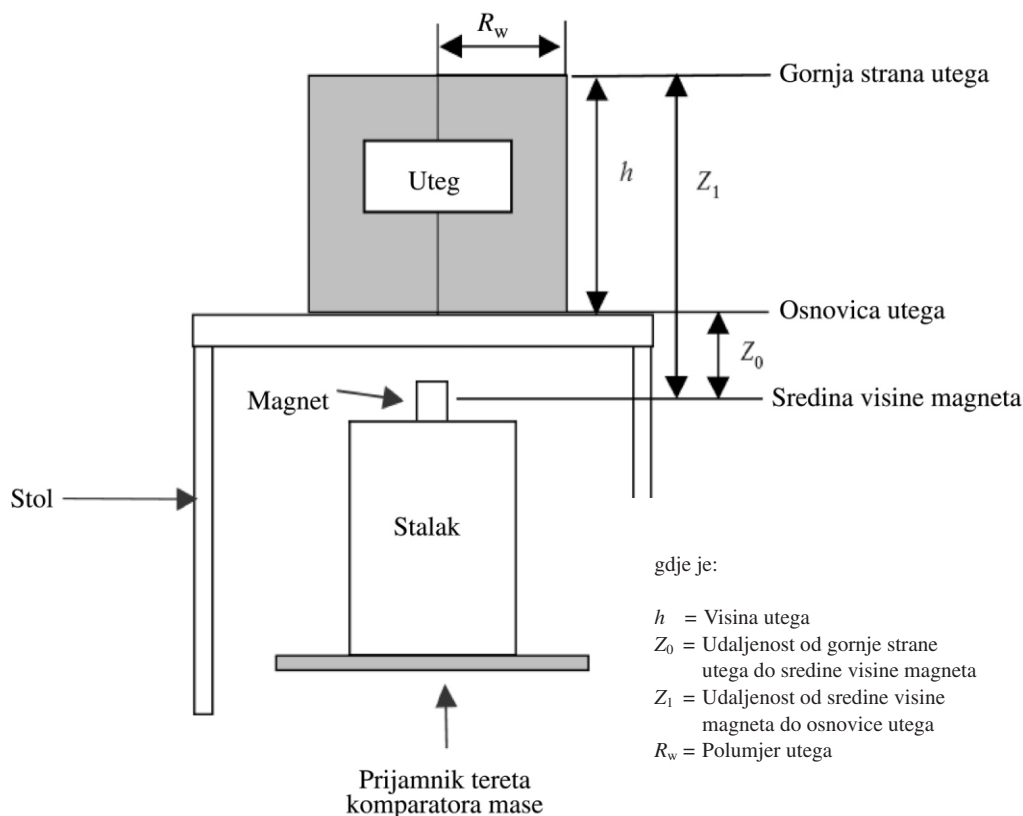
- a) Vaga s podjeljkom ljestvice koji nije veći od  $10 \mu\text{g}$
- b) Nemagnetski stol na koji se stavlja uteg

- c) Valjak na koji se stavlja uteg
- d) Valjkasti magneti s magnetskim momentom ( $m_d$ ) reda veličine  $0,1 \text{ A m}^2$  (taj je moment tipičan za samarij-kobaltne ili neodimij-željezo-boronske magnete obujma od oko  $100 \text{ mm}^3$ ) [6].

#### B.6.4.4 Slika uređaja

Visina magneta u idealnom slučaju treba biti jednaka 0,87 puta njezinu promjeru [6] premda je prihvatljiv odnos visina-promjer od 1.  $Z_0$  je udaljenost od sredine visine magneta do osnovice utega.

Slika B.1 Uređaj za magnetsku susceptibilnost i magnetizaciju, susceptometrijska metoda



#### B.6.4.5 Mjerni postupak

Ta se ispitivanja trebaju provoditi u području u kojemu nema željeznih predmeta. Operater ne smije nositi ili oblačiti predmete sa sadržajem željeza.

- a) Kao mjera različitih parametara ( $Z_0$ ,  $R_w$ ,  $h$ ) vidi prikaz uređaja, slika B.1, vidi također [6] za mjerenje  $Z_0$ .
- b) Vrijednost ubrzanja sile teže ( $g$ ) treba biti poznata s točnošću od oko 1 %.
- c) Mjesto magneta s njegovim sjevernim polom usmjerenim prema dolje (sjeverni je pol valjkastog magneta kraj koji odbija sjeverni pol magnetske igle). Bit će potreban dipolni moment ( $m_d$ ).

Magnet proizvodi maksimalno polje na gornjoj površini ploče:

$$H = \frac{m_d}{2\pi \times Z_0^3} \quad (\text{B.6.4-1})$$

pri čemu je  $H$  u jedinicama  $\text{A m}^{-1}$ , za  $m_d$  u  $\text{A m}^2$  i  $Z_0$  u m.

Važno je da u početku  $H$  ne prelazi  $2000 \text{ A m}^{-1}$  kad se ispituju utezi razreda  $E_1$ ,  $800 \text{ A m}^{-1}$  kad se ispituju utezi razreda  $E_2$  i  $200 \text{ A m}^{-1}$  kad se ispituju utezi drugih razreda. Polje ( $H$ ) može se povećati samo ako je signal susceptometra preslab. U tome se slučaju polje ( $H$ ) povećava smanjenjem visine  $Z_0$ .

- d) Postavite instrument na ništicu.
- e) Postavite uteg na ploču tako da se njegove osi podudaraju s okomitom osi magneta i očitajte rezultat. Opetovano zaokrećite uteg oko njegove osi povećavajući kutove i ponavljajte očitavanje u svakome položaju. Za sljedeće postupke zaokrenite uteg za kut u kojemu očitavanje pokazuje najveće odstupanje od ništice.
- f) Postavite uteg na ploču, normalno tri puta, izravno iznad magneta. Treba biti siguran da je uteg usredišten.
  - 1) Očitajte vrijeme postavljanja tereta, vrijeme očitavanja i vrijeme uklanjanja tereta.
  - 2) Iz opetovanih očitavanja izračunajte  $\Delta m_1$ . Normalno će  $\Delta m_1$  biti negativno, pokazujući da uteg blago privlači magnet.
  - 3) Sila  $F_1$  određuje se kao  $F_1 = -\Delta m_1 \times g$ .
- g) Mjerenje treba opetovati s magnetom preokrenutim u obrnutome smjeru.
  - 1) Udaljenost  $Z_0$  treba držati stalnom.
  - 2) Postavite instrument na ništicu.
  - 3) Ponovno postavite uteg na ploču, normalno tri puta, izravno iznad magneta. Treba biti siguran da je uteg usredišten.
  - 4) Zabilježite vrijeme postavljanja tereta, vrijeme očitavanja i vrijeme uklanjanja tereta.
  - 5) Izračunajte  $\Delta m_2$  iz opetovanih očitavanja. Normalno će  $\Delta m_2$  biti negativno, ali će se znatno razlikovati od  $\Delta m_1$ .
  - 6) Sila  $F_2$  određuje se kao  $F_2 = -\Delta m_2 \times g$ .
- h) Ponovite korake od d – g.

#### B.6.4.6 Izračuni

Izračunajte magnetsku susceptibilnost ( $\chi$ ) i trajnu magnetizaciju ( $M_z$ ) utega uvrštenjem različitih parametara u jednadžbe dane u nastavku. Pretpostavlja se da je susceptibilnost zraka uvijek zanemarivo mala.

**B.6.4.6.1** Ako se mjere  $F_1$  i  $F_2$ , izraz za **magnetsku susceptibilnost** dan je formulom:

$$\chi = \frac{F_a}{I_a \times F_{\max} - 0.4F_a} \quad (\text{B.6.4-4})$$

gdje je:

$$F_{\max} = \frac{3\mu_0}{64\pi} \times \frac{m_d^2}{Z_0^4} \quad (\text{B.6.4-5})$$

$$F_a = \frac{F_1 + F_2}{2} \quad (\text{B.6.4-6})$$

a za **magnetsku polarizaciju** izrazom:

$$\mu_0 M_z = \frac{F_b}{\frac{m_d}{Z_0} \times \frac{1}{4\pi} \times I_b} - \frac{\chi}{1 + 0.23\chi} B_{EZ} \quad (\text{B.6.4-7})$$

gdje je:

$$F_b = \frac{F_1 - F_2}{2} \quad (\text{B.6.4-8})$$

$B_{EZ}$  je okomita sastavnica magnetske indukcije u laboratorijskome okolišu. Obično se može uzeti da je  $B_{EZ}$  okomita sastavnica zemljine magnetske indukcije na lokaciji laboratorija; u tome je slučaju ovisno o zemljopisnoj širini  $-48 \mu\text{T} < B_{EZ} < 60 \mu\text{T}$ . Veličina  $B_{EZ}$  jednaka je ničiti na Zemljinu polutniku, a najveća je na njezinim polovima. Predznak  $B_{EZ}$  pozitivan je na sjevernoj polutki, a negativan na južnoj polutki.

**B.6.4.6.2.** Faktori geometrijskog ispravka ( $I_a$  i  $I_b$ ) u gornjim jednadžbama dani su redom izrazima:

$$I_a = 1 - \left[ \frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 - \frac{1 + \left( \frac{R_w}{Z_0} \right)^2}{\left[ 1 + \left( \frac{R_w}{Z_0} \right)^2 \right]^3} + \left[ \frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 \times \frac{1 + \left( \frac{R_w}{Z_1} \right)^2}{\left[ 1 + \left( \frac{R_w}{Z_1} \right)^2 \right]^3} \quad (\text{B.6.4-9})$$

i

$$I_b = 2\pi \left[ \frac{\left( \frac{R_w}{Z_0} \right)^2}{\left( 1 + \left( \frac{R_w}{Z_0} \right)^2 \right)^{3/2}} - \frac{\left( \frac{R_w}{Z_0} \right)^2 \left( \frac{Z_1}{Z_0} \right)^3}{\left( 1 + \left( \frac{R_w}{Z_1} \right)^2 \right)^{3/2}} \right] \quad (\text{B.6.4-9})$$

Za više podataka o  $I_a$  i  $I_b$  vidi [6]. Susceptibilnost zraka može se zanemariti za sve praktične svrhe.

**B.6.4.6.3** Gornje formule vrijede za valjkasti uteg. Ako uteg nema oblik savršena valjka, mogu se zahtijevati dodatni ispravci ili veća nesigurnost. Nužna su naprimjer dodatna izračunavanja da bi se uzela u obzir udubljena osnovica, glava za dizanje itd., kako je detaljno prikazano u [6]. Ispravci za taj oblik djelovanja najveći su za najmanje mase (2 g), gdje iznose i 10 %.

#### B.6.4.7 Nesigurnost

Taj postupak kao rezultat daje nesigurnost za magnetsku susceptibilnost u rasponu od 10 % do 20 %. Nesigurnost pridružena toj metodi veća je za manje utege [17, 18, 40].

#### B.6.4.8 Bilježenje rezultata

Zabilježite mjerne rezultate na formularu iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*.

### B.6.5 Magnetska susceptibilnost, metoda privlačenja

#### B.6.5.1 Načela ispitivanja

Veličina koja se mjeri tom metodom relativna je magnetska permeabilnost, kako je određena usporedbom magnetske sile kojom trajni magnet djeluje na etalon mase s odgovarajućom silom na etalon permeabilnosti (vidi sliku B.2). Magnetska susceptibilnost ( $\chi$ ) izračunava se uporabom jednadžbe za odnos između relativne magnetske permeabilnosti i magnetske susceptibilnosti ( $\mu_r = 1 + \chi$ ).

Ta se metoda može upotrijebiti na utezima od 20 g i većim te za utege razreda od E<sub>2</sub> do F<sub>2</sub> [18 i 19] (vidi također tablicu B.3(b)). Instrumenti koji su dostupni za tu metodu normalno se mogu upotrebljavati samo za određivanje magnetske permeabilnosti u području od  $1,01 \leq \mu_r \leq 2,5$  ( $0,01 \leq \chi \leq 1,5$ ).

#### B.6.5.2 Opća razmatranja

Nedostatak je te metode da je dostupna mjerila teško umjeriti.

**Upozorenje:** Postoji također rizik da će postupak izazvati trajnu magnetizaciju ispitnog utega.

Magnet privlači uteg ili referentno gradivo ovisno o tome koje od njih ima veću magnetsku permeabilnost.



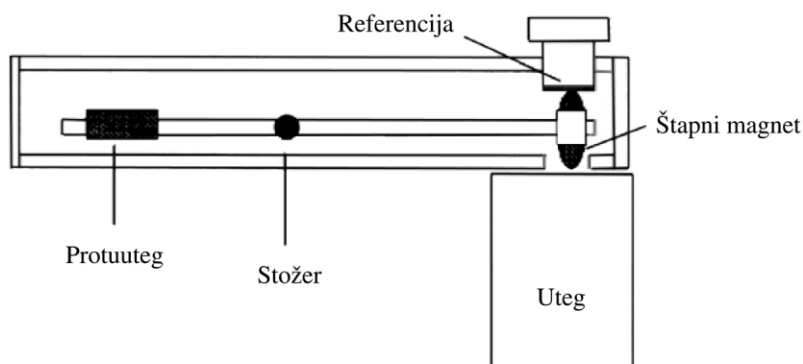
### B.6.5.3 Pomagala

- Magnet uravnotežen na uporištu protuutegom (slika B.2)
- Referentno gradivo poznate magnetske permeabilnosti
- Oruđa za rukovanje utegom (npr. laboratorijske rukavice, odjeća bez dlačica, laboratorijske pincete)
- Dobro osvijetljen prostor.

### B.6.5.4 Prikaz uređaja

Uređaj je prikazan na slici B.2. Normalno instrument uključuje garnituru umetaka (referentne tvari) koji se mogu upotrebljavati.

Slika B.2. Uređaj za magnetsku susceptibilnost, metoda privlačenja



### B.6.5.5 Mjerni postupak

- Umetnite odgovarajuće referentno gradivo poznate relativne magnetske permeabilnosti u instrument.
- Postavite instrument u stabilan položaj s magnetom usmjerenim prema dolje.
- Pomičite uteg prema instrumentu (štapni magnet od poznatoga referentnoga gradiva) dok ne dodirne instrument.
- Odvojite uteg veoma nježno od instrumenta.
- Ako štapni magnet privlači uteg, tada je relativna permeabilnost utega veća od permeabilnosti referentnoga gradiva.
- Ispitivanje se mora provoditi na različitim lokacijama na gornjoj i donjoj osnovici utega.

Da bi se osigurala sljedivost tih određivanja susceptibilnosti, prikazani se postupak treba ponavljati s mjerenjima na uzorku poznate susceptibilnosti (npr. kako je određena susceptometrom u B.6.4).

### B.6.5.6 Nesigurnost

Instrument ima pridruženu nesigurnost permeabilnosti od približno 0,3 % (30 % u susceptibilnosti) na najnižoj permeabilnosti ( $\mu_r = 1,01$ ) i 8 % (13 % u susceptibilnosti) na najvišoj permeabilnosti ( $\mu_r = 2,5$ ). Mjerni postupak može imati velike nesigurnosti [19].

### B.6.5.7 Bilježenje rezultata

Zabilježite mjerne rezultate na formularu iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*.

## B.6.6 Magnetska susceptibilnost, metoda magnetometra

### B.6.6.1 Načela ispitivanja

Tom se metodom određuje magnetska permeabilnosti predmeta uporabom magnetometra zasićenja s probom permeabilnosti koja sadržava trajni magnet postavljen u blizini objekta [20].

**Upozorenje:** Postoji također rizik da će postupak izazvati trajnu magnetizaciju ispitnog utega.

### B.6.6.2 Opća razmatranja

Instrumenti koji su dostupni za tu metodu mogu se normalno upotrebljavati za određivanje magnetske permeabilnosti u području  $1,0001 \leq \mu_r \leq 2,00$  ( $0,0001 \leq \chi \leq 1,00$ ). Da bi se osigurala sljedivost u tim određivanjima, postupak se treba ponavljati s mjerenjima na uzorku poznate susceptibilnosti (npr. prikladna referentna tvar koju je potvrdio akreditirani laboratorij).

### B.6.6.3 Pomagala

- Magnetometar zasićenja s probom permeabilnosti koja sadržava trajni magnet
- Referentno gradivo poznate magnetske permeabilnosti
- Oruđa za rukovanje utegom (npr. laboratorijske rukavice, odjeća bez dlačica, laboratorijske pincete)
- Dobro osvijetljen prostor.

### B.6.6.4 Mjerni postupak

Upućuje se na mjerni postupak koji je specificirao proizvođač.

### B.6.6.5 Nesigurnost

Instrument ima pridruženu nesigurnost permeabilnosti od približno 0,2 % (od 40 % do 4 % u susceptibilnosti) u području od  $1,005 \leq \mu_r \leq 1,05$  ( $0,005 \leq \chi \leq 0,05$ ) [20]. Podatci se dobivaju iz specifikacije proizvođača.

### B.6.6.6 Bilježenje rezultata

Zabilježite mjerne rezultate na formularu iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*.

## B.6.7 Preporučene metode za određivanje magnetizacije i susceptibilnosti prema razredu utega i veličini utega

**B.6.7.1** Mjerenja se trebaju provoditi na dovršenim utezima.

**B.6.7.2** Gausometar (B.6.2) može se upotrijebiti za određivanje magnetizacije za sve razrede točnosti, Hallovo osjetilo za nazivne vrijednosti  $\geq 1$  g i magnetometar zasićenja za nazivne vrijednosti  $\geq 100$  g.

**B.6.7.3** Tablice B.3(a), (b) i (c) daju preporučene postupke za različite razrede utega.

**Table B.3(a)** Trajna magnetizacija, metoda susceptometra (B.6.4)

Veličina utega	Razred
$\geq 20$ g	utezi $E_1$ , $E_2$ , $F_1$ i $F_2$ bez šupljina za ugađanje
$2$ g $\leq m < 20$ g	$E_1$ , $E_2$ i $F_1$
$\leq 2$ g	$E_1$ i $E_2$

**Table B.3(b)** Susceptibilnost

Veličina utega	Razred E <sub>1</sub>	Razred E <sub>2</sub>	Razred F <sub>1</sub>	Razred F <sub>2</sub>
5 000 kg			F A S*	F A S*
2 000 kg				
1 000 kg		F A S*		
500 kg				
200 kg				
100 kg				
50 kg	S F	F A S	F A S	F A S
20 kg				
10 kg				
5 kg				
2 kg				
1 kg				
500 g				
200 g				
100 g				
50 g				
20 g				
10 g	Sp	Sp		
5 g				
2 g				
1 g	Sp	Sp	Sp	Sp
500 mg				
200 mg				
100 mg				
50 mg				
20 mg				
10 mg				
5 mg				
2 mg				
1 mg				

Sp Gradivo specifikacije (B.6.3)

S Susceptometar za utege bez šupljine za ugađanje

A Metoda privlačenja (B.6.5)

F Magnetometar zasićenja + trajni magnet

S\* Metodama F i A daje se prednost za utege razreda E<sub>2</sub> od 100 kg do 1000 kg. To je stoga jer je napor koji se zahtijeva za ugradnju odgovarajućeg uređaja i obavljanje mjerenja susceptometrom veći od postignute koristi kad se uspoređuje s metodama F i A za uteg razreda E<sub>2</sub> od 100 kg do 1000 kg. Susceptometrijska se metoda ne preporučuje za utege sastavljene od više dijelova.

**Table B.3(c)** Trajna magnetizacija, gausometar (B.6.2)

Veličina utega	Razred točnosti
$\geq 1$ g (Hallovo osjetilo) $\geq 100$ g (Fluxgate)	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> , F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , M <sub>1</sub> , M <sub>1-2</sub> , M <sub>2</sub> , M <sub>2-3</sub> , M <sub>3</sub>

## B.7 Gustoća

### B.7.1 Uvod

Tablica 5. daje granice gustoće utega. U nastavku se daje šest prihvaćenih metoda za određivanje gustoće utega. Mogu se upotrijebiti i alternativne metode, npr. vaganje vagom uronjenom u fluorouglični fluid [21] ili uporabom akustičnog volumetra [22, 23] ako je njihova valjanost dokazana u odgovarajućoj dokumentaciji koja je pridružena ispitnomu uređaju. Za ispitne metode A, B, C i D kao referencija za gustoću upotrebljava se voda ili druga prikladna ispitna kapljevina. Metode E i F prikladne su za utege nižeg razreda ili, ako uranjanje u ispitnu kapljevinu nije prikladno, kao metoda. Tablica B.4 daje sažet prikaz metoda za određivanje gustoće. Tablica B.8 (na kraju B.7) daje preporučenu metodu određivanja gustoće prema razredu.

**Tablica B.4** Metode određivanja gustoće

Metoda	Opis
A	Najtočnija metoda. Hidrostatska metoda usporedbe ispitnog utega s referentnim utegom pri čemu su oba u zraku i u kapljevinu poznate gustoće
B	Najbrža i najprikladnija metoda. Vaganje utega u vodi i provjera je li pokazivanje vage u granicama vrijednosti danih u tablicama, ili izračunavanje gustoće iz pokazivanja vage i poznate stvarne mase ispitnog utega.
C	Odvojeno određivanje mase i obujma utega. Obujam se određuje iz povećanja očitavanja vage kad se uteg objesi u vodenoj kupki koja se nalazi na plitici vage.
D	Ta je metoda prikladna za utege > 1 kg. Vaganje ispitnog spremnika dobro definirana obujma s ispitnim utegom u njemu i bez njega.
E	Ta je metoda prikladna za utege sa šupljinama koji se ne smiju uranjati u vodu. Izračunavanje obujma iz dimenzija utega.
F	Procjena gustoće na temelju poznatog sastava slitine iz koje je proizveden uteg.

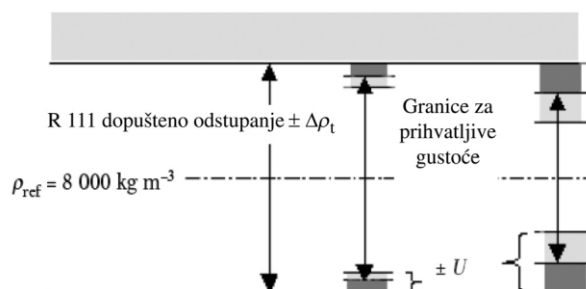
**B.7.1.1** Pri provjeri granica gustoće treba uzeti u obzir nesigurnost koja je svojstvena (svojstvenu) upotrijebljenoj ispitnoj metodi. Tablica B.5 daje općenito procjenu nesigurnosti pridruženu svakoj od metoda. Za svaki uteg očekivana nesigurnost ( $U$  ( $k = 2$ )) gustoće mora biti u granicama:

$$\rho_{\max} + U \leq \rho \leq \rho_{\max} - U \quad (\text{B.7.1-1})$$

Međutim ako se može održati niska nesigurnost ispitivanja gustoće, povećano područje rezultata može se prihvatiti za provjeru kako je prikazano na slici B.3. Niske nesigurnosti mogu se postići pažljivim radom.

**Tablica B.5.** Procijenjene tipične nesigurnosti,  $U$  (za  $k = 2$ ) prema metodi i veličini utega (u  $\text{kg m}^{-3}$ )

Metoda	50 kg	1 kg	1 g
A1	–	1,5	60
A2/A3	–	3	60
B1	5	5	60
B2	20	20	60
C	10	10	100
D	5	10	–
E	30	40	600
F	130 do 600		

**Slika B.3.** Dopuštena odstupanja gustoće i granice ovjeravanja zbog mjerne nesigurnosti

## B.7.2 Opća razmatranja

### B.7.2.1 Referentna temperatura

Referentna temperatura za iskazivanje gustoće jednaka je  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ako se mjerenje provodi na različitoj temperaturi (druge su normirane temperature  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  ili  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ ), gustoća se treba preračunati na  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  uporabom koeficijenta obujamskog širenja  $\gamma$  gradiva. Ako  $\gamma$  nije izričito poznato za nehrđajući čelik preporučuje se uporaba vrijednost  $g = 50 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

$$\rho(t_{\text{ref}}) = \rho(t_{\text{meas}}) \times [1 + \gamma(t_{\text{meas}} - t_{\text{ref}})] \quad (\text{B.7.2-1})$$

Mjerna nesigurnost:

$$u^2(\rho(t_{\text{ref}})) = u^2(\rho(t_{\text{meas}})) \left[ \frac{\rho(t_{\text{ref}})}{\rho(t_{\text{meas}})} \right]^2 + u^2(\gamma) \rho^2(t_{\text{meas}}) (t_{\text{meas}} - t_{\text{ref}})^2 + u^2(t_{\text{meas}}) \rho^2(t_{\text{meas}}) \gamma^2 \quad (\text{B.7.2-2})$$

### B.7.2.2 Zahtjevi za ovjeravanje za male utege

Gustoća malih utega za koju tablica 5. ne daje nikakve granične vrijednosti ne mora se provjeravati. Gustoća utega s masom manjom od  $1 \text{ g}$  treba se pretpostavljati u skladu s metodom F (vidi u nastavku) iz proizvođačevih podataka o gradivu od kojeg su utezi izrađeni.

### B.7.2.3 Kapljevina za uranjanje

Kapljevina za uranjanje ne smije utjecati na utege. Preporučuje se destilirana i otplinjena voda jer je njezina gustoća dobro poznata funkcija temperature, a njezina se čistoća lako nadzire. U jednadžbama u ovome odsječku pretpostavlja se stalna vrijednost gustoće kapljevine. Za ručne izračune koji se provode džepnim računalom u tablici B.6 dan je popis nekih vrijednosti gustoće za vodu. Gustoća zraka može se izračunati uporabom približne formule (E.3-1).

**Tablica B.6.** Gustoća vode

$t_1$ [°C]	$\rho_1$ [kg m <sup>-3</sup> ]	$\Delta\rho_1 / \Delta t_1$ [kg m <sup>-3</sup> °C <sup>-1</sup> ]
18,0	998,593	
18,5	998,499	-0,190
19,0	998,402	
19,5	998,303	-0,201
20,0	998,201	
20,5	998,096	-0,212
21,0	997,989	
21,5	997,879	-0,222
22,0	997,767	
22,5	997,652	-0,232
23,0	997,535	
23,5	997,415	-0,242
24,0	997,293	

### B.7.2.4 Prodor vode u šupljinu za ugađanje

Utezi koji sadržavaju šupljinu za ugađanje ne smiju se uranjati u vodu jer ona tijekom mjerenja može prodrijeti u šupljinu. To bi utjecalo na gustoću i masu utega te bi bilo štetno za stabilnost mase. Za utege sa šupljinom prvi je odabir geometrijsko određivanje obujma. Ako se međutim sva voda nakon toga može ukloniti, hidrostatsko bi se vaganje moglo provoditi s otvorenom šupljinom uz pažljivo uklanjanje uhvaćena zraka.

### B.7.2.5 Uklanjanje zraka

Za točna mjerenja u vodi veoma je važno ukloniti mjehuriće zraka iz utega i nosača utega. To je također točno za stijenke u kupki s kapljevnom za metode C i D, posebno ako se radi o malim utezima. Praktičan je način za smanjenje rizika od mjehurića zraka da se otplini voda i uteg u vodi primjenom tlaka nižeg od atmosferskog na odgovarajući pregradak (u kojemu su sadržani mjehurići) u trajanju od oko 10 do 15 minuta.

### B.7.2.6 Držac utega i žica za vješanje

Stavljanje utega na nosač utega pod vodom može slučajno dovesti do oštećenja utega i kupke (staklo). Korisnije je uroniti uteg i nosač utega zajedno. Međutim mjehurići zraka mogu se bolje otkriti ako se nosač utega

- (1) Utteg koji nije bio očišćen prije ispitivanja može pokazati manji obujam nakon ugađanja u čistoj vodi i nakon stabilizacije.
- (2) Mogu se upotrebljavati i druge kapljevne s dobro poznatom i stabilnim gustoćama. Bitno je za male mjerne nesigurnosti raditi pri stalnim i dobro poznatim uvjetima temperature.
- (3) Naprimjer u slučaju utega od 20 mg, promjena očitavanja vage od 20 µg dovela bi do razlike u rezultatu gustoće od 80 kg m<sup>-3</sup>.
- (4) Gustoća zraka zasićena vodom niža je za oko 0,0025 kg m<sup>-3</sup> od one zraka bez vode.

uroni odvojeno. Upotrebljava se nosač utega koji može spriječiti uteg od pada. Ako se zahtijeva mala mjerna nesigurnost, žica za vješanje treba biti tanka, čista i pod pravim kutom prolaziti kroz sučelje zrak/voda.<sup>5)</sup>

#### **B.7.2.7 Masa ili dogovorena masa**

U formulama danim u nastavku za masu se može uzeti dogovorena masa i obrnuto jer se uzimajući u obzir dobivenu i zahtijevanu nesigurnost za gustoću utega, razlika između vrijednosti njihove mase i dogovorene mase nevažna. Iz istog se razloga za masu ili dogovorenu masu može uzeti nazivna vrijednost utega pod uvjetom da se pretpostavlja da je ona u skladu s odgovarajućom najvećom dopuštenom pogreškom iz tablice 1.

#### **B.7.2.8 Sušenje utega**

Nakon uklanjanja utega iz vodene kupke veći dio vode odmah će oteći s površine utega. Preostale se kapljice trebaju ukloniti finim papirnim rupčićem. Zbog stabilizacije uteg se može postaviti pod prikladan pokriivač (preokrenuta kupa s razmačnikom kako bi se omogućila ventilacija).

#### **B.7.3 Mjerenje ispitnoga komada**

Mjerenje gustoće može se izvoditi na jednome ispitnom komadu uzetu iz komada kovine koja se upotrebljava za proizvodnju utega. Ispitni komad uzima se što je moguće bliže utegu i ima prikladan obujam i oblik za mjerenje njegove gustoće. Hrapavost ispitnog komada ista je ili manja od hrapavosti utega. Uzima se da je gustoća utega jednaka gustoći ispitnoga komada. Standardna se nesigurnost te vrijednosti dobiva sastavljanjem sastavnice relativne nesigurnosti jednake  $5 \times 10^{-5}$  sa standardnom nesigurnošću gustoće ispitnog utega.

#### **B.7.4 Ispitna metoda A (hidrostatska usporedba)**

Ta se metoda može provoditi na tri različita načina:

##### **Metoda A1 (dvama različitim referentnim utezima koji se važu u zraku):**

usporedbom ispitnog i referentnog utega u zraku i usporedbom ispitnog utega u kapljevinu i drugog referentnog utega u zraku;

##### **Metoda A2 (referentnim utezima koji se važu u zraku):**

usporedbom ispitnog i referentnog utega u zraku i usporedbom ispitnog utega i (nekih drugih) referentnog utega, pri čemu su oba u kapljevinu; ili

##### **Metoda A3 (izravnim vaganjem):**

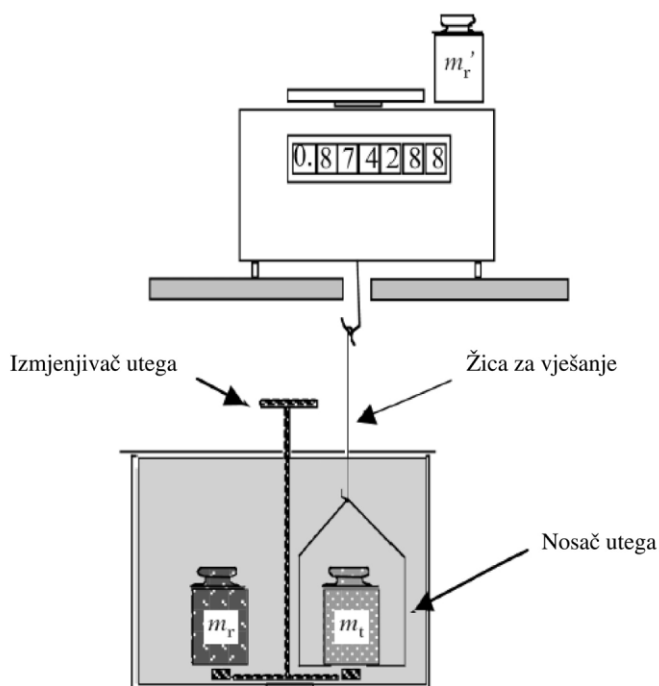
vaganjem ispitnog utega u zraku i u kapljevinu uporabom pokazivanja vage umjesto mase referentnih utega.

#### **B.7.4.1 Pomagala**

- a) Laboratorijska vaga (laboratorijske vage) zadovoljavajuće mjerne sposobnosti i visokog razlučivanja (relativno je razlučivanje u tipičnome slučaju jednako  $2 \times 10^{-6}$ ), opremljena za vaganje tereta obješena ispod vage
- b) Vodena kupka s mogućnošću termostatskog upravljanja u temperaturnim granicama od  $20 \text{ °C} \pm 0,2 \text{ °C}$
- c) Žice za vješanje i nosači utega za različite veličine utega
- d) Mehanizam za opterećenje i rasterećenje nosača utega u vodi
- e) Etaloni mase poznate gustoće
- f) Oruđa za rukovanje utezima (npr. laboratorijske rukavice, odjeća bez dlačica, laboratorijske pincete)
- g) Dobro osvijetljen prostor.

(5) Metodom usporedbe uzima se u obzir da nosač i uronjena žica za vješanje istiskuje vodu. Njome se dodatno kompenzira dodatna sila zbog nastanka meniskusa na sučelju voda/zrak što se ne odražava u sljedećim jednadžbama. Promjer žice ( $\phi$ ) od 0,1 do 0,3 mm za utege do 2 kg prikladan je u većini slučajeva.

Figure B.4: Prikaz metode A



#### B.7.4.2 Ispitna metoda A1 (dva različita referentna utega vagana u zraku)

##### B.7.4.2.1 Mjerni postupak

Odredite gustoću kapljevine ( $\rho_l$ ) i gustoću zraka ( $\rho_a$ ) u vrijeme ispitivanja:

- a) Prvo vaganje (ispitnog utega u zraku):
  - 1) Izvažite ispitni uteg ( $m_{ta}$ ) u zraku (gustoće  $\rho_a$ ).
  - 2) Zabilježite pokazivanje ( $I_{ta}$ ).
  - 3) Pažljivo uklonite uteg ( $m_{ta}$ ).
- b) Drugo vaganje (referentnog utega u zraku):
  - 1) Izvažite referentni uteg ( $m_{ra}$ ) u zraku (gustoće  $\rho_a$ ).
  - 2) Zabilježite pokazivanje ( $I_{ra}$ ).
  - 3) Pažljivo uklonite uteg ( $m_{ra}$ ).
- c) Treće vaganje (ispitnog utega u kapljevine):
  - 1) Izvažite ispitni uteg ( $m_{tl}$ ) u kapljevine (gustoće  $\rho_l$ ).
  - 2) Zabilježite pokazivanje ( $I_{tl}$ ).
  - 3) Pažljivo uklonite uteg ( $m_{tl}$ ).
- d) Četvrto vaganje (drugoga referentnog utega u zraku):
  - 1) Izvažite ispitni uteg ( $m_{rl}$ ) u zraku (gustoće  $\rho_{al}$ ).
  - 2) Zabilježite pokazivanje ( $I_{rl}$ ).
  - 3) Pažljivo uklonite uteg ( $m_{rl}$ ).

Drugi referentni uteg ( $m_{rl}$ ) obično je kombinacija utega za koje je pokazivanje vage blisko pokazivanju vage za uronjeni uteg.



### B.7.4.2.2 Izračuni

Znak  $m_{rl}$  predstavlja ukupnu masu kombinacije, a  $\rho_{rl}$  predstavlja stvarnu gustoću. Stvarna se gustoća izračunava iz izraza:

$$\rho_{rl} = \sum_i m_{rli} / \sum_i V_{rli} \quad (\text{B.7.4-1})$$

gdje su  $V_{rli}$  obujmi utega. Gustoća ispitnog utega  $\rho_t$  tada se izračunava s pomoću izraza:

$$\rho_t = \frac{\rho_l (C_a m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a (C_{al} m_{rl} + \Delta m_{wl})}{C_a m_{ra} + \Delta m_{wa} - C_{al} m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (\text{B.7.4-2})$$

pri čemu je:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} \quad (\text{B.7.4-3}) \quad C_{al} = 1 - \frac{\rho_{al}}{\rho_{rl}} \quad (\text{B.7.4-4})$$

$$\Delta m_{wa} = (I_{ta} - I_{ra}) C_s \quad (\text{B.7.4-5}) \quad \Delta m_{wl} = (I_{tl} - I_{rl}) C_s \quad (\text{B.7.4-6})$$

$$C_s = 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_s} \quad (\text{B.7.4-7})$$

Znak  $\rho_s$  prikazuje gustoću utega osjetljivosti, a  $\rho_{as}$  prikazuje gustoću zraka u vrijeme kad je vaga umjeravana.

Relativna nesigurnost jednaka je:

$$\left( \frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 = \left( c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left( c(\rho_{al}) \frac{u(\rho_{al})}{\rho_{al}} \right)^2 + \left( \frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 + \left( c(\rho_{ra}) \frac{u(\rho_{ra})}{\rho_{ra}} \right)^2 + \left( c(\rho_{rl}) \frac{u(\rho_{rl})}{\rho_{rl}} \right)^2 + c^2(m_r) \left[ \left( 2 \frac{u(m_r)}{m_r} \right)^2 + \left( \frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}} \right)^2 + \left( \frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{rl}} \right)^2 + \left( \frac{u(m_{cap})}{m_{rl}} \right)^2 \right] \quad (\text{B.7.4-8})$$

pri čemu je:  $c(\rho_a) = -\frac{\rho_a}{\rho_t} \left( 1 - \frac{\rho_t}{\rho_{ra}} \right) \left( 1 - \frac{\rho_t}{\rho_l} \right)$  (u većini slučajeva zanemarljivo maleno) (B.7.4-9)

$$c(\rho_{al}) = \frac{\rho_{al}}{\rho_l \rho_{rl}} (\rho_l - \rho_t) \quad (\text{B.7.4-10}) \quad c(\rho_{ra}) = \frac{\rho_a}{\rho_l \rho_{ra}} (\rho_t - \rho_l) \quad (\text{B.7.4-11})$$

$$c(\rho_{rl}) = -c(\rho_{al}) = \frac{\rho_{al}}{\rho_l \rho_{rl}} (\rho_t - \rho_l) \quad (\text{B.7.4-12}) \quad |c(m_r)| = \frac{(\rho_t - \rho_l)}{\rho_l} \quad (\text{B.7.4-13})$$

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left( \frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (\text{B.7.4-14})$$

Za mase i gustoće referentnih utega pretpostavlja se da su korelirane.

$u(m_{cap})$  je nesigurnost zbog djelovanja površinske napetosti na žicu na kojoj visi uteg (sa žicom koja ima promjer od 1 mm najveće djelovanje može biti 23 mg; za žicu promjera od 0,1 mm to djelovanje može biti 2,3 mg).

Pri 20 °C nesigurnost gustoće vode povezana je s nesigurnošću njezine temperature ( $t_1$ ) u °C (temperatura vode) sljedećim približnim odnosom:

$$\left( \frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 = \left( -4.1 \times 10^{-3} \frac{u(t_1)}{t_1} \right)^2 \quad (\text{B.7.4-15})$$

S pomoću jednadžbe (B.7.4-2) mogu se postići nesigurnosti do 0,05 kg m<sup>-3</sup>.

U većini slučajeva faktori ispravka zbog uzgona  $C_a$ ,  $C_{al}$ ,  $C_s$  međusobno se znatno ne razlikuju te se može uzeti da su jednaki jedinici, čime se za jednadžbu (B.7.4-2) dobije sljedeći jednostavniji izraz:

$$\rho_t = \frac{\rho_l(m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a(m_{rl} + \Delta m_{wl})}{m_{ra} + \Delta m_{wa} - m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (\text{B.7.4-16})$$

Relativna nesigurnost jednaka je:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + c^2(m_r) \left[ 2\left(\frac{u(m_r)}{m_r}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{rl}}\right)^2 + \left(\frac{u(m_{cap})}{m_{rl}}\right)^2 + u_C^2 \right] \quad (\text{B.7.4-17})$$

pri čemu je:

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left( \frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (\text{B.7.4-18}) \quad c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} (\rho_t - 1) \quad (\text{B.7.4-19})$$

$$|c(m_r)| = \frac{(\rho_t - \rho_l)}{\rho_l} \quad (\text{B.7.4-20}) \quad u_C = \left( \frac{\rho_t - 1}{\rho_l} \right) \left( \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} - \frac{\rho_{al}}{\rho_{rl}} \right) \quad (\text{B.7.4-21})$$

S pomoću jednadžbe (B.7.4-16) mogu se postići nesigurnosti do  $0,2 \text{ kg m}^{-3}$ .

### B.7.4.3 Ispitna metoda A2 (vaganjem referentnih utega u zraku i u kapljevinu)

#### B.7.4.3.1 Mjerni postupak

Isti kao u B.7.4.2.1 osim:

d) Četvrto vaganje (referentni uteg u kapljevinu):

- 1) Izvažite ispitni uteg ( $m_{rl}$ ) u kapljevinu.
- 2) Zabilježite pokazivanje ( $I_{rl}$ ).
- 3) Pažljivo uklonite uteg ( $m_{rl}$ ).

Referentni uteg ( $m_{rl}$ ) može biti drugi referentni uteg ili onaj isti koji je upotrijebljen u zraku ( $m_{ra}$ ).

#### B.7.4.3.2 Izračuni

Gustoća ispitnog utega ( $\rho_t$ ) tada se izračunava s pomoću jednadžbe (B.7.4-22) ili jednadžbe (B.7.4-31).

- i) Kad se upotrebljava isti referentni uteg za mjerenje u zraku i za mjerenje u kapljevinu ( $m_{ra} = m_{rl} = m_r$  i  $\rho_{ra} = \rho_{rl} = \rho_r$ ), tada je:

$$\rho_t = \frac{\rho_l(C_a m_r + \Delta m_{wa}) - \rho_a(C_l m_r + \Delta m_{wl})}{m_r \frac{\rho_l - \rho_a}{\rho_r} + \Delta m_{wa} - \Delta m_{wl}} \quad (\text{B.7.4-22})$$

pri čemu je:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (\text{B.7.4-23}) \quad C_l = 1 - \frac{\rho_l}{\rho_r} \quad (\text{B.7.4-24})$$

$\Delta m_{wa}$  i  $\Delta m_{wl}$  definirani su kao u jednadžbi (B.7.4-2).

Relativna nesigurnost jednaka je:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(\rho_l)\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_r)}{\rho_r}\right)^2 + \left(c(m_r)\frac{u(m_r)}{m_r}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wa})\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(m_{cap})}{m_{ra}}\right)^2 \quad (\text{B.7.4-25})$$

pri čemu je:

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left( \frac{\rho_t - \rho_r}{\rho_l} \right) \quad (\text{u većini slučajeva zanemarivo malo}) \quad (\text{B.7.4-26})$$

$$c(\rho_t) = \frac{1}{\rho_t} (\rho_r (1 + \Delta m_{wa} / m_r) - \rho_t) \quad (\text{u većini slučajeva zanemarivo malo}) \quad (\text{B.7.4-27})$$

$$c(m_r) = \frac{\rho_r - \rho_t}{\rho_t} \quad 7.4-28 \quad c(\Delta m_{wa}) = \frac{\rho_r}{\rho_t} \left( \frac{\rho_1 - \rho_t}{\rho_1} \right) \quad (\text{B.7.4-29})$$

$$c(\Delta m_{wl}) = \frac{\rho_r}{\rho_1} \quad 7.4-30$$

S pomoću jednadžbe (B.7.4-22) mogu se postići nesigurnosti do  $0,1 \text{ kg m}^{-3}$ .

ii) Kad se upotrebljavaju različiti referentni utezi za mjerenje u zraku i za mjerenje u kapljevine ( $m_{ra} \neq m_{rl}$  i  $\rho_{ra} \neq \rho_{rl}$ ), tada je:

$$\rho_t = \frac{\rho_1 (C_a m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a (C_1 m_{rl} + \Delta m_{wl})}{C_a m_{ra} + \Delta m_{wa} - C_1 m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (\text{B.7.4-31})$$

$$\text{pri čemu je:} \quad C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} \quad (\text{B.7.4-32}) \quad C_1 = 1 - \frac{\rho_1}{\rho_{rl}} \quad (\text{B.7.4-33})$$

Relativna nesigurnost jednaka je:

$$\left( \frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 = \left( c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left( c(\rho_1) \frac{u(\rho_1)}{\rho_1} \right)^2 + \left( c(\rho_{ra}) \frac{u(\rho_{ra})}{\rho_{ra}} \right)^2 + \left( c(\rho_{rl}) \frac{u(\rho_{rl})}{\rho_{rl}} \right)^2 + c^2(m_r) \left[ \left( 2 \frac{u(m_r)}{m_r} \right)^2 + \left( \frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}} \right)^2 \right] + \left( c(\Delta m_{wl}) \frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{ra}} \right)^2 + \left( c(\Delta m_{wl}) \frac{u(m_{cap})}{m_{ra}} \right)^2 \quad (\text{B.7.4-34})$$

pri čemu je:

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left( \frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (\text{B.7.4-35})$$

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left[ 1 - \frac{\rho_{rl}}{\rho_{ra} \rho_1} (\rho_{ra} - \rho_t + \rho_1) \right] \quad (\text{u većini slučajeva zanemarivo malo}) \quad (\text{B.7.4-36})$$

$$c(\rho_1) = \frac{1}{\rho_t} (\rho_{rl} - \rho_t) \quad (\text{u većini slučajeva zanemarivo malo}) \quad (\text{B.7.4-37})$$

$$c(\rho_{ra}) = \frac{\rho_{rl} \rho_a}{\rho_1 \rho_{ra} \rho_t} (\rho_1 - \rho_t) \quad (\text{B.7.4-38}) \quad c(\rho_{rl}) = \frac{\rho_t}{\rho_{rl}} \quad (\text{B.7.4-39})$$

$$c(m_r) = \frac{\rho_{rl}}{\rho_1} \frac{\rho_1 - \rho_t}{\rho_t} \quad (\text{B.7.4-40}) \quad c(\Delta m_{wl}) = \frac{\rho_{rl}}{\rho_1} \quad (\text{B.7.4-41})$$

Podrazumijeva se da su mase referentnih utega korelirane. Za  $u(m_{cap})$  vidi B.7.4.2.2.

S pomoću jednadžbe (B.7.4-31) mogu se postići nesigurnosti do  $0,1 \text{ kg m}^{-3}$ .

#### B.7.4.4 Metoda A3 (izravno vaganje)

Umjesto metode usporedbe postupak se može pojednostavniti izravnim očitanjem pokazivanja vage.

##### B.7.4.4.1 Mjerni postupak

Isti je kao u B.7.4.2.1 osim što su izostavljeni postupci b) i d).

##### B.7.4.4.2 Izračuni

Odgovarajuća jednadžba koja opisuje to stanje je:

$$\rho_t = \frac{I_{ta} \times \rho_l - I_{tl} \times \rho_a}{I_{ta} - I_{tl}} \quad (\text{B.7.4-42})$$

Preduvjet je za to pojednostavnjenje dobro umjerena vaga.  $I_{ta}$  i  $I_{tl}$  označuju pokazane vrijednosti za ispitni uteg u zraku (indeks "a") i kapljevini (indeks "l") nakon što se vaga tarira bez utega na plitici ili na uronjenome nosaču.

Relativna nesigurnost jednaka je:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(I_{ta}) \frac{u(I_{ta})}{I_{ta}}\right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(I_{tl})}{I_{tl}}\right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(m_{\text{cap}})}{I_{tl}}\right)^2 + u_C^2 \quad (\text{B.7.4-43})$$

pri čemu je:

$$c(\rho_a) = \rho_a \frac{\rho_t - \rho_l}{\rho_t \rho_l} \quad c(I_{ta}) = \frac{\rho_l - \rho_t}{\rho_l} \quad (\text{B.7.4-45})$$

$$c(I_{tl}) = \frac{\rho_t - \rho_l}{\rho_l} \quad u_C = \left(\frac{\rho_t}{\rho_l} - 1\right) \frac{\rho_a - \rho_{\text{al}}}{\rho_{\text{ref}}} \quad (\text{B.7.4-47})$$

S pomoću jednadžbe (B.7.4-42) mogu se postići nesigurnosti do  $0,2 \text{ kg m}^{-3}$ .

## B.7.5 Ispitna metoda B (provjeravanje gustoće)

### B.7.5.1 Načela

Metoda B pojednostavnjen je oblik hidrostatske metode i uključuje samo vaganje u kapljevini. Ispitni je uteg obješen tankom žicom dostatne čvrstoće u vodi gustoće  $\rho_l$ . Predočnik vage pokazuje vrijednost mase  $I_{tl}$ .

Ta se metoda može provoditi na dva različita načina:

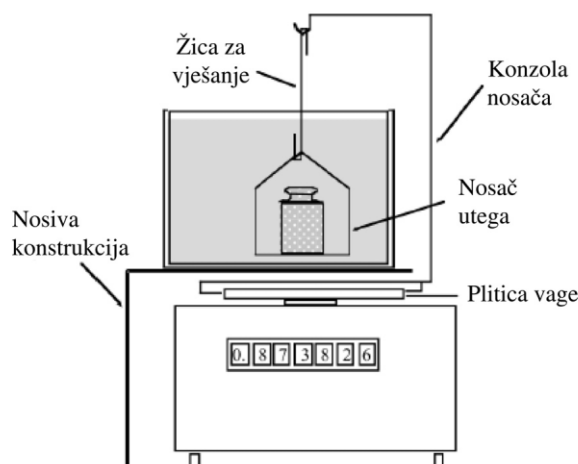
Metoda B.1: Izračunom gustoće uporabom jednadžbe (B.7.5-1) i pridružene nesigurnosti uporabom jednadžbe (B.7.5-1) (obvezatna za razred E<sub>1</sub>).

Metoda B.2: Provjerom je li gustoća u propisanom području. Granične vrijednosti za pokazivanje vage (R 111, *Format ispitnog uređaja*) izračunavaju se na granicama najmanje i najveće gustoće koje su dane u tablici 5. te preporuke. Procijenjena se mjerna nesigurnost metode određivanja gustoće uzima u obzir ovisno o veličini utega. Kao dodatna mjera sigurnosti, najmanje se granice temelje na pretpostavljenoj temperaturi vode od 24 °C, a najveće granice na temperaturi od 18 °C.

### B.7.5.2 Pomagala

- Laboratorijska vaga (laboratorijske vage) s prikladnim područjem vaganja  
Preporučuje se relativno razlučivanje od  $10^{-6}$  s odgovarajućom razinom ponovljivosti.
- Vodena kupka sa stabilnom temperaturom u području od 18 °C do 24 °C. Ako je vaga opremljena za vaganje ispod vage, ona se može podići na nosač iznad kupke (vidi sliku B.4) ili se kupka može postaviti na nosivu konstrukciju kako je prikazano na slici B.5
- Nosiva konzola koja se može pričvrstiti na pliticu vage
- Nosači utega različitih veličina s odgovarajućim žicama za vješanje
- Etalonski utezi za umjeravanje vage
- Oruđa za rukovanje utezima (npr. laboratorijske rukavice, odjeća bez dlačica, laboratorijske pincete).

Slika B.5: Prikaz metode B



### B.7.5.3 Mjerni postupak

- Uronite uteg (i/ili garnituru utega) u kupku s destiliranom vodom koja je na temperaturi od 18 °C do 24 °C. Kupka se može staviti na nosivu konstrukciju u skladu sa slikom B.5.
- Pričvrstite konzolu na pliticu vage i objesite nosaj utega na konzolu tankom žicom dostatne čvrstoće tako da držač utega bude potpuno uronjen. Sučelje voda/zrak na žici za vješanje mora biti dobro definirano.
- Tarirajte vagu kako bi očitavala ništicu<sup>6</sup>.
- Uklonite mjehuriće zraka s utega i stavite ga na nosaj.
- Ne remetite žicu za vješanje kako bi se izbjegao prekid meniskusa na vodenoj površini.
- Kad se stabilizira očitajte i zabilježite pokazivanje vage ( $I_{II}$ ).
- Uporabom pinceta vratite uteg na njegovo mjesto u spremištu
- Zabilježite uvjete okoliša laboratorija (temperaturu zraka, tlak i vlažnost) i temperaturu kapljevine.

### B.7.5.4 Rezultati

#### B.7.5.4.1 Metoda B1

Izračun gustoće uporabom nazivne mase ( $m_0$ ) utega. Gustoća se izračunava u skladu s formulom:

$$\rho_t = \frac{\rho_l m_t}{m_t - I_{II} \left( 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ref}} \right)} \quad (\text{B.7.5-1})$$

Mjerna je nesigurnost metode B1 dana izrazom:

$$\left( \frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 = \left( \frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 + \left( c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left( c(I_{II}) \frac{u(I_{II})}{I_{II}} \right)^2 + \left( c(m_t) \frac{u(m_t)}{m_t} \right)^2 + \left( c(I_{II}) \frac{u(m_{cap})}{I_{II}} \right)^2 \quad (\text{B.7.5-2})$$

(6) Napomena: Ako vaga nema funkciju tare,  $I_d$  je razlika između drugog i trećeg vaganja.

pri čemu je:

$$c(m_t) = \frac{m_t(\rho_l - \rho_t)}{\rho_t(m_t - I_{tl})} \quad (\text{B.7.5-3}) \quad c(\rho_a) = \frac{\rho_a I_{tl}}{\rho_{\text{ref}}(I_{tl} - m_t)} \quad (\text{B.7.5-4})$$

$$c(I_{tl}) = \frac{I_{tl}}{m_t - I_{tl}} \quad (\text{B.7.5-5})$$

$u(m_{\text{cap}})$  nesigurnost je zbog površinske napetosti žice za vješanje (vidi također B.7.4.2.2)

Mjerna nesigurnost za metodu B1 obično je jednaka  $\pm 5 \text{ kg m}^{-3}$  ili bolja za veće utege, i do  $\pm 60 \text{ kg m}^{-3}$  za uteg od 1 g, ovisno o veličini utega i pažnji pri rukovanju. Mjerna nesigurnost raste sa smanjenjem veličine utega.

#### B.7.5.4.2 Metoda B2

Gustoća  $\rho_t$  utega ovjerava se usporedbom vrijednosti  $I_{tl}$  s dvije granične vrijednosti  $I_{tl(\text{min})}$  i  $I_{tl(\text{max})}$  za odgovarajuću veličinu utega. Te su granične vrijednosti dane u tablicama u preporuci R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*, za utege razreda od E<sub>1</sub> do F<sub>1</sub>.

#### B.7.5.5 Bilježenje rezultata

Zabilježite mjerne rezultate na formularu iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja*, *Ovjeravanje gustoće – Metoda B i granične vrijednosti gustoće*.

### B.7.6 Ispitna metoda C (Određivanje obujma vaganjem istisnute kapljevine)

Ta metoda nije praktično primjenjiva za utege manje od 1 g.

#### B.7.6.1 Načela

Ta se metoda može provoditi na dva načina:

- 1) ispitnim utegom nepoznate mase, ili
- 2) ispitnim utegom poznate mase.

#### B.7.6.2 Opća razmatranja

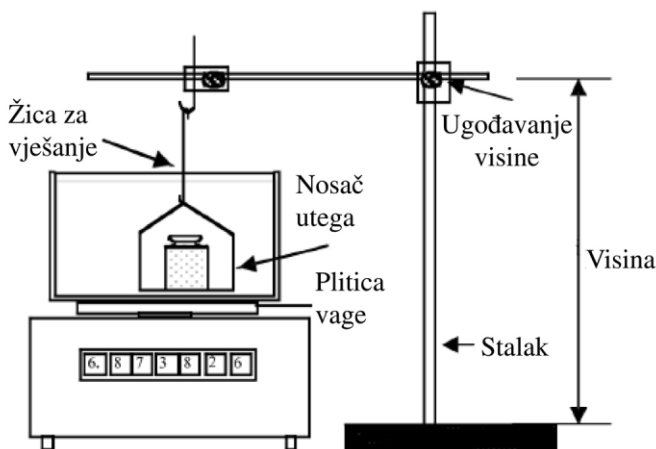
Umjesto mjerenja sile uzgona koja djeluje na uteg u vodi, moguće je odrediti obujam kapljevine koju istisne uronjeni uteg. Iz poznate mase ispitnog utega ( $m_t$ ) može se izračunati njegova gustoća.

#### B.7.6.3 Pomagala

- a) Laboratorijska vaga (laboratorijske vage) s područjem vaganja od 200 g do 100 kg s relativnim razlučivanjem od  $10^{-5}$  ili boljim i odgovarajuće ponovljivosti
- b) Vodena kupka (vodene kupke) prikladne veličine
- c) Stalak s namjestivom visinom za držanje utega obješenih u vodi
- d) Žice za vješanje i nosači utega prikladne veličine
- e) Oruđa za rukovanje utezima (npr. laboratorijske rukavice, odjeća bez dlačica, laboratorijske pincete)
- f) Dobro osvijetljen prostor.

### B.7.6.4 Mjerni postupak

Slika B.6.: Prikaz metode C



- Postavite spremnik s vodom na pliticu vage.
- Objesite nosač utega i žicu za vješanje na odvojeni stalak.
- Tarirajte vagu ako ta funkcija postoji. Ako ne postoji očitajte pokazivanje  $I_1$ .
- Podignite držač iznad vodene površine, postavite uteg na držač i ponovno ga uronite.
- Namjestite visinu tako da žica na kojoj visi presijeca sučelje voda/zrak na istoj visini kao prije.
- Očitajte pokazivanje ( $I_{dl}$ ) (ili  $I_2$  ako vaga nema funkciju tare,  $I_{dl} = I_2 - I_1$ ).
- Zabilježite uvjete okoliša laboratorija, temperaturu zraka, tlak i vlažnost i temperaturu kapljevine.
- Odredite gustoću zraka u laboratoriju ( $\rho_a$ ) i gustoću vode u kupki ( $\rho_l$ ) uporabom jednadžbe (E.3-1) i tablice B.6.

Masa istisnute vode ( $V\rho_l$ ) pokazuje vrijednost utega ( $I_{dl}$ ). Po potrebi provedite ekstrapolaciju zbog isparivanja tijekom vremena od posljednjega tariranja<sup>7</sup>.

### B.7.6.5 Izračuni

Razlika ( $I_{dl}$ ) između dvaju očitavanja jednaka je količini istisnute kapljevine izvagane u zraku. Ako je masa ( $m_t$ ) ispitnog utega već poznata vrijednosti  $I_{dl}$  unose se u jednadžbu (B.7.6-1) kako bi se izračunala gustoća ( $\rho_t$ ) ispitnog utega.

$$\rho_t = \frac{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_l}\right) m_t \times \rho_l}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ref}}\right) \times I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-1})$$

Ako masa  $m_t$  još nije poznata, ispitni se uteg može izračunati pomoću jednadžbi (B.7.6-2) za izračunavanje gustoće ( $\rho_t$ ) pokazana vrijednost ( $I_{ta}$ ) u zraku upotrebom jednadžbi (B.7.6-2) za izračunavanje gustoće

$$\rho_t = \rho_a + (\rho_l - \rho_a) \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-2})$$

(7) Očitajte nekoliko puta kako bi se procijenila brzina isparivanja i ispravite

### B.7.6.6 Mjerna nesigurnost metode C

Za jednadžbu (B.7.6-1):

$$u^2(\rho_t) = c^2(\rho_a)u^2(\rho_a) + c^2(\rho_l)u^2(\rho_l) + c^2(m_t)u^2(m_t) + c^2(I_{dl})u^2(I_{dl}) + c^2(I_{dl})u_{\text{cap}}^2 \quad (\text{B.7.6-3})$$

pri čemu je:

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_t}{\rho_{\text{ref}}} - \frac{m_t}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-4}) \quad c(\rho_l) = \frac{m_t}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-5})$$

$$c(m_t) = \frac{\rho_l}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-6}) \quad c(I_{dl}) = \frac{m_t \rho_l}{I_{dl}^2} \quad (\text{B.7.6-7})$$

Za jednadžbu (B.7.6-2):

$$u^2(\rho_t) = c^2(\rho_a)u^2(\rho_a) + c^2(\rho_l)u^2(\rho_l) + c^2(I_{ta})u^2(I_{ta}) + c^2(I_{dl})u^2(I_{dl}) + c^2(I_{dl})u_{\text{cap}}^2 \quad (\text{B.7.6-8})$$

pri čemu je:

$$c(\rho_a) = 1 - \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-9}) \quad c(\rho_l) = \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-10})$$

$$c(I_{ta}) = \frac{\rho_l}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-11}) \quad c(I_{dl}) = -\frac{I_{ta} \rho_l}{I_{dl}^2} \quad (\text{B.7.6-12})$$

U području od  $1 \text{ g} \leq m_t \leq 1 \text{ kg}$  mjerna se nesigurnost kreće od  $\pm 100 \text{ kg m}^{-3}$  do  $\pm 10 \text{ kg m}^{-3}$ , ovisno o veličini utega i pažnji pri rukovanju. Prije usporedbe izračunane vrijednosti gustoće ( $\rho_t$ ) s najmanjim i najvećim granicama za gustoću iz tablice 5. izmjerena gustoća  $\rho_t$  mora se povećati za nesigurnost koja se dobije od te metode ili za procijenjenu granicu nesigurnosti.

### B.7.6.7 Bilježenje rezultata

Zabilježite mjerne rezultate na formularu iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja – Određivanje gustoće – Metoda C*.

## B.7.7 Ispitna metoda D (Određivanje istisnute kapljevine u posudi stalnog obujam)

### B.7.7.1 Načelo

Velikim je utezima teško rukovati pri hidrostatskome vaganju. Alternativni je način neizravno određivanje njihova obujma vaganjem kapljevine koju oni istisnu uporabom posude čiji se obujam može stalno ugađati.

**B.7.7.1.1** Posuda se napuni vodom do dobro definirane razine i dvaput izvaže, jednom s utegom u vodi i jednom bez utega u vodi. Odgovarajuća su pokazivanja vage  $I_{1+t}$  i  $I_1$ . Grlo spremnika ne smije biti veće od 1 cm, voda se drži na ujednačenoj i stalnoj temperaturi u granicama od  $\pm 0,1$  °C. Treba paziti da obujam utega ne bude premalen u odnosu na primljivost posude, da brtva posude ne propušta i da nema uhvaćenog zraka. Dana stalna gustoća kapljevine ( $\rho_l$ ) čija je gustoća utega ( $I_{1+t} - I_1$ ) izračunava se iz te razlike u skladu s jednadžbom (B.7.7-1), koja je analogna jednadžbi (B.7.5-1).

$$\rho_t = \frac{m_0 \rho_l}{m_0 - (I_{1+t} - I_1) \left( 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{\text{ref}}} \right)} \quad (\text{B.7.7-1})$$

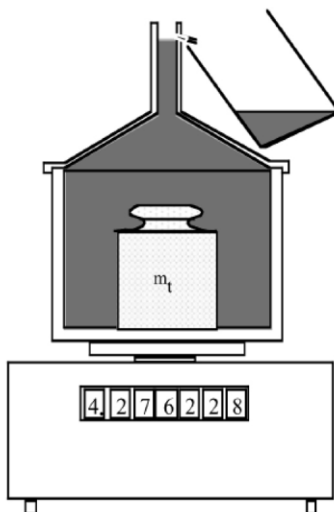


### B.7.7.2 Pomagala

- Laboratorijska vaga (laboratorijske vage) s područjem vaganja od 200 g do 100 kg s relativnim razlučivanjem od  $10^{-6}$  ili boljim
- Prozirna ispitna posuda (ispitne posude) prikladne konstrukcije s mogućnošću točnog upravljanja razinom punjenja
- Oruđa za rukovanje utezima (npr. laboratorijske rukavice, odjeća bez dlačica, laboratorijske pincete)
- Dobro osvijetljen prostor.

### B.7.7.3 Mjerni postupak

Slika B.7. Prikaz metode D



- Postavite uteg u posudu i napunite je pažljivo vodom do dobro definirane razine (npr. do se ne prelije preko ruba).
- Izvažite posudu s utegom i kapljevinom.
- Očitajte i zabilježite pokazivanje  $I_{1+t}$ .
- Uklonite uteg i dodajte vodu iste temperature dok se ne dobije ista razina. Nije potrebno poznavati obujam ako se temperatura vode drži stalnom.
- Izvažite posudu koja sadržava kapljevinu.
- Očitajte i zabilježite pokazivanje  $I_1$ .
- Razlika između očitavanja ( $I_{1+t} - I_1$ ) izazvana je masom utega manje masa istisnute vode<sup>8</sup>.
- Zabilježite uvjete okoliša laboratorija (temperaturu zraka, tlak i vlažnost) i temperaturu kapljevine.
- Odredite gustoću zraka u laboratoriju ( $\rho_a$ ) i gustoću vode u kupki ( $\rho_l$ ) uporabom jednadžbe (E.3-1) i tablice B.6.

(8) Ako se metoda D opetuje, prije ponovnog uranjanja nije potrebno sušiti uteg.

**B.7.7.4 Mjerna nesigurnost metode D**

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(m_t)\frac{u(m_t)}{m_t}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_1)}{\rho_1}\right)^2 + 2(c_1 u_1)^2 + (c_1 u_w)^2 \quad (\text{B.7.7-2})$$

pri čemu je:

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a \rho_t (I_{t+1} - I_1)}{\rho_{\text{ref}} \rho_1 m_t} \quad (\text{B.7.7-3}) \quad c(m_t) = \frac{\rho_t - \rho_1}{\rho_1} \quad (\text{B.7.7-4}) \quad c_1 = \frac{\rho_t}{m_t \rho_1} \quad (\text{B.7.7-5})$$

$u_w$  je doprinos nesigurnosti zbog dviju razina vode s utegom i bez utega.

Nesigurnost je te metode reda veličine  $\pm 15 \text{ kg m}^{-3}$  ili bolja za utege od 1 kg, ali se smanjuje za veće utege pod uvjetom da je grlo spremnika veoma usko, da se voda drži na jednolikoj stalnoj temperaturi u granicama od  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , da obujam utega nije premalen u odnosu na primljivost posude, da brtva posude ne propušta te da nema uhvaćenog zraka.

**B.7.7.5 Bilježenje rezultata**

Zabilježite mjerne rezultate na formularu iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja, Ovjeravanje gustoće – Metoda D*.

**B.7.8 Ispitna metoda E (Određivanje obujma geometrijskom metodom)****B.7.8.1 Načelo**

Obujam utega može se izračunati iz njegovih mjera i odgovarajuće formule. Taj se obujam može podijeliti u nekoliko temeljnih sastavnica koje također mogu uključivati i šupljinu [27]. U nastavku se smatra da su utezi oblikovani u skladu sa slikom A.1 (u ovome slučaju bez šupljine, vidi sliku B.8). Normirane formule za tri relativno jednostavna geometrijska oblika glave A, prstena B i glavnoga tijela C dane su u [27]. U nekim slučajevima uteg može imati udubinu D na svojoj donjoj osnovici. Izračun je obujamskih dijelova izravan.

**B.7.8.1.1** Za metodu E nije potrebno uranjanje utega u vodu, što je prednost za utege sa šupljinom. Međutim postoji opasnost grebanja površine tijekom mjerenja, te se prema tomu ispitna metoda E ne bi trebala upotrebljavati za utege razreda E i F.

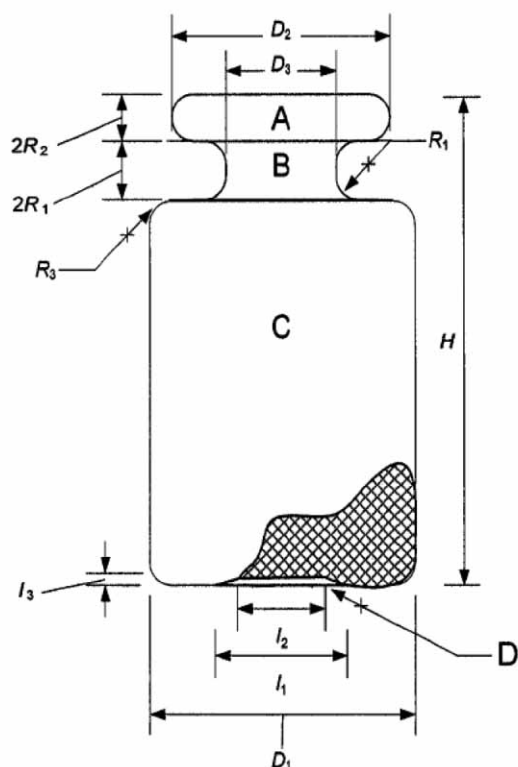
**B.7.8.2 Pomagala**

- Nonij po mogućnosti s razlučivanjem od 0,01 mm
- Mikrometar (za male utege)
- Mjerilo polumjera (alternativno upotrijebite vrijednosti iz tablice A.1)
- Oruđa za rukovanje s utezima (npr. laboratorijske rukavice, odjeća bez dlačica, laboratorijske pincete) i
- Dobro osvijetljen prostor.

**B.7.8.3 Mjerni postupak**

- Izmjerite visine, promjere i polumjere te dimenzije svake šupljine u skladu sa slikom B.8.
- Izračunajte i zbrojite obujme dijelova A, B, C i D u skladu s jednadžbama (B.7.8-1) do (B.7.8-5).
- Izračunajte gustoću iz mase i obujma.

**Tablica B.8.** Prikaz određivanja obujma valjkastog utega (vidi tablicu A.1)



$$V_A = 2\pi R_2 \left( \frac{D_2^2}{4} - R_2 D_2 + R_2^2 + \frac{\pi R_2 D_2}{4} - \frac{\pi R_2^2}{2} + \frac{2R_2^2}{3} \right) \quad (\text{B.7.8-1})$$

$$V_B = \pi R_1 \left( \frac{D_3^2}{2} + 2R_1 D_3 - \frac{\pi R_1 D_3}{2} - \pi R_1^2 + \frac{10R_1^2}{3} \right) \quad (\text{B.7.8-2})$$

$$V_C = \pi \frac{D_1^2}{4} (H - 2(R_1 + R_2)) - \pi R_3^2 \left( 2D_1 - \frac{10R_3}{3} - \frac{\pi D_1}{2} + \pi R_3 \right) \quad (\text{B.7.8-3})$$

$$V_D = \frac{1}{12} l_3 (l_1^2 + l_1 l_2 + l_2^2) \quad (\text{B.7.8-4})$$

$$V_{\text{weight}} = V_A + V_B + V_C \{- V_D\} \quad (\text{B.7.8-5})$$

#### B.7.8.4 Mjerna nesigurnost metode E

Najveći je doprinos nesigurnosti zbog odstupanja stvarnog oblika od matematičkog modela. Za utege oblikovane u skladu s dodatkom A područje nesigurnosti kreće se od  $30 \text{ kg m}^{-3}$  za veće utege do  $600 \text{ kg m}^{-3}$  za manje utege. Za utege sa šupljinama ili drugih oblika nesigurnost može biti dvostruko veća [25].

#### B.7.8.5 Bilježenje rezultata

Zabilježite mjerne rezultate na formularu iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja, Ovjeravanje gustoće – Metoda E*.

## B.7.9 Ispitna metoda F (procjena koja se temelji na poznatome sastavu)

### B.7.9.1 Načelo

Većina utega proizvodi se iz jedne od ograničenoga broja slitina. Točna vrijednost gustoće ovisi o relativnome udjelu sastavnih elemenata u svakoj slitini. Tipična su područja gustoće dana u tablici B.7.

### B.7.9.2 Metoda F1

Ako je poznato da dobavljač dosljedno upotrebljava istu slitinu za posebni razred utega te da je njezina gustoća poznata iz prijašnjih ispitivanja, ta se poznata gustoća može primijeniti uporabom nesigurnosti koja je jednaka jednoj trećini nesigurnosti koja je za istu slitinu dana u tablici B.7.

### B.7.9.3 Metoda F2

Sastav se slitine dobiva od dobavljača dotičnog utega. Vrijednost gustoće određuje se iz fizikalnog/kemijskog priručnika u kojemu su dane tablice gustoće kao funkcija koncentracije elemenata koji se stapaju u tu slitinu. Upotrijebite vrijednost gustoće i nesigurnost iz priručnika i primijenite vrijednost nesigurnosti iz tablice B.7. Za utege razreda E<sub>2</sub> do M<sub>2</sub> prikladne su "pretpostavljene vrijednosti gustoće" iz tablice B.7 u nastavku. Za utege razreda M<sub>3</sub> gustoća obično nije važna.

**Tablica B.7** Metoda F2 – Popis slitina koje se najčešće upotrebljavaju za utege

Slitina/gradivo	Pretpostavljena gustoća	Nesigurnost ( $k = 2$ )
Platina	21 400 kg m <sup>-3</sup>	± 150 kg m <sup>-3</sup>
Nikal-srebro	8 600 kg m <sup>-3</sup>	± 170 kg m <sup>-3</sup>
Mjed	8 400 kg m <sup>-3</sup>	± 140 kg m <sup>-3</sup>
Nehrđajući čelik	7 950 kg m <sup>-3</sup>	± 140 kg m <sup>-3</sup>
Ugljični čelik	7 700 kg m <sup>-3</sup>	± 200 kg m <sup>-3</sup>
Željezo	7 800 kg m <sup>-3</sup>	± 200 kg m <sup>-3</sup>
Lijeivano željezo (bijelo)	7 700 kg m <sup>-3</sup>	± 400 kg m <sup>-3</sup>
Lijeivano željezo (sivo)	7 100 kg m <sup>-3</sup>	± 600 kg m <sup>-3</sup>
Aluminij	2 700 kg m <sup>-3</sup>	± 130 kg m <sup>-3</sup>

### B.7.9.4 Izračuni

#### B.7.9.4.1 Gustoća utega sa šupljinom za ugađanje

Na gustoću utega može također utjecati ugađanje utega s gustim gradivom u šupljini. Ako udio slitine X (gustoće  $\rho_x$ ) iznosi  $x$  posto, a gradiva za ugađanje Y (gustoće  $\rho_y$ )  $y$  posto od konačne mase, gustoća ( $\rho_t$ ) se može izračunati s pomoću sljedeće jednadžbe:

$$\rho_t = \frac{100}{\frac{x}{\rho_x} + \frac{y}{\rho_y}} \quad (\text{B.7.9-1})$$

#### B.7.9.4.2 Gustoća sastavljenog utega

Ista se jednadžba može upotrijebiti i za određivanje konačne vrijednosti gustoće ako dvije različite sastavnice čine uteg ili ako se kao referencija upotrebljavaju dva utega različitih gustoća. Za ugađanje utega preporučuju se kovine volfram (18 800 kg m<sup>-3</sup> ± 200 kg m<sup>-3</sup>), olovo (11 300 kg m<sup>-3</sup> ± 150 kg m<sup>-3</sup>), molibden (10 000 kg m<sup>-3</sup> ± 150 kg m<sup>-3</sup>) i kositar (7 000 kg m<sup>-3</sup> ± 100 kg m<sup>-3</sup>).

**B.7.9.5 Bilježenje rezultata**

Zabilježite mjerne rezultate na formularu iz preporuke R 111-2, *Format ispitnog izvještaja, Ovjeravanje gustoće – Metoda F*.

**B.7.10 Preporučena metoda za određivanje gustoće****Tablica B.8.** Preporučene metode za određivanje gustoće za razrede utega

Uteg	Razred E <sub>1</sub>	Razred E <sub>2</sub>	Razred F <sub>1</sub>	Razredi F <sub>2</sub> , M <sub>1</sub> i M <sub>2</sub>
5 000 kg			E, F	F
2 000 kg				
1 000 kg		E, F		
500 kg				
200 kg				
100 kg				
50 kg	A, C, D	D, E, F	D, E, F	
20 kg				
10 kg	A, B1*, C, D			
5 kg				
2 kg				
1 kg	A, B*, C			
500 g				
200 g				
100 g				
50 g		A, B1*	B, C, F	
20 g				
10 g				
5 g	B*, F1		F	
2 g				
1 g				
500 mg	F1	F		
200 mg				
100 mg				
50 mg				
20 mg				

\*Kad se upotrebljava metoda B za utege razreda E<sub>1</sub>, mora se izračunati vrijednost njihove gustoće iz jednadžbe (B.7.5-1).

*Napomena 1.:* Za utege razreda M<sub>3</sub> gustoća obično nije važna.

*Napomena 2.:* Čišćenje se mora opetovati nakon mjerenja gustoće ako fluid koji se upotrebljava u sustavu gustoće nije voda (drugi fluidi koji se obično upotrebljavaju (npr. flourovodici) ostavljaju ostatak koji se mora ukloniti čišćenjem otapalom, kao npr. alkoholom).

## **B.8 Dodjela razreda prema preporuci OIML 111 (2004) starim i/ili posebnim utezima**

### **B.8.1 Područje primjene**

Ova se točka primjenjuje na utege proizvedene prije 1994. godine (kad je preporuka R 111 (1994.) stupila na snagu) ("utezi proizvedeni prije 94.") ili utege koji imaju posebnu konstrukciju ili nenormiranu nazivnu vrijednost jer su izrađeni za jedinstvenu primjenu.

**B.8.1.1** Za utege "izrađene prije 94." i/ili posebne utege dopuštene su određene iznimke koje se odnose na oblik i hrapavost površine, ali se na njih primjenjuju upute dane u odsječcima B.8.2 i B.8.3. Posebna se razmatranja moraju posvetiti starim utezima, posebno u slučajevima kad postoji opširna dokumentacija o stabilnosti utega. Ipak za razliku od posebnih iznimaka dopuštenih prema odsječcima B.8.2 i B.8.3 u nastavku, i nadalje se primjenjuju svi drugi zahtjevi iz preporuke R 111.

**B.8.1.2** Prema ovome odsječku, starim i/ili posebnim utezima može se dodjeljivati jedna od oznaka razreda od  $E_1$  do  $M_3$ . Općenito je dostatno razvrstati uteg samo jednom. Na naknadna ponovna umjeravanja primjenjuju se dopuštena odstupanja i uvjeti za dotični razred.

### **B.8.2 Iznimke koje se odnose na hrapavost površine**

Stavak 11.1.2 ove preporuke tvrdi da:

*"Vizualno promatranje može biti dostatno osim u slučaju sumnje ili spora. U tome se slučaju moraju upotrebljavati vrijednosti dane u tablici 6. Najveća hrapavost površine dopuštena za utege veće od 50 kg mora biti dvostruko veća od vrijednosti specificirane u tablici 6."*

U skladu sa stavkom 2) iz odsječka B.5.3.1.2.2 kad se mjeri hrapavost, pojedinačne se ogrebotine trebaju zanemariti.

Za utege "izrađene prije 94." i/ili posebne utege hrapavost se smatra prihvatljivom ako odgovarajuća dokumentacija pokazuje da su mase utega stalne i ako za dotični razred hrapavost površine ne prelazi dvostruku graničnu vrijednost iz tablice 6.

### **B.8.3 Prikazivanje**

Za utege "izrađene prije 94." i/ili posebne utege zadovoljeni su zahtjevi točke 14. ove preporuke ako je razred označen na kovčežiću utega. To se primjenjuje za razrede  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  i  $M_1$ . U skladu s podtočkom 13.4.3 utezi razreda  $M_1$  trebaju se označiti kao " $M_1$ " ili " $M$ ".

## Dodatak C

### Umjeravanje utega ili garniture utega (Obvezatno)

#### C.1 Područje primjene

Taj odsječak opisuje dvije metode određivanja dogovorene mase utega u garnituri utega.

- 1) Metodu izravne usporedbe; i
- 2) Metodu potpodjele/umnogostročivanja koja se primjenjuje samo na garnituru utega.

Opisuju se tri ciklusa vaganja, od kojih je svaki oblik susptitucijskog vaganja namijenjen, ali ne i ograničen na vage s jednom zdjelicom.

Prije određivanja mase gustoća utega mora biti poznata sa dostatnom točnošću. Osim toga s dostatnom točnošću moraju biti poznati uvjeti okoliša i mjeriteljske značajke vaga koje se upotrebljavaju pri određivanju mase. Dane su formule za određivanje dogovorene mase i nesigurnosti.

#### C.2 Opći zahtjevi

##### C.2.1 Uvjeti okoliša

Umjeravanje utega treba provoditi u postojećim uvjetima okoliša pod atmosferskim tlakom okoliša i na temperaturama bliskim sobnoj temperaturi. Tipične preporučene vrijednosti dane su u tablici C.1.

**Tablica C.1** Uvjeti okoliša tijekom umjeravanja (Tipične preporučene vrijednosti za dobivanje uspješnih rezultata)

Razred utega	Promjena temperature tijekom umjeravanja
E <sub>1</sub>	± 0,3 °C u satu s najviše ± 0,5 °C u 12 sati
E <sub>2</sub>	± 0,7 °C u satu s najviše ± 1 °C u 12 sati
F <sub>1</sub>	± 1,5 °C u satu s najviše ± 2 °C u 12 sati
F <sub>2</sub>	± 2 °C u satu s najviše ± 3,5 °C u 12 sati
M <sub>1</sub>	± 3 °C u satu s najviše ± 5 °C u 12 sati

Razred utega	Područje relativne vlažnosti ( <i>hr</i> ) zraka
E <sub>1</sub>	40 % do 60 % s najviše ± 5 °C u 4 sata
E <sub>2</sub>	40 % do 60 % s najviše ± 10 °C u 4 sata
F	40 % do 60 % s najviše ± 15 °C u 4 sata

*Napomena 1.:* Važno je također da razlika temperature između utega i zraka u komparatoru mase bude što je moguće manja. Razlika temperature može se smanjiti držanjem referentnog utega i ispitnog utega unutar masenog komparatora prije i tijekom umjeravanja.

*Napomena 2.:* To je promjena temperature laboratorija. Toplinska stabilizacija vaga i utega (vidi B.4.3) također zahtijeva odgovarajuću stabilnost temperature laboratorija tijekom 24 sata prije umjeravanja.

*Napomena 3.:* Gornja granica uglavnom je važna kad se utezi skladište.

**C.2.1.1** Za utege razreda  $E_1$  i  $E_2$  temperatura treba biti u granicama od  $18\text{ }^\circ\text{C}$  do  $27\text{ }^\circ\text{C}$ . Uvjeti okoliša trebaju biti u granicama specifikacija vaga.

**C.2.1.2** Ako gustoća zraka odstupa od  $1,2\text{ kg m}^{-3}$  za više od 10 %, vrijednosti mase trebaju se upotrebljavati u izračunima, a dogovorena se masa treba izračunati iz te mase.

## C.2.2 Vage

Mjeriteljske značajke vaga koje se upotrebljavaju trebaju biti poznate iz prijašnjih mjerenja, a njihovo razlučivanje, linearnost, ponovljivost i ekscentričnost (vidi C.6.4) trebaju biti takvi da se može postići zahtijevana nesigurnost.

## C.2.3 Referentni utezi

Referentni uteg treba općenito biti višeg razreda točnosti (vidi 1.3.1) nego uteg koji se umjerava. Pri umjeravanju utega razreda  $E_1$  referentni uteg treba imati slične ili bolje mjeriteljske značajke (magnetska svojstva, hrapavost površine) nego uteg koji se umjerava.

**C.2.3.1** Moraju biti zadovoljene podtočke 5.2 i 5.3.

## C.3 Planiranje vaganja

### C.3.1 Izravna usporedba

Obično se ispitni uteg treba umjeravati usporedbom s jednim ili više referentnih utega. Pri svakoj usporedbi nazivna masa ispitnog utega i referentnog utega treba biti jednaka. Etalon za provjeru (vidi 2.5) može se upotrijebiti za nadzor nad mjernim procesom [28].

*Napomena:* **Posebni problemi mogu nastati kad se umjeravaju utezi razreda  $E_1$  manji od jednoga grama.** Tome je djelomično uzrok razmjerno velika nesigurnost referentnih utega u tome području. Nadalje nestabilnost vaga i velika površina čimbenici su koji negativno utječu na mjernu nesigurnost. Prema tomu za takve se utege strogo preporučuje potpodjela.

### C.3.2 Potpodjela

Prema jednom ili više referentnih utega može se umjeravati cijela garnitura utega (29, 30, 31, 32). Ta metoda zahtijeva nekoliko vaganja u svakoj dekadi u garnituri. U tim se vaganjima uspoređuju različite kombinacije utega jednake ukupne mase. Ta se metoda uglavnom upotrebljava za umjeravanje garniture utega razreda  $E_1$  kad se zahtijeva najveća točnost. Ako se pri toj metodi upotrebljava samo jedan referentni uteg, broj jednačaba vaganja treba biti veći od broja nepoznatih utega, te se treba provesti odgovarajući izračun ugađanja kako bi se izbjegao prijenos pogriješaka. Ako se upotrebljava više referentnih utega, broj jednačaba može biti jednak broju nepoznatih utega. U tome slučaju nije nužan izračun ugađanja. Prednost takvih metoda leži u činjenici da one uključuju određenu zalihost koja pruža veće povjerenje u rezultate. Međutim te metode, posebno izračun ugađanja, zahtijevaju naprednije matematičke metode [29, 30]. Tipični plan vaganja za garnituru masa od 5, 2, 2\*, 1, 1\* ( $\times 10^n$ ) [30, 31]:



Tablica C.2. Tipični plan vaganja

Referentni uteg	prema	$5 + 2 + 2 + 1^*$
Referentni uteg	prema	$5 + 2 + 2 + 1^*$
5	prema	$2 + 2 + 1^*$
5	prema	$2 + 2 + 1^*$
$2 + 1$	prema	$2^* + 1^*$
$2 + 1$	prema	$2^* + 1^*$
$2 + 1^*$	prema	$2^* + 1$
$2 + 1^*$	prema	$2^* + 1$
2	prema	$1 + 1^*$
2	prema	$1 + 1^*$
$2^*$	prema	$1 + 1^*$
$2^*$	prema	$1 + 1^*$

U tome primjeru referentni uteg treba imati nazivnu vrijednost  $10 (\times 10^n \text{ g})$ . Gdje  $2^*$  može biti neka kombinacija masa sastavljenih kao bi se imala nazivna vrijednost od 2. Uteg  $1^*$  može biti kombinacija utega  $0,5 + 0,2 + 0,2^* + 0,1 (\times 10^n \text{ g})$  ili to može biti etalon za provjeru (vidi 2.5). Neke su usporedbe udvostručene kako bi se pojednostavnili izračuni. Gornji plan vaganja normalno se primjenjuje samo ako se u svim usporedbama upotrebljava ista vaga.

#### C.4 Ciklusi vaganja

Prihvaćeni postupak za tri različita ciklusa vaganja za jedno vaganjem uspoređivanjem opisuje se u nastavku u C.4.1 i C.4.2.

*Napomena:* Drugi postupci i ciklusi vaganja mogu se upotrebljavati. Ako se posebno upotrebljavaju ciklusi vaganja koji nisu međusobno neovisni kao što su  $A_1 B_2 A_2, A_2 B_2 A_3, \dots$  treba izračunati nesigurnost uzimanjem u obzir članova kovarijancije, a formulu danu u C.6.1 treba preinačiti u skladu s [33].

U ciklusima vaganja "A" predstavlja vaganje referentnog utega, a "B" vaganje ispitnog utega. Ciklus ABBA i ABA normalno se upotrebljavaju kad se umjeravaju utezi razreda E i F.

Ciklus  $A_1 B_1, \dots, B_n A$  često se upotrebljava kad se umjeravaju utezi razreda M, ali se općenito ne preporučuje za utege razreda E i F. Ako se međutim upotrebljava komparator mase s automatskim mehanizmom za promjenu vaganja i ako je sustav instaliran u zaštitnome kućištu, taj se ciklus može također prihvatiti za umjeravanje utega razreda E i F.

Ciklusi ABBA i ABA korisni su samo pri vaganju nižekratnika utega. Može se upotrijebiti više referentnih utega, u tome se slučaju za svaki referentni uteg može odvojeno primijeniti ciklus vaganja. Referentni utezi mogu se tada međusobno uspoređivati.

##### C.4.1 Usporedba ispitnog utega s referentnim utegom (preporučuje se za utege razreda E i F)

Može se upotrijebiti niz ciklusa vaganja [34]. Za dva utega moguć je sljedeći ciklus koji je dobro poznat kao ABBA i ABA. Tim se ciklusima uklanja linearno klizenje.

Ciklus ABBA ( $r_1 t_1 t_2 r_2$ ):  $I_{r_1 1}, I_{t_1 1}, I_{r_2 1}, \dots, I_{r_1 n}, I_{t_1 n}, I_{r_2 n}, I_{r_2 n}$ ,

$$\Delta I_i = (I_{t_1 i} - I_{r_1 i} - I_{r_2 i} + I_{r_2 i}) / 2 \quad (\text{C.4.1-1})$$

gdje je  $i = 1, 2, \dots, n$

Ciklus ABA ( $r_1 t_1 r_2$ ):  $I_{r_1 1}, I_{t_1 1}, I_{r_2 1}, \dots, I_{r_1 n}, I_{t_1 n}, I_{r_2 n}, I_{r_2 n}$ ,

$$\Delta I_i = I_{t_1 i} - (I_{r_1 i} + I_{r_2 i}) / 2 \quad (\text{C.4.1-2})$$

gdje je  $i = 1, 2, \dots, n$

U ciklusima ABBA i ABA  $n$  je broj nizova. Vrijednosti broja  $i$  dane su redom kojim bi se utezi trebali stavljati na pliticu vage. Indeksi "r" i "t" označuju redom referentni i ispitni uteg.  $\Delta I_i$  je razlika pokazivanja od mjernog niza  $i$ .

**C.4.1.1** Vremenski odsječak između vaganja treba biti stalan.

**C.4.1.2** Ako postoji potreba za određivanjem osjetljivosti vage tijekom procesa vaganja, niz ABBA može se preinačiti u  $I_r, I_t, I_{t+ms}, I_{r+ms}$ , gdje je "ms" uteg osjetljivosti.

**C.4.2** Usporedba nekoliko ispitnih utega iste nazivne mase s jednim referentnim utegom (ciklus  $A_1 B_1, \dots, B_n A$ ). Ako se nekoliko ispitnih utega  $t(j)$  ( $j = 1, \dots, J$ ) iste nazivne mase umjerava istodobno, ciklus vaganja ABA može se preinačiti u  $A_1 B_1, \dots, B_n A$  na sljedeći način:

Ciklus  $A_1 B_1, \dots, B_n A$ :  $I_{r_1 1}, I_{t(1) 1}, I_{r_2 1}, \dots, I_{t(J) 1}, I_{r_2 1}, I_{r_1 2}, I_{t(J-1) 2}, \dots, I_{t(1) 2}, I_{r_2 2}, \dots$

$$[I_{r_1 i-1}, I_{t(1) i-1}, I_{r_2 i-1}, \dots, I_{t(J) i-1}, I_{r_2 i-1}, I_{r_1 i}, I_{t(J) i}, I_{t(J-1) i}, I_{r_1 i}, I_{r_2 i}]$$

gdje je  $i = 1, 2, \dots, n$

$$\Delta I_{i(j)} = I_{t(j) i} - (I_{r_1 i} + I_{r_2 i}) / 2 \quad (\text{C.4.2-1})$$

gdje je  $i = 1, 2, \dots, n$

Ako je klizenje pokazivanja vaganja zanemarivo, tj. ako je manje od jedne trećine zahtijevane nesigurnost ili jednako njoj, nije nužno preokretati red ispitnih utega u  $A_1 B_1, \dots, B_n A$  kad se opetuje niz.

Broj utega ne smije normalno biti veći od 5 ( $J \leq 5$ )

### C.4.3 Broj ciklusa vaganja

Broj ciklusa vaganja  $n$  treba se temeljiti na zahtijevanoj nesigurnosti i na ponovljivosti i obnovljivosti mjerenja. Najmanji broj mjerenja koja treba izvesti za utege razreda  $E_1$  do  $M_3$  dan je tablicom C.3.

**Tablica C.3.** Najmanji broj ciklusa vaganja

Razred	$E_1$	$E_2$	$F_1$	$E_2$	$M_1, M_2, M_3$
Najmanji broj ABBA	3	2	1	1	1
Najmanji broj ABA	5	3	2	1	1
Najmanji broj $A_1 B_1, \dots, B_n A$	5	3	2	1	1

## C.5 Analiza podataka

### C.5.1 Prosječna razlika dogovorene mase – jedan ispitni uteg

Za cikluse ABBA i ABA dogovorena razlika mase ( $\Delta m_c$ ) između ispitnog utega i referentnog utega ciklusa  $i$  jednaka je:

$$\Delta m_c = m_{ct} - m_{cr} \quad (\text{C.5.1-1})$$

$$\Delta m_{ci} = \Delta I_i - m_{cr} C_i \quad (\text{C.5.1-2})$$

gdje je: 
$$C_i = (\rho_{ai} - \rho_0) \times \left( \frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right) \quad (\text{C.5.1-3})$$

Prosječna vrijednost dogovorene mase za  $n$  ciklusa jednaka je:

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_{ci} \quad (\text{C.5.1-4})$$

**C.5.1.1** Ako gustoća ( $\rho_t$  ili  $\rho_r$ ) utega nije poznata, ali je poznato gradivo, treba se upotrebljavati prikladna pretpostavljena gustoća iz tablice B.7. Ako je samo poznato da je gustoća utega u dopuštenim granicama, treba se upotrebljavati vrijednost od 8 000 kg m<sup>-3</sup>.

**C.5.1.2** U slučajevima gdje se procjenjuje da je ispravak zbog uzgona zraka zanemariv, tj. ako je

$$|C_i| \leq \frac{1}{3} \frac{U}{m_0} \quad (\text{C.5.1-5})$$

član  $m_0 C_i$  može se ispustiti. Međutim doprinos nesigurnosti ispravka  $C$  ne mora biti zanemariv (vidi C.6.3.1 u nastavku). Samo ako je prosječna ili pojedinačna vrijednost gustoće zraka dostupna, ispravak zbog uzgona  $m_{cr} C$  može se primijeniti nakon uprosječenja.

### C.5.2 Prosječna razlika dogovorene mase – više ispitnih utega

Ako se umjerava nekoliko ispitnih utega u skladu s ciklusom vaganja  $A_1 B_1, \dots, B_n A$ , prosječna razlika mase utega  $j$  dobije se iz jednadžbe (C.5.1-4) zamjenom  $\Delta I_i$  s  $\Delta I_{i(j)}$  u jednadžbi (C.5.1-2).

### C.5.3 Prosječna razlika dogovorene mase – više nizova mjerenja

Ako se provede nekoliko nizova istovjetnih mjerenja ( $J$ ) s prosječnim vrijednostima  $\Delta m_{cj}$  i približno jednakih standardnih odstupanja, prosječna vrijednost svih mjerenja jednaka je:

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \overline{\Delta m_{cj}} \quad (\text{C.5.3-1})$$

**C.5.3.1** Više nizova mjerenja obično se provodi samo pri umjeravanju utega razreda E kad se treba istražiti obnovljivost vaganja.

### C.5.4 Dogovorena masa ispitnog utega

Dogovorena masa ispitnog utega može se izračunati iz formule:

$$m_{ct} = m_{cr} - \overline{\Delta m_c} \quad (\text{C.5.4-1})$$

**C.5.4.1** Pri ovjeravanju dogovorena masa referentnog utega nije uvijek poznata. U tome se slučaju treba upotrebljavati njezina nazivna vrijednost.

## C.6 Izračunavanje nesigurnosti

Izračunavanje nesigurnosti temelji se na *Uputama za iskazivanje mjerne nesigurnosti* i odgovarajućemu dokumentu Europske suradnje na akreditaciji (EA). U bibliografskim jedinicama izračuni nesigurnosti primjenjuju se za usporedbu masa. Nesigurnost se određuje metodom tipa A ili tipa B. Određivanjem metodom tipa A temelji se na statističkoj analizi niza mjerenja, pri čemu se određivanje tipa B temelji na drugome znanju.

### C.6.1 Standardna nesigurnost procesa vaganja $u_w(\overline{\Delta m_c})$ (tipa A)

Standardna nesigurnost procesa vaganja  $u_w(\overline{\Delta m_c})$  standardno je odstupanje razlike mase. Za  $n$  ciklusa mjerenja:

$$u_w(\overline{\Delta m_c}) = \frac{s(\Delta m_{ci})}{\sqrt{n}} \quad (\text{C.6.1-1})$$

gdje se  $s(\Delta m_{ci})$  definira u nastavku za različite razrede utega.

**C.6.1.1** Za utege razreda  $F_2$ ,  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$  često se primjenjuju ciklusi ABBA, ABA ili  $AB_1 \dots B_n A$ . Za te utege razreda ako standardno odstupanje mjerenja razlike mase nije poznato iz povijesnih podataka, ono se može procijeniti kao:

$$s(\Delta m_{ci}) = \frac{\max(\Delta m_{ci}) - \min(\Delta m_{ci})}{2 \times \sqrt{3}} \quad (\text{C.6.1-2})$$

od  $n \geq 3$  mjerna ciklusa.

Standardno se odstupanje može također izračunati kako je opisano u C.6.1.2.

**C.6.1.2** Za utege razreda  $E_1$ ,  $E_2$  i  $F_1$  varijancija razlike mase ( $\Delta m_c$ ) procesa vaganja procjenjuje se iz  $n$  ciklusa mjerenja:

$$s^2(\Delta m_c) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta m_{ci} - \overline{\Delta m_c})^2 \quad (\text{C.6.1-3})$$

s  $n - 1$  stupnjeva slobode.

**C.6.1.3** Ako se provedi svega nekoliko mjerenja, procjena  $s(\Delta m_c)$  može biti nepouzdana. Treba se upotrebljavati skupna procjena dobivena iz prijašnjih mjerenja izvedenih pod sličnim uvjetima (vidi D.1.2). Ako to nije moguće,  $n$  treba biti manje od 5.

**C.6.1.4** U slučaju gdje postoji niz od  $J$  mjerenja (gdje je  $J > 1$ ) varijancija razlike mase ( $\Delta m_c$ ) izračunava se prikupljanjem  $J$  nizova tako da:

$$s^2(\Delta m_c) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J s_j^2(\Delta m_{ci}) \quad (\text{C.6.1-4})$$

s  $J(n - 1)$  stupnjeva slobode (D.2).

*Napomena:* Indeks "j" dodan je u izrazu  $s_j^2(\Delta m_{ci})$  kako bi se međusobno razlikovala standardna odstupanja u nizu.

### C.6.2 Nesigurnost referentnog utega ( $u(m_{cr})$ ) (tipa B)

Standardna nesigurnost  $u(m_{cr})$  mase referentnog utega treba se izračunati iz potvrde o umjeravanju dijeljenjem navedene povećane nesigurnosti  $U$  faktorom pokrivanja  $k$  (obično je  $k = 2$ ) te se treba sastavljati s nesigurnošću izazvanom nestabilnošću mase referentnog utega [ $u_{inst}(m_{cr})$ ].

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inst}^2(m_{cr})} \quad (C.6.2-1)$$

Nesigurnost zbog nestabilnosti referentnog utega [ $u_{inst}(m_{cr})$ ] može se procijeniti iz opaženih promjena mase nakon što se referentni uteg umjeri nekoliko puta. Ako prethodne vrijednosti umjeravanja nisu dostupne, procjena nesigurnosti treba se temeljiti na iskustvu.

**C.6.2.1** Ako se kao referentni uteg upotrebljava ovjereni uteg razreda točnosti  $F_1$  ili nižeg i ako ima potvrdu o sukladnosti prema preporuci OIML R 111 koja ne utvrđuje njegovu masu i nesigurnost, nesigurnost se može procijeniti iz najveće dopuštene pogreške  $\delta m$  toga posebnog razreda:

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\frac{\delta m^2}{3} + u_{inst}^2(m_{cr})} \quad (C.6.2-2)$$

**C.6.2.2** Ako se za usporedbu mase upotrebljava kombinacija referentnih utega i ako su poznate njihove kovarijancije, može se pretpostaviti da je koeficijent korelacije jednak 1 [37]. To će dovesti do linearnog zbrajanja nesigurnosti:

$$u(m_{cr}) = \sum_i u(m_{cr_i}) \quad (C.6.2-3)$$

gdje je  $u(m_{cr_i})$  standardna nesigurnost referentnog utega  $i$ . To je gornja granica nesigurnosti.

### C.6.3 Nesigurnost ispravka zbog uzgona zraka ( $u_b$ ) (tipa B)

Nesigurnost ispravka zbog uzgona zraka može se izračunati iz jednadžbe (C.6.1-1) [38].

$$u_b^2 = \left[ m_{cr} \frac{(\rho_r - \rho_t)}{\rho_r \rho_t} u(\rho_a) \right]^2 + [m_{cr}(\rho_a - \rho_0)]^2 \frac{u^2(\rho_t)}{\rho_t^4} + m_{cr}^2 (\rho_a - \rho_0) [(\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{al} - \rho_0)] \frac{u^2(\rho_r)}{\rho_r^4} \quad (C.6.3-1)$$

gdje je  $\rho_{al}$  gustoća zraka tijekom (prijašnjeg) umjeravanja referentnog utega utegom višeg referentnog reda. Kad se upotrebljava jednadžba (C.6.3-1), treba biti siguran u uporabu iste vrijednosti za nesigurnost gustoće referentnog utega ( $u(\rho_r)$ ) koja se upotrebljava u izračunu nesigurnosti prijašnjeg umjeravanja. Veće nesigurnosti ne mogu se navoljno odabirati.

**C.6.3.1** Čak i ako je zanemariv ispravak zbog uzgona zraka (vidi C.5.1.2), doprinos nesigurnosti djelovanja uzgona može se zanemariti te se mora uzeti u obzir ako je  $u_b \geq u_c / 3$  (vidi jednadžbu (C.6.3-1)).

**C.6.3.2** Za utege razreda  $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$  nesigurnost je zbog uzgona zraka zanemariva i može se obično izostaviti.

**C.6.3.3** Za utege razreda  $F_1$  i  $F_2$  gustoće utega trebaju biti poznate sa zadovoljavajućom točnošću (vidi tablicu 5.).

**C.6.3.4** Gustoća se zraka ne mjeri te se upotrebljava prosječna gustoća zraka na terenu, tada se nesigurnost za gustoću zraka procjenjuje kao:

$$u(\rho_a) = \frac{0.12}{\sqrt{3}} \text{ [kg m}^{-3}\text{]} \quad (C.6.3-2)$$

Ako se ne mogu dobiti podatci na kojima se temelji, može se upotrebljavati donja vrijednost nesigurnosti.

Na morskoj razini treba pretpostavljati da je gustoća zraka jednaka  $1,2 \text{ kg/m}^3$ .

**C.6.3.5** Za utege razreda E treba odrediti gustoću zraka. Njezina se nesigurnost obično procjenjuje iz nesigurnosti temperature, tlaka i vlažnosti zraka. Za utege razreda E<sub>1</sub> može se upotrebljavati formula CIPM-a (1981/1991) [3] ili aproksimacija za izračun gustoće zraka (vidi dodatak E).

**C.6.3.6** Varijancija gustoće zraka jednaka je:

$$u^2(\rho_a) = u_F^2 + \left( \frac{\partial \rho_a}{\partial p} u_p \right)^2 + \left( \frac{\partial \rho_a}{\partial t} u_t \right)^2 + \left( \frac{\partial \rho_a}{\partial hr} u_{hr} \right)^2 \quad (\text{C.6.3-3})$$

Pri relativnoj vlažnosti od  $hr = 0,5$  (50 %) temperatura od 20 °C i tlak od 101 325 Pa primjenjuju se sljedeće približne vrijednosti:

$u_F =$  [upotrebljava se nesigurnost formule] (za formulu CIPM-a:  $u_F = 10^{-4} \rho_a$ )

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial p} = 10^{-5} \rho_a \text{ Pa}^{-1}$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial t} = -3,4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1} \rho_a$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial hr} = -10^{-2} \rho_a$$

gdje je  $hr$  = relativna vlažnost kao udio.

**C.6.3.7** Gustoća referentnog utega ( $\rho_r$ ) i njezina nesigurnost trebaju biti poznate iz njegove potvrde o umjeravanju.

**C.6.3.8** Za utege razreda E<sub>2</sub> gustoća ( $\rho_r$ ) nije uvijek poznata, tako da se mora mjeriti ili uzeti iz tablice B.7 u B.7.9.3.

## C.6.4 Nesigurnost vage $u_{ba}$ (tipa B)

### C.6.4.1 Nesigurnost zbog ispitivanja vaga i masenih komparatora

Preporučeni je pristup za određivanje te sastavnice ispitivanje vaga i masenih komparatora u prihvatljivu vremenskom odsječku i uporaba rezultata iz tog ispitivanja u izračunima nesigurnosti. Kad se umjeravaju utezi razreda E<sub>1</sub>, preporučuje se da se provodi nekoliko ispitnih mjerenja u različito vrijeme kako bi se osiguralo da postoji dosta podataka o nesigurnosti u vrijeme mjerenja.

### C.6.4.2 Nesigurnost zbog osjetljivosti vage

Ako se vaga umjerava osjetljivim utegom (ili utezima) mase  $m_s$ , i standardnom nesigurnošću  $u(m_s)$ , doprinos nesigurnosti zbog osjetljivosti jednak je:

$$u_s^2 = \overline{(\Delta m_c)}^2 \left( \frac{u^2(m_s)}{m_s^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2} \right) \quad (\text{C.6.4-1})$$

gdje je:  $\Delta I_c$  promjena pokazivanja vage zbog osjetljivosti utega

$u(\Delta I_c)$  je nesigurnost  $\Delta I_c$  i

$\overline{\Delta m_c}$  prosječna razlika mase između ispitnog utega i referentnog utega.

Ako osjetljivost nije stalna u odnosu na vrijeme, temperaturu i tlak, njezina varijacija mora biti uključena u nesigurnost.

### C.6.4.3 Nesigurnost zbog razlučivanja predočnika digitalne vage

Za digitalne vage s odsječkom ljestvice ( $d$ ) nesigurnost razlučivanja jednaka je:

$$u_d = \frac{d/2}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} \quad (\text{C.6.4-2})$$

Faktor  $\sqrt{2}$  dolazi od dvaju očitavanja, jednog s referentnim utegom, a drugoga s ispitnim utegom.

#### C.6.4.4 Nesigurnost zbog ekscentričnosti

Ako je poznato da je taj doprinos važan, njegova se vrijednost mora procijeniti i, ako je potrebno, njegov se doprinos mora uključiti u budžet nesigurnosti.

##### C.6.4.4.1 Prihvatljivo rješenje nesigurnosti zbog ekscentričnosti

$$u_E = \frac{\frac{d_1}{d_2} \times D}{2 \times \sqrt{3}} \quad (\text{C.6.4-3})$$

gdje je:  $D$  razlika između najveće i najmanje vrijednosti zbog ispitivanja ekscentričnosti koja se provode u skladu s OIML R 76-2

$d_1$  je procijenjena udaljenost središta utega i

$d_2$  je udaljenost središta prijavnika tereta u odnosu na kutove.

U većini slučajeva doprinos nesigurnosti  $u_E$  već je obuhvaćen nesigurnošću  $u_w$  procesa vaganja (vidi 6.1) te se može zanemariti.

**C.6.4.4.2** Kad se upotrebljavaju vage s automatskim mehanizmom za zamjenu utega razlike pokazivanja ( $\Delta I$ ) između dvaju utega mogu se razlikovati kad se zamijene njihovi položaji:  $\Delta I_1 \neq \Delta I_2$ . To se može tumačiti kao pogreška ekscentričnog opterećenja i odgovarajuća se nesigurnost treba procijeniti uporabom jednadžbe (C.6.4-4). Taj doprinos nesigurnosti primjenjiv je ako je poznat iz prijašnjih zamjenskih mjerenja s utezima iste nazivne vrijednosti. U slučajevima kad se zamjena provodi tijekom postupka umjeravanja, kao rezultat vaganja mora se uzeti prosječna razlika vrijednosti dvaju pokazivanja te se  $u_E$  može zanemariti.

$$u_E = \frac{|\Delta I_1 - \Delta I_2|}{2} \quad (\text{C.6.4-4})$$

*Napomena:* Jednadžba (C.6.4-4) ima isti matematički temelj kao i jednadžba (15) i napomena 6. u preporuci OIML R 28.

#### C.6.4.5 Nesigurnost zbog magnetizma ( $u_{ma}$ )

Ako uteg ima veliku magnetsku susceptibilnost i/ili ako je magnetiziran, magnetsko se djelovanje često može smanjiti stavljanjem nemagnetskog odvajača između utega i prijavnika tereta. Ako utezi zadovoljavaju zahtjeve ove preporuke, nesigurnost zbog magnetizma ( $u_{ma}$ ) može se smatrati jednakom ničiti.

#### C.6.4.6 Sastavljena standardna nesigurnost zbog vage ( $u_{ba}$ )

Sastavnice nesigurnosti zbrajaju se kvadratično na sljedeći način:

$$u_{ba} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2 + u_{ma}^2} \quad (\text{C.6.4-5})$$

### C.6.5 Povećana nesigurnost zbog vage $U(m_{ct})$

Sastavljena standardna nesigurnost dogovorene mase ispitnog utega dana je izrazom:

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m_c}) + u^2(m_{cr}) + u_b^2 + u_{ba}^2} \quad (\text{C.6.5-1})$$

Ako nije primijenjen ispravak zbog uzgona  $m_{cr}C$  (C.5.1.2) osim nesigurnosti  $u_b$ , sastavljenoj nesigurnosti treba pribrojiti i odgovarajući doprinos zbog uzgona (vidi jednadžbu (15) i napomenu 6 u [3]):

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m_c}) + u^2(m_{cr}) + u_b^2 + (m_{cr}C)^2 + u_{ba}^2} \quad (\text{C.6.5-2})$$

Povećana nesigurnost  $U$  dogovorene mase ispitnog utega je sljedeća:

$$U(m_{ct}) = k u_c(m_{ct}) \quad (\text{C.6.5-3})$$

Obično treba upotrebljavati faktor pokrivanja  $k = 2$ . Međutim ako je skupno standardno odstupanje procesa vaganja nepoznato i ako se broj mjerenja ne može razumno povećati do 10 (zbog veoma velikih utega i dugih postupaka vaganja), a nesigurnost  $u_w(\Delta m)$  je dominantna sastavnica u analizi nesigurnosti, tj.  $u_w(\Delta m) > u_c(m_t)/2$ , faktor pokrivanja ( $k$ ) tada treba izračunati iz  $t$ -razdiobe uz pretpostavku razine povjerenja od 95,5 % i stvarnog broja stupnjeva slobode ( $v_{\text{eff}}$ ) (izračunanog iz Welch-Satterthwaitove formule). Faktor pokrivanja  $k$  za različite brojeve stupnjeva slobode  $v_{\text{eff}}$  dan je u tablici C.4 u nastavku. Ako se može pretpostaviti da su procjene nesigurnosti tipa B konzervativne s beskonačnim brojem stupnjeva slobode, formula ima oblik:

$$v_{\text{eff}} = (n - 1) \times \frac{u_c^4(m_{ct})}{u_w^4(\overline{\Delta m_c})} \quad (\text{C.6.5-4})$$

Više o tome vidi u [8].

**Tablica C.4.** Faktor pokrivanja  $k$  za različite brojeve stupnjeva slobode ( $v_{\text{eff}}$ )

$v_{\text{eff}}$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	$\infty$
$k$	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,37	2,28	2,13	2,00



## Dodatak D

### Statističko upravljanje (Obavijesni)

#### D.1 Etalon za provjeru

**D.1.1** Etalon za provjeru obično je uteg istoga tipa i nazivne mase kao ispitni uteg koji se umjerava i uključuje u plan vaganja »nepoznatoga« utega. Upravljački postupak djeluje najbolje s planovima vaganja u kojima se etalon za provjeru može lako ugraditi u plan kao nepoznati uteg. Naprimjer za ispitne utege u denominacijama od 5, 2, 2, 1, etalon za provjeru denominacije "1" u plan bi vaganja bio uključen tako da bi uteg koji se umjerava bili utezi 5, 2, 2, 1, 1. Za kilogramske utege koji se umjeravaju prema dvama referentnim kilogramima u planu 1, 1, 1, 1 etalon za provjeru (vidi 2.5) može biti razlika između dvaju referentnih kilograma.

**D.1.2** Svrha je etalona za provjeru osigurati dobrotu pojedinačnih umjeravanja. Za tu se svrhu zahtijeva povijest vrijednosti etalona za provjeru. Prihvaćena vrijednost razlike masa  $\bar{m}_{\text{diff}}$  za etalon za provjeru (obično prosječna) izračunava se iz povijesnih podataka i temelji se na barem 10 do 15 mjerenja. Za svako novo umjeravanje ( $m_{\text{diff}}$ ) ispituje se vrijednost etalona za provjeru radi slaganja s prihvaćenom vrijednošću uporabom metoda statističkog upravljanja. Provjera se temelji na  $t$ -statistici:

$$t = \frac{|m_{\text{diff}} - \bar{m}_{\text{diff}}|}{S} \quad (\text{D.1.2-1})$$

Gdje je:  $S$  standardno odstupanje  $n$  povijesnih vrijednosti razlike mase koja se procjenjuju s  $v = n - 1$  stupnjeva slobode s pomoću izraza:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_{\text{diff}} - \bar{m}_{\text{diff}})^2} \quad (\text{D.1.2-2})$$

Proces umjeravanja prosuđuje se da je u stanju upravljanja ako je:

$$t \leq \text{kritične Studentove } t\text{-razdiobe s } v \text{ stupnjeva slobode.}$$

**D.1.3** Kritične vrijednosti koje ovise o brojevima stupnjeva slobode u  $S$  prikazane su u tablici D.1 za dvostranu provjeru na razini značajnosti  $\alpha = 0,05$ . Ako je broj stupnjeva slobode velik ( $> 15$ ), prihvatljivo je upotrijebiti faktor 2 umjesto kritične vrijednosti iz tablice. Ako se prosudi da je umjeravanje izvan upravljanja iz  $t$ -provjere, mora se istražiti uzrok i ispraviti prije nego što se iskažu rezultati umjeravanja. Ta je provjera snažna za nedostatak ili iznenadne pomake u srednjoj vrijednosti i vrijednosti procesa, uključujući promjene vrijednosti referentnog utega reda dvaju ili više standardnih odstupanja.

**D.1.4** Prihvaćena vrijednost etalona za provjeru posuvremenjuje se kako se prikupljaju podatci o njemu. Nekoliko pristupa može se primjenjivati, međutim podatci se uvijek trebaju nacrtati i ispitati klizenje ili promjena. Vrijednost etalona za provjeru promijenila se od njegove "stare" na "novu" vrijednost ( $\bar{m}_{\text{diff}}$ ) na temelju najnovijih 10 – 15 mjerenja ako je:

$$t = \frac{m_{\text{diff}} - \bar{m}'_{\text{diff}}}{\sqrt{\frac{S_{\text{old}}^2}{J} - \frac{S_{\text{new}}^2}{K}}} > t_{\alpha/2}(v) \quad (\text{D.1.4-1})$$

gdje su  $J$  i  $K$  redom broj "starih" i "novih" mjerenja, a  $v = J + K - 2$ .

## D.2 Preciznost vage

Preciznost se vage također može nadzirati uporabom metode statističkog upravljanja. Preostalo standardno odstupanje od plana vaganja ili standardno odstupanje opetovanih mjerenja na jednome utegu temelj je za ispitivanje. Ponovno se ispitivanje temelji na povijesti standardnih odstupanja na istoj vagi. Ako iz povijesnih podataka postoji  $m$  standardnih odstupanja  $s_1, s_2, \dots, s_m$  skupno standardno odstupanje:

$$s_P = \sqrt{\frac{1}{m} \sum s_i^2} \quad (\text{D.2-1})$$

najbolja je procjena standardnog odstupanja vage. Gornja jednadžba pretpostavlja da pojedinačna standardna odstupanja imaju  $v$  stupnjeva slobode, pri čemu skupno standardno odstupanje ima  $m \cdot v$  stupnjeva slobode. Za svaki novi plan ili niz mjerenja preostalo se standardno odstupanje ( $s_{\text{new}}$ ) može ispitati u odnosu na skupnu vrijednost. Ispitna je statistika:

$$F = \frac{s_{\text{new}}^2}{s_P^2} \quad (\text{D.2-2})$$

**D.2.1** Normalno se samo ispituje sniženje preciznosti. Prosuduje se da je preciznost vage u stanju upravljanja ako je:

$$F \leq \text{kritična vrijednost iz } F\text{-razdiobe}$$

s  $v$  stupnjeva slobode za  $s_{\text{new}}$  i  $m \cdot v$  stupnjeva slobode za  $s_P$ . Kritične vrijednosti statistike  $F$  za jednostranu provjeru pri razini značajnosti  $\alpha = 0,05$  navedene su u tablici D.2. Ako se prosudi da je došlo do narušavanja standardnog odstupanja, mora se istražiti uzrok i učiniti ispravak.

**Tablica D.1** Kritične vrijednosti Studentove  $t$ -razdiobe za dvostranu provjeru s  $\alpha = 0,05$

*Napomena:*  $v$  = broj stupnjeva slobode

$V$	Kritična vrijednost	$V$	Kritična vrijednost	$V$	Kritična vrijednost	$V$	Kritična vrijednost	$V$	Kritična vrijednost
1	12,706	11	2,201	21	2,080	31	2,040	41	2,020
2	4,303	12	2,179	22	2,074	32	2,037	42	2,018
3	3,182	13	2,160	23	2,069	33	2,035	43	2,017
4	2,776	14	2,145	24	2,064	34	2,032	44	2,015
5	2,571	15	2,131	25	2,060	35	2,030	45	2,014
6	2,447	16	2,120	26	2,056	36	2,028	46	2,013
7	2,365	17	2,110	27	2,052	37	2,026	47	2,012
8	2,306	18	2,101	28	2,048	38	2,024	48	2,011
9	2,262	19	2,093	29	2,045	39	2,023	49	2,010
10	2,228	20	2,086	30	2,042	40	2,021	50	2,009

**Tablica D.2** Kritične vrijednosti  $F$ -razdiobe za jednostranu provjeru da  $s_{\text{new}}$  ( $v$  stupnjeva slobode) ne prelazi  $s_p(mv, v)$  na razini značajnosti  $\alpha = 0,05$

$F(\alpha, v, v-m)$ $\alpha = 0,05$	$v$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m$										
1	161,448	19,000	9,277	6,388	5,050	4,284	3,787	3,438	3,179	2,978
2	18,513	6,944	4,757	3,838	3,326	2,996	2,764	2,591	2,456	2,348
3	10,128	5,143	3,863	3,259	2,901	2,661	2,488	2,25	2,250	2,165
4	7,709	4,459	3,490	3,007	2,711	2,508	2,359	2,244	2,153	2,077
5	6,608	4,103	3,287	2,866	2,603	2,421	2,285	2,180	2,096	2,026
6	5,987	3,885	3,160	2,776	2,534	2,364	2,237	2,138	2,059	1,993
7	5,591	3,739	3,072	2,714	2,485	2,324	2,203	2,109	2,032	1,969
8	5,318	3,634	3,009	2,668	2,449	2,295	2,178	2,087	2,013	1,951
9	5,117	3,555	2,960	2,634	2,2722	2,272	2,159	2,070	1,998	1,938
10	4,965	3,493	2,922	2,606	2,400	2,254	2,143	2,056	1,986	1,927
11	4,844	3,443	2,892	2,584	2,383	2,239	2,131	2,045	1,976	1,918
12	4,747	3,403	2,866	2,565	2,368	2,227	2,121	2,036	1,968	1,910
13	4,667	3,369	2,845	2,550	2,356	2,217	2,112	2,029	1,961	1,904
14	4,600	3,340	2,827	2,537	2,346	2,209	2,104	2,022	1,955	1,899
15	4,543	3,316	2,812	2,525	2,337	2,201	2,098	2,016	1,950	1,894
16	4,494	3,295	2,798	2,515	2,329	2,195	2,092	2,011	1,945	1,890
17	4,451	3,276	2,786	2,507	2,322	2,189	2,087	2,007	1,942	1,887
18	4,414	3,259	2,776	2,499	2,316	2,184	2,083	2,003	1,938	1,884
19	4,381	3,245	2,766	2,492	2,310	2,179	2,079	2,000	1,935	1,881
20	4,351	3,232	2,758	2,486	2,305	2,175	2,076	1,997	1,932	1,878
30	4,171	3,150	2,706	2,447	2,274	2,149	2,053	1,977	1,915	1,862
40	4,085	3,111	2,680	2,428	2,259	2,136	2,042	1,967	1,906	1,854
50	4,034	3,087	2,665	2,417	2,250	2,129	2,036	1,962	1,901	1,850
60	4,001	3,072	2,655	2,409	2,124	2,124	2,031	1,958	1,897	1,846
70	3,978	3,061	2,648	2,404	2,40	2,120	2,028	1,955	1,895	1,844
80	3,960	3,053	2,642	2,400	2,237	2,117	2,026	1,953	1,893	1,843
90	3,947	3,046	2,638	2,397	2,234	2,115	2,024	1,951	1,891	1,841
100	3,936	3,041	2,635	2,394	2,3942	2,114	2,023	1,890	1,890	1,840
$\infty$	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,88	1,880	1,831

## Dodatak E

### Formula CIPM-a i aproksimacijska formula (Obavijesni)

#### E.1 Formula CIPM-a

Godine 1981. Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) [39] preporučio je da se za određivanje gustoće ( $\rho_a$ ) vlažnog zraka upotrebljava sljedeća jednadžba:

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT} \left[ 1 - x_v \left( 1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (\text{E.1-1})$$

Gdje je:

- $p$  = tlak
- $M_a$  = molarna masa suhoga zraka
- $Z$  = kompresibilnost vakuuma
- $R$  = molarna plinska stalnica
- $T$  = Termodinamička temperatura uporabom ITS-90
- $x_v$  = molni udio vodene pare i
- $M_v$  = molarna masa vode.

Ta je formula postala poznata kao jednadžba CIPM-81. Od njezina objavljivanja 1981. godine provedeno je nekoliko promjena koje su se odnosile na preporučenu vrijednost upotrijebljenih stalnica. Formula se sada naziva "jednadžba 1981/91 za određivanje gustoće vlažnoga zraka" ili jednostavno "jednadžba 1981/91" nakon što je 1991. godine Savjetodavni odbor za masu (CCM) na svojem sastanku izmijenio i dopunio stalnice koje se upotrijebljavaju u formuli.

#### E2 Stalnice

##### E.2.1 Molarna masa suhog zraka ( $M_a$ )

Molarna masa suhoga zraka ( $M_a$ ) može se izračunati uporabom  $x_{\text{CO}_2}$  kao molnog udjela ugljičnoga dioksida na sljedeći način:

$$M_a = [28,9635 + 12,011(x_{\text{CO}_2} - 0,0004)] < 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} \quad (\text{E.2.1-1})$$

**Tablica E.1** Preporučena vrijednost za  $M_a/R$  s  $x_{\text{CO}_2} = 0,0004$

Stalnica	1991 preporučena vrijednost	Jedinice
$M_a / R$	3,483 49	$10^{-3} \text{ kg KJ}^{-1}$

##### E.2.2 Molni udio vodene pare ( $x_v$ )

Molni udio vodene pare ( $x_v$ ) koji je funkcija relativne vlažnosti ( $hr$ ) ili temperature rosišta ( $t_r$ ), faktor poboljšanja ( $f$ ) i tlak zasićenja vlažnog zraka ( $p_{sv}$ ) dani su na sljedeći način:

$$x_v = (hr)f(p, t) \frac{p_{sv}(t)}{p} = f(p, t_r) \frac{p_{sv}(t_r)}{p} \quad (\text{E.2.2-1})$$

Gdje je:

- $hr$  = relativna vlažnost
- $p$  = tlak
- $t$  = temperatura u Celzijevim stupnjevima
- $p_{sv}(t)$  = tlak zasićenja vodene pare vlažnog zraka i
- $t_r$  = temperatura rosišta.

**E.2.2.1** Tlak zasićenja vodene pare vlažnog zraka  $p_{sv}$  može se izračunati na sljedeći način:

$$p_{sv} = 1 \text{ Pa} \times \exp\left(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T}\right) \quad (\text{E.2.2-2})$$

gdje su  $A, B, C, D$  stalni parametri tlaka vodene pare u zasićenju. Preporučene su vrijednosti sljedeće:

**Tablica E.2** Preporučena vrijednost za stalnice  $A, B, C, D$

Stalnica	1991 preporučena vrijednost	Jedinice
$A$	1,237 884 7	$10^{-5} \text{ K}^{-2}$
$B$	- 1,912 131 6	$10^{-2} \text{ K}^{-1}$
$C$	33,937 110 47	
$D$	- 6,343 164 5	$10^3 \text{ K}$

### E.2.2.2 Faktor poboljšanja ( $f$ )

Faktor poboljšanja ( $f$ ) funkcija je triju stalnica ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) i temperature ( $t$ ) u Celzijevim stupnjevima. Taj se faktor može izračunati na sljedeći način:

$$f = \alpha + \beta p + \gamma t^2 \quad (\text{E.2.2-3})$$

**Tablica E.3** Preporučena vrijednost za stalnice  $\alpha, \beta, \gamma$

Stalnica	1991 preporučena vrijednost	Jedinice
$\alpha$	1,000 62	
$\beta$	3,14	$10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$
$\gamma$	5,6	$10^{-7} \text{ K}^{-2}$

### E.2.3 Faktor stlačivosti ( $Z$ )

Faktor stlačivosti ( $Z$ ) može se izračunati uporabom sljedećih formula:

$$Z = 1 - p[a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t)x_v + (c_0 + c_1 t)x_v^2]/T + p^2(d + ex_v^2)/T^2 \quad (\text{E.2.3-1})$$

**Tablica E.2** Preporučena vrijednost za stalnice  $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, c_0, c_1, d, e$

Stalnica	1991 preporučena vrijednost	Jedinice
$a_0$	1,581 23	$10^{-7} \text{ KPa}^{-1}$
$a_1$	- 2,933 1	$10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$
$a_2$	1,104 3	$10^{-10} \text{ K}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$
$b_0$	5,707	$10^{-6} \text{ KPa}^{-1}$
$b_1$	- 2,051	$10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$
$c_0$	1,989 8	$10^{-4} \text{ KPa}^{-1}$
$c_1$	- 2,376	$10^{-6} \text{ KPa}^{-1}$
$d$	1,83	$10^{-8} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2}$
$e$	- 0,765	$10^{-8} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2}$

### E.3 Približna formula za gustoću zraka

Najtočnija je formula za gustoću zraka formula CIPM-a (1981/91) [39]

Može se upotrebljavati i približna formula:

$$\rho_a = \frac{0.34848p - 0.009(hr) \times \exp(0.061t)}{273.15 + t} \quad (\text{E.3-1})$$

gdje je:      gustoća zraka ( $\rho_a$ ) dobivena u  $\text{kg m}^{-3}$   
                  tlak ( $p$ ) dan u mbar ili hPa  
                  relativna vlažnost ( $hr$ ) izražena kao postotak i  
                  temperatura ( $t$ ) u  $^{\circ}\text{C}$ .

Jednadžba (E.3-1) ima relativnu nesigurnost od  $2 \times 10^{-4}$  u području od  $900 \text{ hPa} < p < 1100 \text{ hPa}$ ,  $10^{\circ}\text{C} < t < 30^{\circ}\text{C}$  i  $hr > 80 \%$ .

Za utege razreda  $E_1$  gustoću zraka uvijek treba određivati na temelju odgovarajućih mjerenja. Međutim sljedeća približna jednadžba način je na koji se može procijeniti gustoća zraka u laboratorijima koji nemaju načina određivanja gustoće zraka na terenu. Nadmorska visina uvijek je poznata. Prema tomu gustoća se zraka ne mjeri, ona se treba izračunati kao srednja vrijednost za mjesto laboratorija na sljedeći način:

$$\rho_a = \rho_0 \times \exp\left(\frac{-\rho_0}{p_0} gh\right) \quad (\text{E.3-2})$$

gdje je:       $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$   
                   $\rho_0 = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$   
                   $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$  i  
                   $h =$  nadmorska visina izražena u metrima.

## Bibliografija

- [1] *International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM)* (1993), ISO
- [2] *International vocabulary of terms in legal metrology (VIML)* (2000), OIML
- [3] OIML D 28 *Conventional value of the result of weighing in air* (2004) (D 28 was previously published as OIML R 33)
- [4] ISO 4287:1997 Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Terms, definitions, and surface texture parameters
- [5] ISO/IEC Guide 2:1996 Standardization and related activities – General vocabulary
- [6] Davis, R. S., "Determining the magnetic properties of 1 kg mass standards" *J. Res. National Institute of Standards and Technology (USA)*, 100, 209–25, May-June 1995; Errata, 109, 303, March-April 2004
- [7] *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*, first edition, 1993, corrected and reprinted 1995, ISO
- [8] Myklebust T, Kallgren H, Lau P, Nielsen L and Riski K, "Testing of weights: Part 3 – Magnetism and convection", *OIML Bulletin XXXVIII* (1997), pp. 5–10
- [9] Glaser, M., "Magnetic interactions between weights and weighing instruments." *Meas. Sci. Technol.* 12 (2001), pp. 709–715
- [10] ISO 261:1998 – ISO general-purpose metric screw threads – General plan
- [11] Glaser, M., "Change of the apparent mass of weights arising from temperature differences," *Metrologia* 36 (1999), pp. 183–197
- [12] Jean M. Bennett and Lars Mattsson, "Introduction to Surface Roughness and Scattering" *Optical Society of America* (1989)
- [13] ISO 5436:1985, *Calibration specimens – Stylus instruments – Types, calibration and use of specimens*. (Ed. 1; 20 p; K)
- [14] ISO 3274:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Nominal characteristics of contact (stylus) instruments (Ed. 2; 13 p; G). ISO 3274:1996/Cor 1:1998 (Ed. 1; 1 p; \*)
- [15] ISO 4288:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture (Ed. 2; 8 p; D). ISO 4288:1996/Cor 1:1998 (Ed. 1; 1 p; \*)
- [16] Myklebust, T., "Methods to determine magnetic properties of weights and magnetic field and field gradients of weights." *National Measurement Service, Norway* (1995)
- [17] Myklebust, T. 1997 "Intercomparison: Measurement of the volume magnetic susceptibility and magnetisation of two cylindrical (kg) weights. EUROMET project 324", *Justervesenet (NO)*
- [18] Myklebust, T. and Davis, R.S., "Comparison between JV and BIPM to determine the volume susceptibility of one 20 g weight and two 1 g weights", *Justervesenet* (1996)
- [19] Myklebust, T. and Borjesson, L., "Comparison of two instruments based on the attracting method." *National Measurement Service, Norway* (1995)
- [20] Ueki, M., Neru, Y. and Ooiwa, A., "New facility for weight calibration service", *Proceedings of the 14th IMEKO World Congress and Bulletin of NRLM vol. 46, No 4*, pp. 223–228 (1997)
- [21] Schoonover, R.M. and Davis, R.S., "Quick and Accurate Density Determination of Laboratory Weights". (Proceedings. 8th Conference. IMEKO Technical Committee TC3 on Measurement of Force and Mass, Krakow, Poland. September 9–10, 1980) (Paper in "Weighing Technology," pp. 1123–1127, (Druk, Zakład Poligraficzny Wydawnictwa SIGMA, Warsaw, Poland (1980)
- [22] Kobata, T., Ueki, M., Nezu, Y., Ooiwa, A. and Ishii, Y., "Characterization of an Acoustic Volumeter for Measuring the Volume of Weights", *Proceedings of 15th IMEKO World Congress* (1999)

- [23] Ueki, M., Kobata, T., Mizushima, S., Nezu, Y., Ooiwa, A. and Ishii, Y., "Application of an Acoustic Volumeter to Standard Weights", Proceedings of 15th IMEKO World Congress (1999)
- [24] Bettin, H., Spieweck, F., "Die Dichte des Wassers als Funktion der Temperatur nach Einführung der Internationalen Temperaturskala von 1990", PTB-Mitt. 1003/90, pp. 195–196
- [25] Tanaka, M., Girard, G., Davis, R., Peuto, A., Bignell, N., [NMIJ, BIPM, IMGC, NML], »Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports«, Metrologia, 2001, 38, n°4, pp. 301–309
- [26] Gorski, W., Toth, H.G., "Destilliertes Wasser als Dichtereferenzmaterial – Die elektrische Leitfähigkeit als Kriterium seiner Güte" – PTB-Mitt. 98 5/88, pp. 324–325
- [27] Lau, P., "Weight Volume and Centre of Gravity", SP-AR to be published. (Secretariat is updating this reference (9/6/02))
- [28] Croarkin, C., "An Extended Error Model for Comparison Calibration", Metrologia 26, 107 (1989)
- [29] Schwartz, R. "Guide to mass determination with high accuracy" PTB-Bericht MA-40, Braunschweig, (1995). See also Kochsiek, M., Glaser, M., "Comprehensive Mass Metrology", Wiley, New York, Sec.3.4, "Mass determination with balances" (Roman Schwartz) (2000)
- [30] Chapman, G.D., "Orthogonal designs for calibrating kilogram submultiples", NRCC25819. 27 April 1995, National Research Council Canada, Canada
- [31] Morris, E.C., "Decade Design for Weighings of Non-uniform Variance", Metrologia 29, 373 (1992)
- [32] Cameron, J.M., Croarkin, M.C., and Raybold, R. C.R., "Designs for the calibration of standards of mass", NBS TN 952 (1977)
- [33] Glaser, M., "Cycles of comparison measurements, uncertainties and efficiencies", Meas. Sci. Technol 11 (2000), pp. 20–24
- [34] Sutton C.M. and Clarkson, M.T., "A general approach to comparisons in the presence of drift" Metrologia 30, 487 (1993/94)
- [35] Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, EA-4/02 (1999)
- [36] Bich, W., Cox, M.G., and Harris, P.M., "Uncertainty modelling in mass comparisons", Metrologia 30, 495 (1993/4)
- [37] Bich, W., "Covariances and restraints in mass metrology", Metrologia 27, 111 (1990)
- [38] Glaser, M., "Covariances in the determination of conventional mass." Metrologia 37, 249–251 (2000)
- [39] Davis, R.S., "Equation for the determination of the density of moist air" (1981/91), Metrologia 29, 67 (1992). Giacomo, P., "Equation for the determination of the density of moist air" (1981), Metrologia 18, 33 (1982)
- [40] Chung, J.W., Ryu, K.S., Davis, R.S. "Uncertainty analysis of the BIPM susceptometer", Metrologia 38 (2001), pp. 535–541