

# Primena i ugradnja mernih ćelija

Autor: Gert Gomola

## Sadržaj

Uvod .....	7
Merne trake u vagarskoj tehnologiji .....	9
Mehanička struktura vagarske opreme, upotreba mernih ćelija na bazi mernih traka .....	11
3.1 Konfiguracija opružnog elementa u mernim ćelijama .....	11
3.2 Dizajn mernih ćelija .....	12
3.2.1 Merne ćelije za velika opterećenja .....	12
3.2.2 Merne ćelije za mala opterećenja .....	14
3.2.3 Drugačije dizajnirane merne ćelije .....	16
3.3 Upotreba konstrukcijskih delova za merenje .....	20
3.4 Uvođenje opterećenja na merne ćelije .....	22
3.5 Površina na koju se ugrađuju merne ćelije .....	23
3.6 Karakteristike mernih ćelija .....	24
3.7 Merni opseg mernih ćelija .....	27
Oprema za ugradnju mernih ćelija .....	28
4.1 Uvodne beleške .....	28
4.2 Elastomerna noseća platforma .....	28
4.3 Klatna merna ćelija .....	29
4.3.1 Samocentrirajuća klatna merna ćelija .....	29
4.3.2 Oslonci za klatnu mernu ćeliju .....	30
4.4 Oslonci sa kugličnim ležajem sa dva stepena slobode .....	31
4.5 Pomoćne konstrukcijske komponente .....	32
4.5.1 Konusne tačke i utičnice .....	32
4.5.2 Povratne informacije o sili .....	33
4.5.3 Zglobni elementi .....	33
4.6 Fiksirani i nagnuti oslonci .....	34
4.7 Umirivanje posude .....	35
4.7.1 Graničnici .....	35
4.7.2 Zaštita od odizanja .....	36

4.7.3	Zaštita od bočnih sila .....	37
<b>Vagarski moduli .....</b>		<b>40</b>
5.1	Uvodne beleške .....	40
5.2	Odabrane karakteristike različitih mernih modula firme HBM .....	40
5.3	Prilagođavanje mernog modula odabranoj primeni .....	43
5.4	Fiksni oslonci kao ekonomična zamena za module .....	43
5.5	Posledice neodgovarajuće ugradnje .....	45
<b>Zaštita od preopterećenja .....</b>		<b>46</b>
<b>Dizajn i konstrukcija posuda za vaganje..</b>		<b>49</b>
7.1	Uvodne beleške .....	49
7.2	Raspodela opterećenja .....	49
7.3	Položaj centra gravitacije na posudi .....	50
7.4	Priključci za posude .....	51
7.5	Posude pod pritiskom .....	54
7.6	Primeri tipičnog podešavanja mernih ćelija .....	55
7.6.1	Uspravne posude .....	55
7.6.2	Viseće posude .....	61
7.6.3	Horizontalne posude ispunjene tečnošću .....	62
<b>Dizajn i konstrukcija platformskih vaga...</b>		<b>64</b>
8.1	Uvodne beleške .....	64
8.2	Platformske vage sa jednom mernom ćelijom .....	64
8.3	Platformske vage koje koriste više od jedne merne ćelije .....	66
<b>Električna struktura vagarskih komponenti uz upotrebu mernih ćelija na bazi mernih traka .....</b>		<b>68</b>
9.1	Uvodne beleške .....	68
9.2	Vitstonov most .....	68
9.2.1	Dijagram strujnog kola .....	68
9.2.2	Metod rada .....	69

9.2.3 Umrežavanje unutar merne ćelije na bazi mernih traka.....	69
9.3 Osetljivost merne ćelije .....	70
9.3.1 Uvodne beleške .....	70
9.3.2 Definicija osetljivosti.....	71
9.3.3 Karakteristična kriva .....	71
9.4 Vagarska elektronika .....	73
9.4.1 Uvodne beleške .....	73
9.4.2 Pojačalo jednosmernog napona .....	73
9.4.3 Pojačalo noseće frekvencije .....	74
9.4.4 Poređenje dva metoda .....	75
9.4.5 Uticaj na preciznost mernih pojačala .....	76
9.5 Električno povezivanje mernih ćelija .....	77
9.5.1 Uvodne beleške .....	77
9.5.2 Merne ćelije i merna pojačala koja koriste četvoro-žičnu tehnologiju .....	77
9.5.3 Merne ćelije i merna pojačala koja koriste šesto-žičnu tehnologiju .....	78
9.5.4 Merne ćelije sa četvoro-žičnom tehnologijom i merno pojačalo sa šesto-žičnom tehnologijom .....	79
9.5.5 Merna ćelija sa šesto-žičnom tehnologijom i merno pojačalo sa četvoro-žičnom tehnologijom .....	80
9.5.6 Paralelno povezivanje mernih ćelija .....	80
9.6 Zamena mernih ćelija .....	80

## Mere zaštite električnog napajanja .....81

10.1. Uvodne beleške .....	81
10.1.1 HBM-ov zaštitni dizajn.....	81
10.1.2 Uzemljenje.....	83
10.1.3 Sažetak.....	84
10.2 Zaštita od eksplozije .....	84
10.2.1 Opšte beleške o regulaciji konstrukcije.....	84
10.2.2 Podela na oblasti .....	84
10.2.3 Podela električne opreme na grupe i temperaturne klase .....	85
10.2.4 Intrinzična bezbednost "i" .....	86
10.2.5 Zaštita od previsokog pritiska "d" .....	87
10.2.6 Povećana bezbednost "e" .....	87
10.2.7 Literatura o zaštiti od eksplozije.....	87
10.3 Zaštita od groma.....	88

10.3.1 Uvodne beleške .....	88
10.3.2 Mere zaštite.....	88

## Kalibracija vagarskih uređaja .....90

11.1 Neki važni aspekti .....	90
11.2 Balansiranje .....	91
11.2.1 Balansiranje direktnim opterećenjem .....	92
11.3 Uticaj na kabl tokom balansiranja .....	96
11.3.1 Otpor kabla.....	96
11.3.2 Otpor kabla u zavisnosti od temperature .....	96
11.3.3 Unutrašnji otpor kada su merne ćelije paralelno povezane .....	97
11.3.4 Upotreba različitih kablova .....	98
11.4 Balansiranje digitalnih pojačala.....	99
11.5 Sažetak.....	99
11.6 Zamena mernih ćelija – ponovljena kalibracija .....	100

## Preciznost merenja i rezolucija signala 101

12.1 Uvodne beleške .....	101
12.2 Odabrane karakteristične veličine.....	102
12.3 Uticaj konfiguracije opreme i okruženja na preciznost.....	103
12.4 Određivanje preciznosti vagarskog uređaja .....	104
12.5 Poboljšanje preciznosti vagarskog uređaja .....	105
12.6 Rezolucija mernog signala .....	105

## Uticaj interferencije na mernu ćeliju ... 107

13.1 Uvodne beleške .....	107
13.2 Uticaj mehaničke interferencije .....	108
13.2.1 Uvođenje opterećenja .....	108
13.2.2 Nepravilna noseća površina .....	109
13.2.3 Vibrirajuće opterećenje.....	109
13.2.4 Padajuća masa.....	110
13.2.5 Parazitska opterećenja .....	111
13.2.6 Pomoćni motori .....	112
13.3 Uticaj vremena .....	112
13.3.1 Temperatura.....	112
13.3.2 Sneg i led .....	113

13.3.3 Vetar .....	113
Termini, izrazi i karakteristične veličine u vezi sa mernim ćelijama .....	118
14.1 Uvodne beleške .....	118



Gotovo da nema oblasti inženjerstva koja ima procedure i pravilnike tako precizno napisane kao što ih ima merna tehnika.

Zakon Evropske Unije o merenju i verifikaciji metoda (Zakon o verifikaciji) danas reguliše ugovornu prodaju robe za koju se cena definiše po jedinici mere težine. Vekovima, precizno vaganje dobara i proizvoda je predstavljalo izazov za mernu tehnologiju.

U međuvremenu, iste jedinice mere se sada koriste u većem delu sveta. Osnovna jedinica je kilogram, skraćeno kg. Zakon takođe dozvoljava upotrebu grama (**g**) i tone (**t**).

Osim rešenja koja zahtevaju zvaničnu verifikaciju, broj mernih uređaja **koji ne zahtevaju zvanično usklađivanje sa zakonima i pravilnicima** je u stalnom porastu.

Rastuća potreba za usklađivanjem sa sve višim standardima kvaliteta ide ruku pod ruku sa velikom odgovornošću u vezi sa proizvodima što je u velikoj meri doprinelo razvoju vagarske tehnologije u poslednjim decenijama.

**Napomena:** ova brošura je naročito namenjena korisnicima merne opreme za koju nisu potrebna zvanična odobrenja. Određena pravila se moraju poštovati prilikom rada sa vagarskim uređajima, da bi se izbegao negativan uticaj mehaničkih i električnih smetnji prilikom merenja. Ova brošura nije sveobuhvatna; u praksi, pojedini problemi obično iziskuju posebna podešavanja koristeći metode koji odgovaraju datoj situaciji.



**Slika 1-1** Komponente vagarske tehnologije

HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH) proizvodi merne trake, merne ćelije i pojačala više od 40 godina. Bogatstvo iskustva stečenog pronalazeći optimalna rešenja za mnoge i raznolike probleme je dragocena riznica znanja za rešavanje problema u proizvodnji i primeni komponenti koje se koriste u vagarskoj tehnologiji.



## Merne trake u vagarskoj tehnologiji

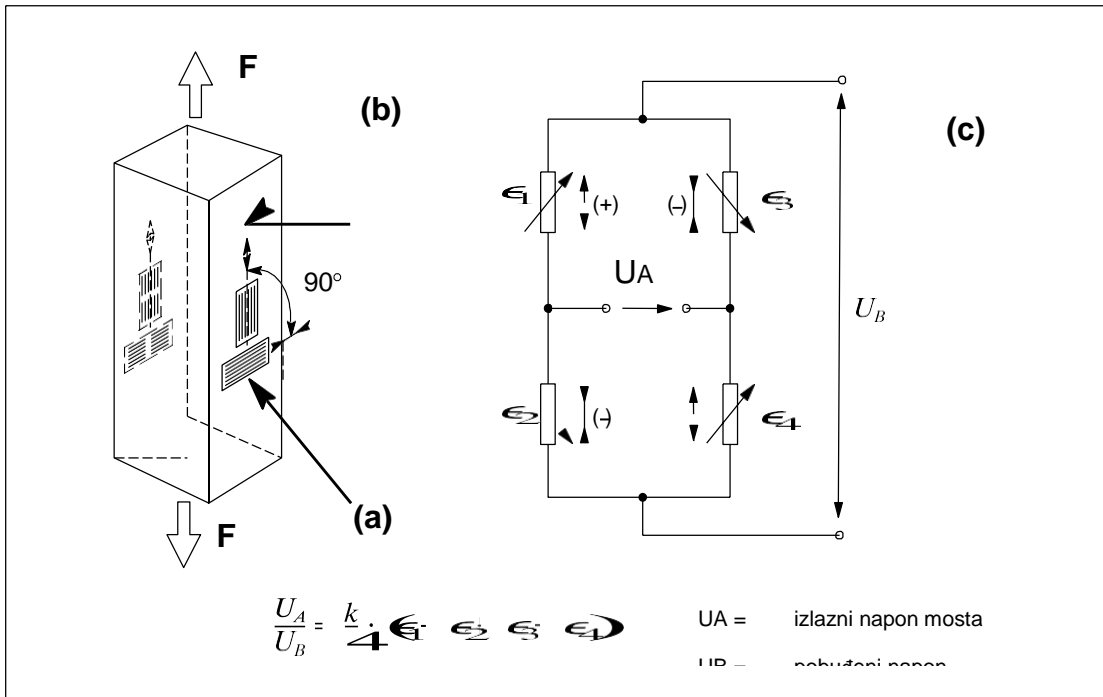


Od kada su izumljene merne trake, primena fizičkog principa na kome se baziraju je korišćena i u oblasti elektromehaničkih vaga.

Merne trake (**a**) se u najvećem broju slučajeva montiraju ili lepe na površinu mehaničkih komponenti (**b**) koja je podložna deformaciji, **Slika 2-1**. Za potreba vagarstva, međutim, značajna su samo naprezanja (deformacije) koja proističu od promene mase. Pošto je merna traka u neposrednom kontaktu sa površinom komponente, ona verno prati naprezanje površine; geometrija strujnog kola u metalnoj foliji će se menjati proporcionalno deformaciji kojoj je izložena merna traka.

Činjenica da je promena otpora proporcionalna deformaciji znači da se masa merenog predmeta može pretvoriti u proporcionalni električni signal. Ovaj električni signal je jednako potreban za jednostavan digitalni indikator, kao i za savremene vagarske procesore ili za povezivanje mernog uređaja sa PLC-om. Po pravilu, merna traka je električno povezana sa **Vitstonovim mostom (c)**.

Konstruktivski elementi se ponašaju kao mehaničke opruge i nužno stvaraju sile suprotnog smera. Opužni elementi se deformišu proporcionalno opterećenju (primenjenoj sili). U pitanju je pomeranje koje nije veće od nekoliko delova milimetra. Isti efekat važi i za pozitivno i za negativno opterećenje (izduženje ili sabijanje). U okviru definisanih granica (Hukov zakon na dijagramu opterećenja) opisane procedure su bliske linearnim i lako su ponovljive.

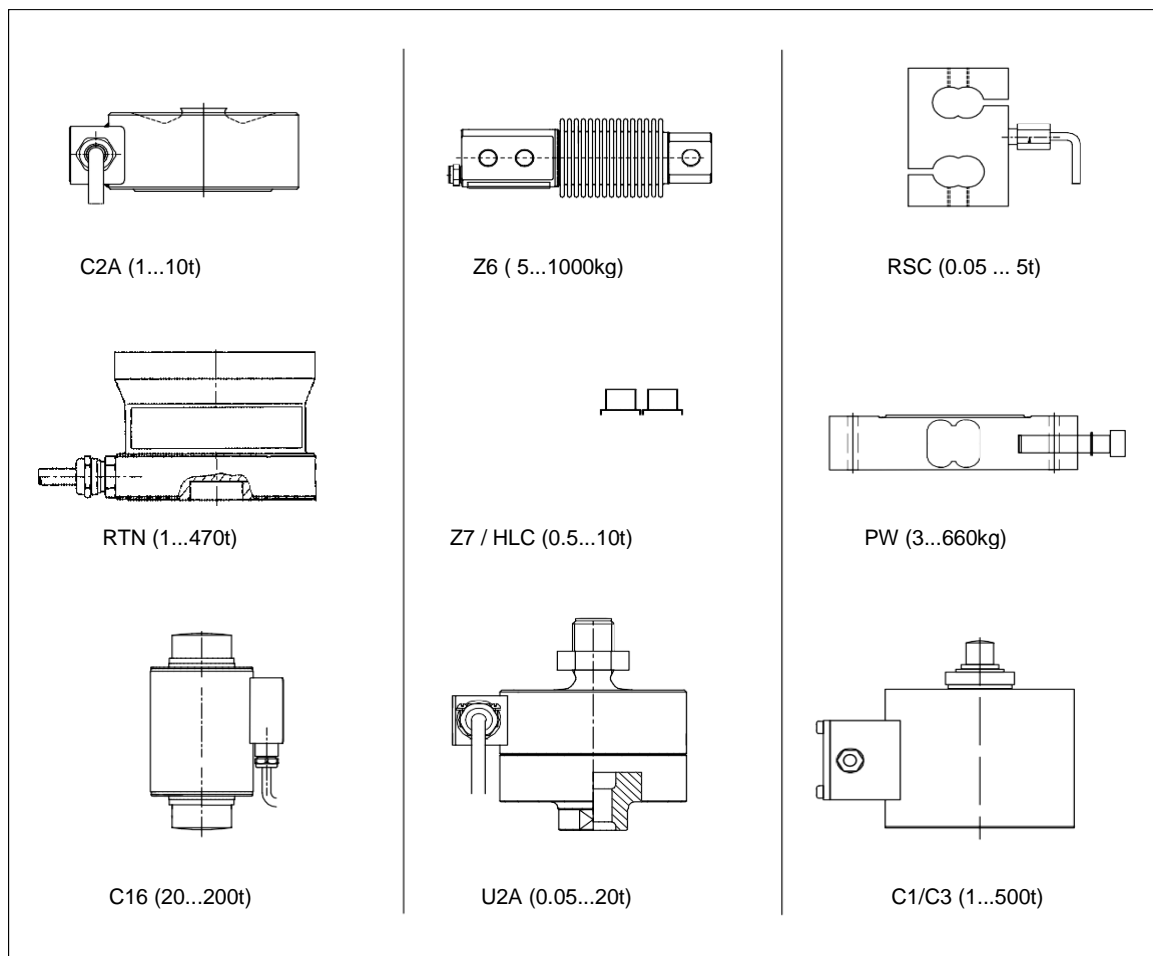


Slika 2-1 Fizička metoda primene mernih traka

### 3.1 Konfiguracija opružnog elementa u mernim ćelijama

Oblik i veličina merne ćelije određeni su tipom opružnog elementa koji se koristi. Ispravan izbor opružnog elementa i komponenti za ugradnju zavisi, između ostalog, od sledećih aspekata:

- smeru opterećenja
- vrednosti primenjenog **maksimalnog opterećenja**, kao i **radnog opterećenja** i **opterećenja pri lomu**
- zahtevane tačnosti merenja
- dimenzionih zahteva (npr. ukupne visine)
- **bočnih sila, uvijanja, opterećenja savijanjem**



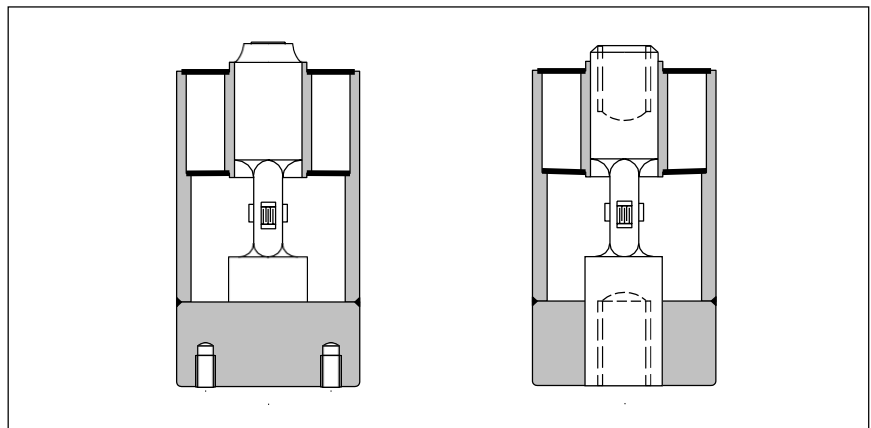
Slika 3-1 Odabrani tipovi HBM-ovih mernih ćelija i njihova karakteristična nosivos

### 3.2 Dizajn mernih ćelija

Tokom procesa merenja, sila tega utiče na metalni opružni element u mernoj ćeliji izazivajući elastičnu deformaciju. Merna traka je ugrađena na opružni element i pretvara pozitivno i negativno opterećenje u električni signal. Najelementarnija merna ćelija se sastoji iz opružnog elementa opterećenog na savijanje na koji su nalepljene merne trake. Osnovni elementi, opružni element i merna traka, obično su praćeni dodatim elementima kao što su kućište, zaptivači, itd, dizajnirani kako bi se zaštitila merna traka.

#### 3.2.1 Merne ćelije za velika opterećenja

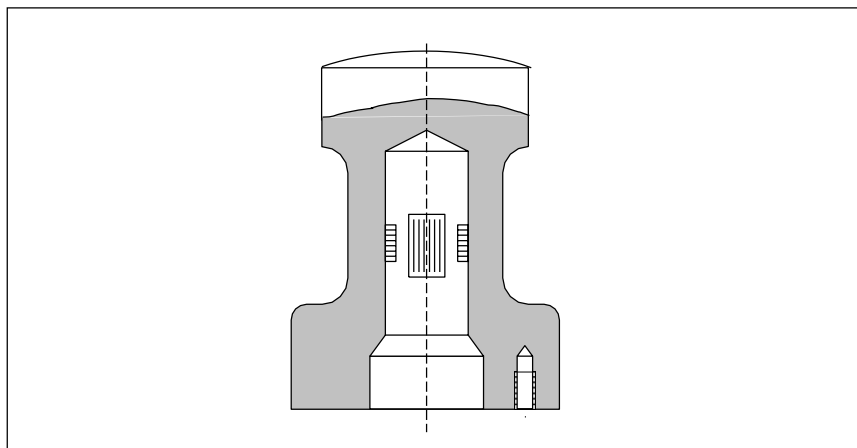
Slika 3.2 prikazuje crteže preseka mernih ćelija sa opružnim elementom u obliku stuba. Sa leve strane je prikazan slučaj koji je idealan za pritisno opterećenje, dok crtež sa desne strane prikazuje konektor koji može da detektuje i **zatezna i pritisna opterećenja**. Poprečni presek stuba je smanjen na mestu gde je ugrađena merna traka. Na ovaj način, deformacija koja je dovoljno velika da izazove značajnu promenu signala nastaje na mestu merenja. Čitavo ugibanje opruge pod teretom je izuzetno malo. Pri **maksimalnoj nosivosti**, ugibanje opruge u ovom slučaju (**ugibanje pri maksimalnom opterećenju**) nije veće od 0,5mm.



Slika 3-2 Merne ćelije sa opružnim elementom u obliku stuba

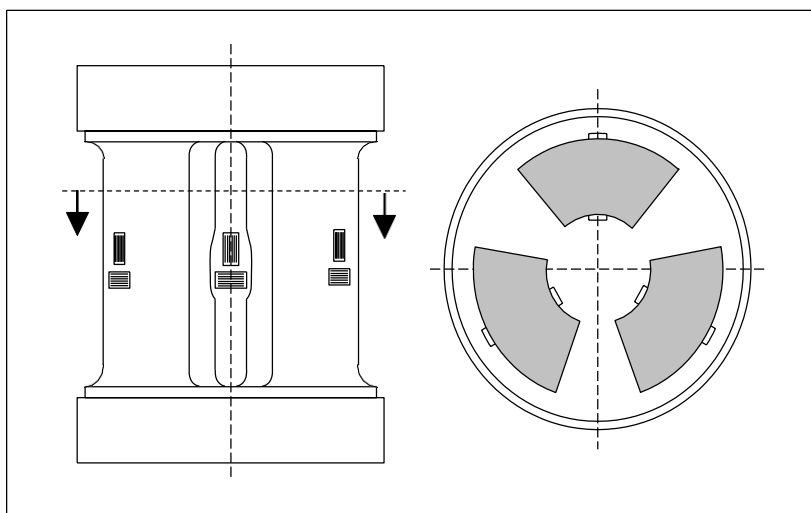
Gornji deo opružnog elementa je povezan sa zaštitnim kućištem uz pomoć dva zavarena elastična elementa otporna na gas koji su ekstremno kruti u horizontalnom pravcu, te stoga štite od bočnih sila. Istovremeno, elastični elementi su dizajnirani da budu fleksibilni u pravcu merenja, da bi uticaj **parazitskih sila** bio što manji na rezultate merenja. Električno povezivanje je sprovedeno sa kućišta uz pomoć uvodnice koja je takođe otporna na gas. Kao rezultat dobija se potpuno hermetički zatvorena merna ćelija u kojoj mernu ćeliju ne mogu oštetiti gasovi ili tečnosti.

Drugačiji tip opružnog elementa, kao što je šupalj cilindar ili cev, često se odabira za izrazito velika opterećenja. Kratak cilindar nije odgovarajuć, pošto ne proizvodi jedinstveno polje deformacije što je idealan uslov prilikom merenja mernim trakama. Slika 3.3 pokazuje opružni element u obliku šupljeg cilindra. Relativno ga je lako proizvesti, a pruža izuzetno veliku stabilnost kada su u pitanju velika opterećenja. I u ovom slučaju je jednostavno napraviti hermetičko zatvaranje. Međutim, pozicioniranje merne trake zahteva malo veći napor.



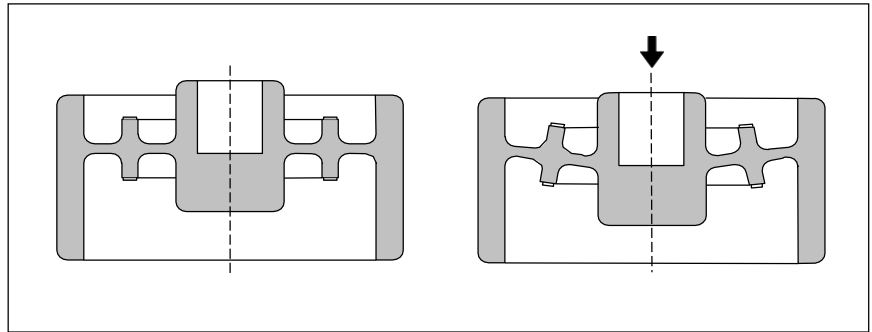
Slika 3-3 Opužni element u obliku šupljeg cilindra

U slučaju opušnih elemenata u obliku cevi, može biti problema sa postavljanjem opterećenja, i relativno visoka **histereza (povratnost)**. Zbog toga se često koristi dizajn prikazan na slici 3.4. U ovom slučaju, cev je podeljena na segmente čija je uloga da smanje histerezu. Opterećenje se stavlja na fiksirane tasove.



Slika 3-4 Cevni opušni element podeljen na segmente

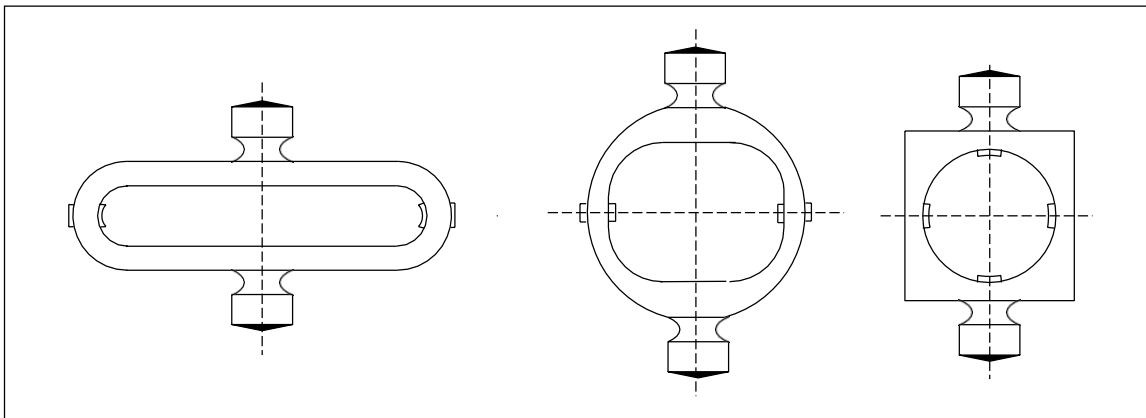
Jedan od uobičajenih zahteva jeste smanjenje ukupne visine uz povećanu tačnost. Ovaj cilj se može postići korišćenjem opušnih elemenata u skladu se principom uvijanja (slika 3.5). Opterećenje se uvodi aksijalno u odnosu na unutrašnji deo cevi. Merna ćelija se preko spoljašnjeg dela cevi oslanja na noseću površinu. Kada se unutrašnji deo cevi naginje ka spoljašnjem delu cevi, prsten koji je između njih se pomera proporcionalno opterećenju. Merne ćelije koje rade na ovom principu mogu da podnesu prilično velika bočna opterećenja.



Slika 3-5 Princip uvijanja prstena

### 3.2.2 Merne ćelije za mala opterećenja

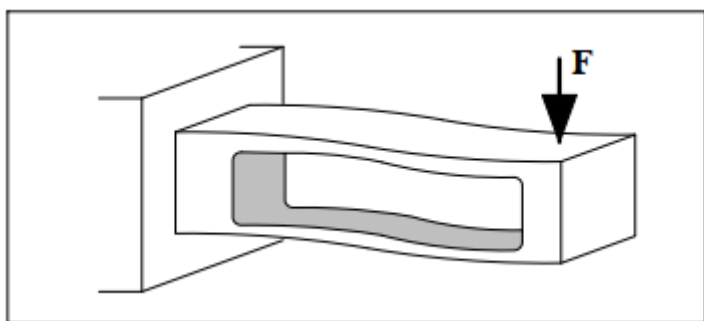
Opružni element sa direktnim mehaničkim opterećenjem nije podesan za merenje malih opterećenja (recimo onih ispod 5t). U ovom slučaju bolji je opružni element koji izlazi iz mernog okvira. Slika 3.6 prikazuje različite modifikacije savijajućih elemenata koje proizvode deformaciju u dovoljnoj meri pri odgovarajućem opterećenju.



Slika 3-6 Modifikacije savijajućeg elementa

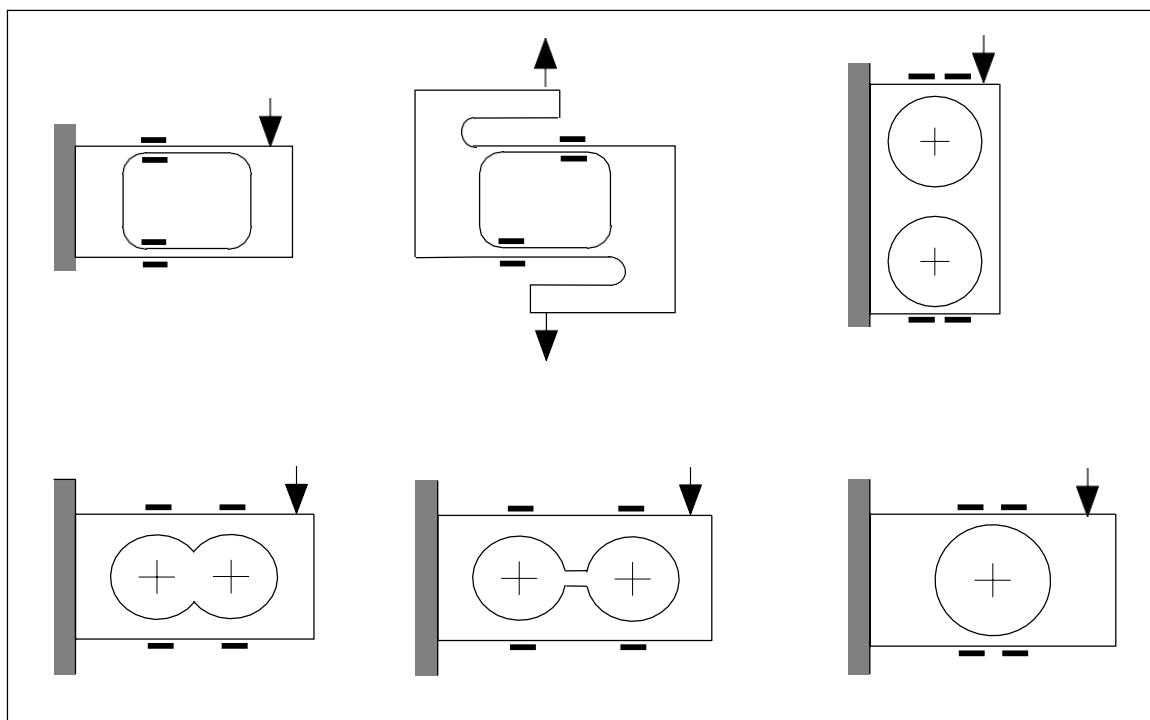
Za još manja opterećenja može biti korišćenj konzolni element. Međutim, u ovom slučaju signal zavisi od momenta savijanja. Ako se tačka uvođenja opterećenja menja za isto opterećenje, izlazni signali će biti različiti. Zbog toga se samo konzolni elementi retko koriste u mernim ćelijama, pošto je potrebno preduzeti posebne mere da bi se mesto uvođenja opterećenja održalo konstantnim (efekat poluge – rastojanje koje je normalno na pravac uvođenja sile).

Za opterećenja do 5t retko se koriste višekonzolni opružni elementi . Ovaj tip merne ćelije obično odlikuje konfiguracija u kojoj su dva konzolna opružna elementa postavljena jedan iznad drugog, ali povremeno mogu biti upotrebljene dve konzole. One su sa svojih strana za povezivanje spojene nesavitljivim komponentama. Čvrst spoj usmerava putanju uvođenja opterećenja ka potpunoj vertikali, uzrokujući deformaciju u obliku slova S na obe konzole.



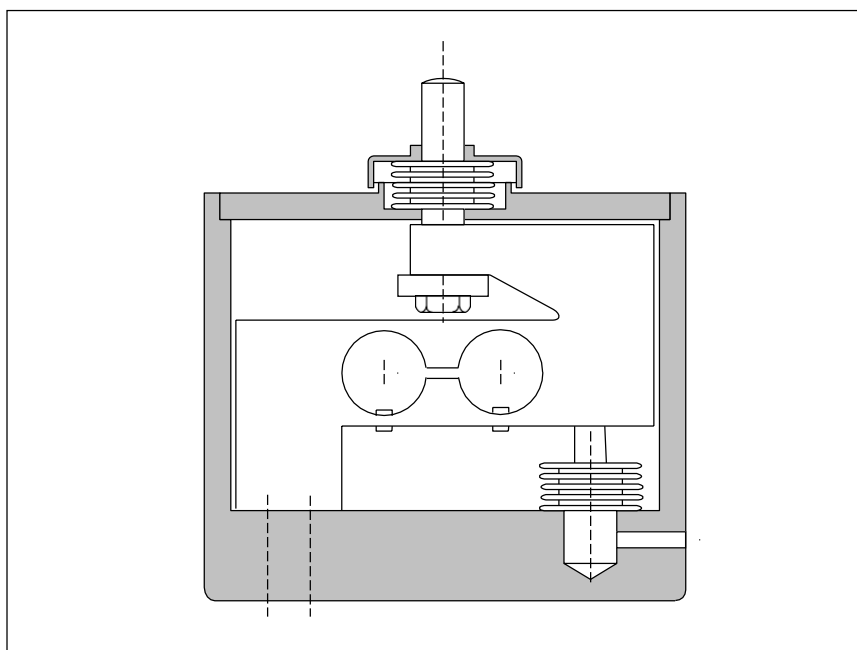
Slika 3-7 Princip opružnog elementa sa dve konzole

Ovaj sistem je značajno manje osetljiv na pomeranje tačke uvođenja opterećenja od opružnog elementa sa jednom konzolom. Deformacija površine u obliku slova S proizvodi kompaktne površine pozitivne i negativne deformacije (napona) olakšavajući lepljenje i spajanje mernih traka. Zbog toga je prilično uobičajena upotreba **laminata** za merne trake, koji osim svih ostalih elemenata Vitstonovog mosta sadrži i elemente za kompenzaciju greške. Slika 3.8 pokazuje nekoliko varijanti koncepta koji se bazira na opružnom elementu sa dve konzole.



Slika 3-8 Varijante opružnog elementa sa dve konzole

Kada se hermetični zatvorene merne ćelije koriste za merenje relativno malih opterećenja, fluktuacije u vazдушnom pritisku mogu dovesti do promene u izlaznom mernom signalu za identično opterećenje. Da bi se ovaj problem prevazišao, kompenzaciju može vršiti atmosferski pritisak tako što mu se omogući da deluje uniformno od gore i od dole na čvrst element na mestu uvođenja opterećenja, slika 3-9.

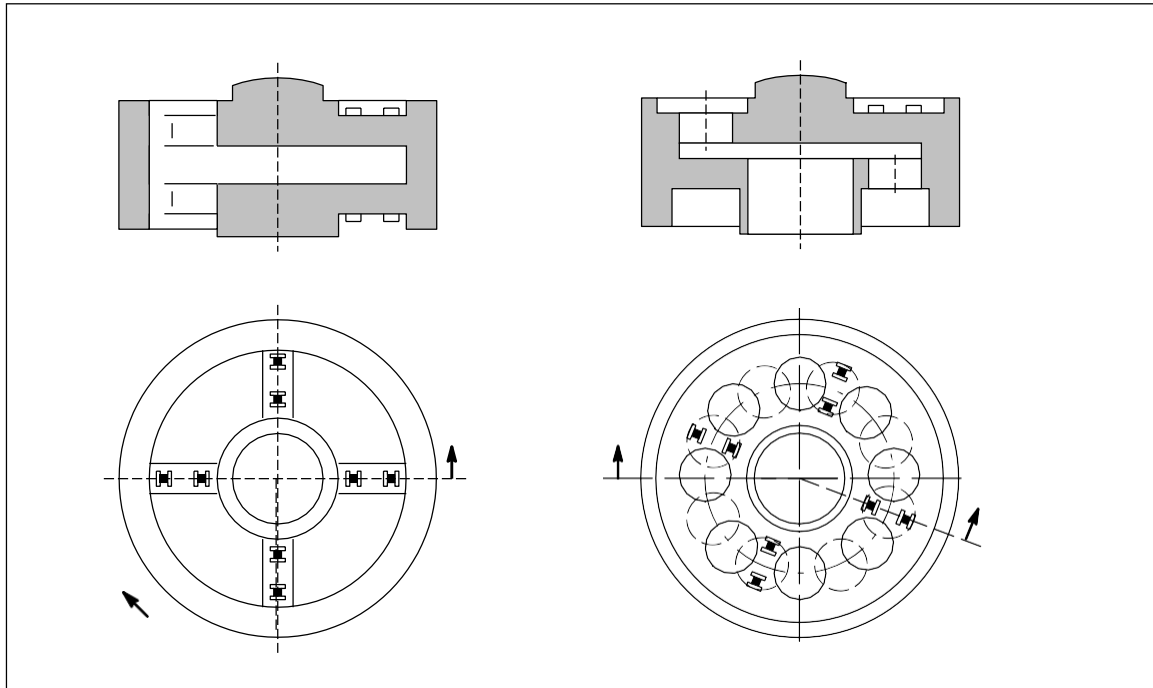


Slika 3-9 Merna ćelija sa kompenzacijom pritiska

### 3.2.3 Drugačije dizajnirane merne ćelije

Opružni element sa više konzola predstavlja dalji razvoj koncepta opružnog elementa sa dve konzole. Slika 3-10 čini ovaj princip jasnijim i pokazuje moguću varijantu. Uglavnom, opružni elementi sa više konzola se koriste sa preciznim davačima. Dijagram jasno pokazuje da se više od jedne merne trake koristi sa svake strane Vitstonovog punog mosta. Ovo je apsolutno neophodno da bi se dobio najveći mogući nivo preciznosti. Trenutno su najpreciznije merne ćelije na bazi mernih traka one koje koriste opružni element sa više konzola u koje su ugrađene 32 merne trake. Njihova ukupna greška je manja od 20 ppm-a (ppm –delova na milion). Ovakve merne ćelije se koriste kao referentni davači za međunarodna međulaboratorijska merenja između, npr. **Fizičko-tehničkog državnog instituta (Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig – PTB Braunschweig)** i drugih instituta pri poređenju standardnih sila i jedinica za masu koje se koriste u različitim državama.

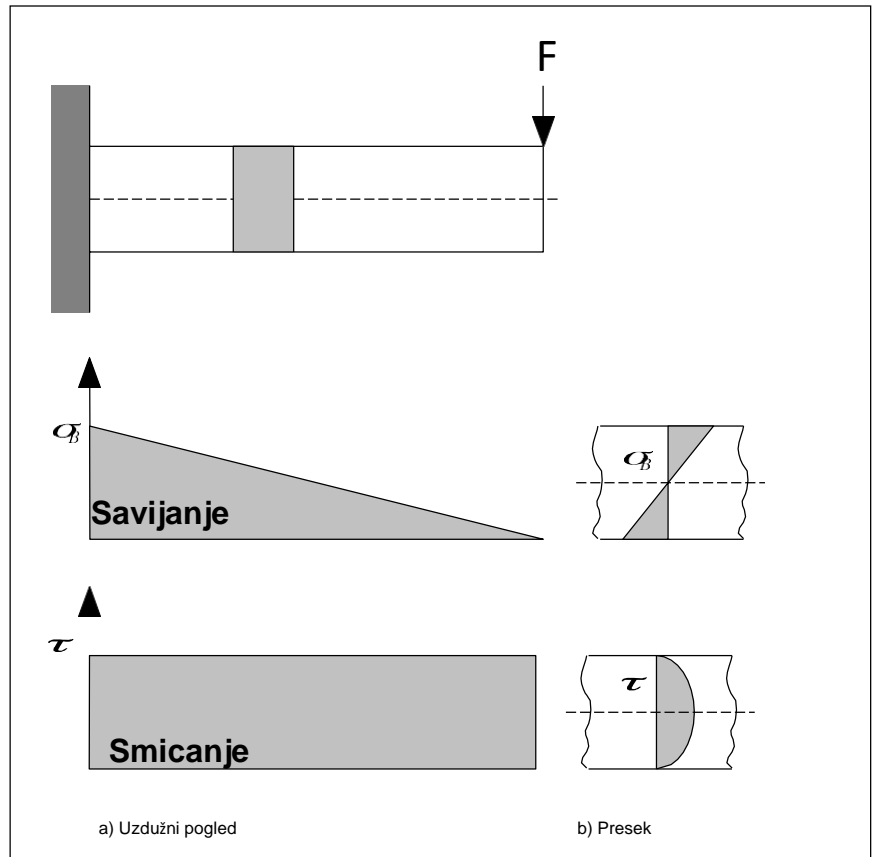




**Slika 3-10** Varijante opružnog elementa sa više konzola

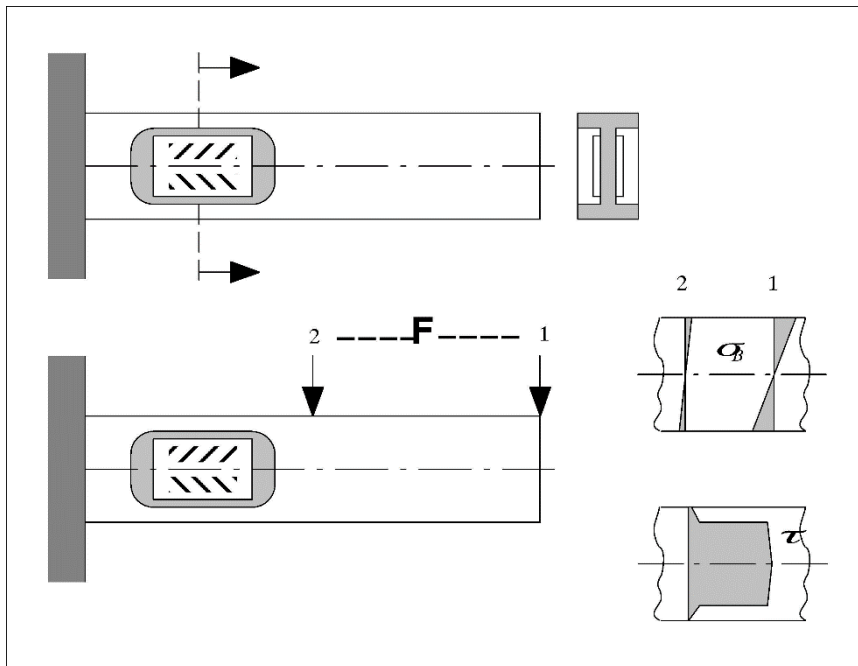
Najveći nedostatak jedno-konzolnog opružnog elementa je što signal u velikoj meri zavisi od momenta savijanja i od mesta uvođenja opterećenja. Poluga koja je opterećena sa jedne strane ne samo da je podložna momentu savijanja, već i silama smicanja i rezultirajućim deformacijama (naponima).

Suprotno od deformacija koje nastaju savijanjem, deformacije koje su posledica smicanja su konstantne od mesta uvođenja opterećenja do tačke učvršćenja. Deformacije smicanja koje su manje od 45 stepeni nastaju na površini koja nije savitljiva i nisu pod uticajem savijanja, slika 3.11.



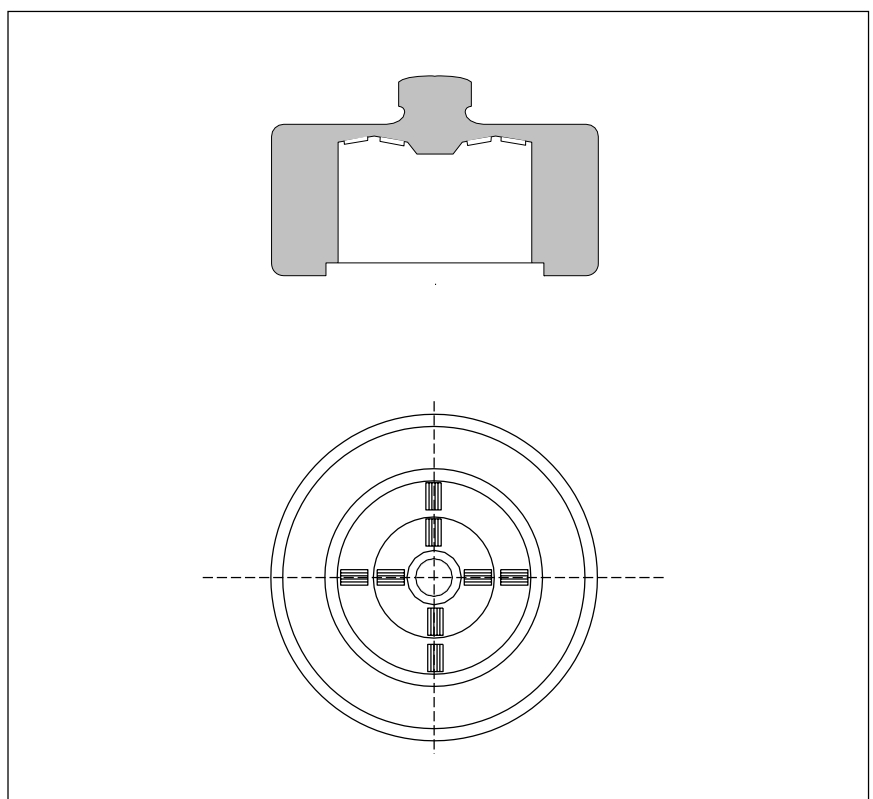
Slika 3-11 Distribucija opterećenja u konzolnom opružnom elementu

Ovaj efekat se koristi prilikom upotrebe konzolnih mernih ćelija na smicanje. Pogledajte šematski prikaz na slici 3.12. Da bi se dobila dovoljno velika deformacija smicanjem, poprečni presek je sveden na dvostruki T-profil na mestu ugrađenih mernih traka. Ovaj oblik obezbeđuje stabilnu zaštitu od bočnih sila. Neke merne ćelije mogu da prime opterećenja koja su ekvivalentna i do 100% maksimalnog kapaciteta kada je u pitanju dozvoljeno bočno opterećenje. Kao što se može videti na dijagramu, deformacije smicanjem se ne menjaju ako se tačka uvođenja opterećenja pomeri na drugu poziciju u okviru određenog opsega. Električni signal proporcionalan opterećenju stoga ne zavisi od mesta uvođenja opterećenja. Naravno, ovo važi samo u najširem smislu, pošto deformacije savijanjem nisu prisutne samo na nesavitljivom delu ćelije. Što su merne trake udaljenije od ove površine, to je veći uticaj deformacije savijanjem. Međutim, veoma preciznom ugradnjom, one velikim delom mogu biti kompenzovane umrežavanjem mernih traka u Vitstonov most.



**Slika 3-12** Elementi konzolne merne ćelije na smicanje sa poprečnim presekom I-profila

Merne ćelije sa opružnim elementima u obliku dijafragme, slika 3.13, obično se koriste na mestima gde nema dovoljno prostora. Ugibanje opruge pri maksimalnom opterećenju je veoma malo, što dovodi do veoma visoke prirodne frekvencije koja kod nekih mernih ćelija prelazi 20 kHz. Relativno ih je lako proizvesti i lako mogu biti hermetički zaptivene. Dijafragma je posebno oblikovana da sadrži površinu deformacije koja će olakšati merenje.



**Slika 3-13** Opružni element u obliku dijafragme

Slika 3.14 uporedo pokazuje veličinu merne ćelije sa opružnim elementom sa dve konzole, maksimalnog opsega od 10kg, i mernu ćeliju sa dijafragmom, maksimalnog opsega od 1000kg.



**Slika 3-14** Poređenje između U2A od 1t (sa dijafragmom) i U1/10kg (sa integrisanim opružnim elementom sa dve konzole)

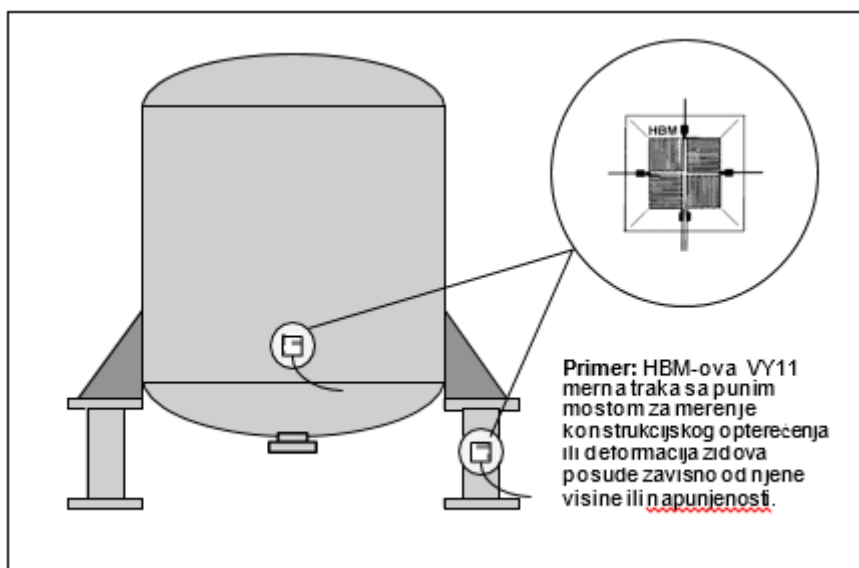
### 3.3 Upotreba konstrukcijskih delova za merenje

Kod jednostavnog vaganja i nadzora moguće je direktno koristiti princip rada mernih traka na postojećim delovima konstrukcije.

Stoga, na primer, u zavisnosti od visine do koje je napunjena posuda, sila vaganja uvek deluje na njene zidove ili postolje, izazivajući opterećenje materijala u njoj. Ovo opterećenje se može direktno izmeriti mernim trakama (pogledajte sliku 3.15) ili indirektno koristeći davač pomeranja (pogledajte sliku 3.16) kao proporcionalni pokazatelj u odnosu na visinu ili težinu punjenja.

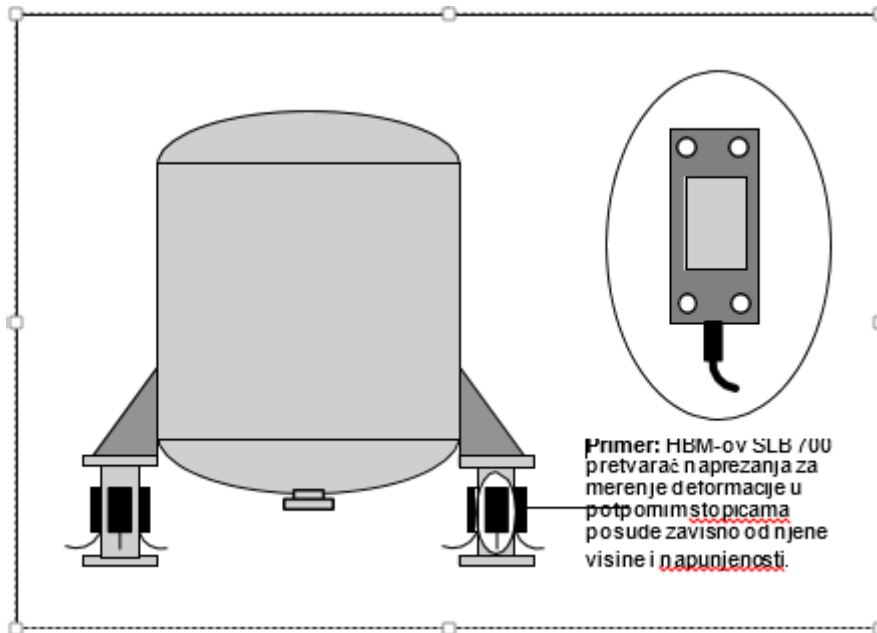
Osim što je ekonomično, ovo rešenje je naročito pogodno u situacijama u kojima se postrojenje ili oprema ne mogu lako ponovo postaviti.

**Primer:** HBM-ova VY11 merna traka sa punim mostom za merenje konstrukcijskog opterećenja ili deformacija zidova posude zavisno od njene visine ili napunjenosti.



**Slika 3-15** Posuda na koju su direktno ugrađene merne trake

**Primer:** HBM-ov SLB 700 davač pomeranja za merenje deformacije u potpornim stopicama posude zavisno od njene visine i napunjenosti.



**Slika 3-16** HBM-ov SLB 700 davač pomeranja

Prilikom projektovanja nove opreme, međutim, preporučljivo je već u fazi planiranja imati u vidu da preciznost koja se može postići datim metrološkim rešenjima zavisi od niza dodatnih uticaja koje je neretko teško predvideti pre nego što se uređaj pusti u rad.

Na primer, stopice posude su najčešće napravljene od nekaljenog čelika. Promene u temperaturi doprineće pojavi dodatne deformacije. Neadekvatno kompenzovanje ovih pojava vodiće do netačnih rezultata koje elektronika upotrebom matematičkih formula može da popravi samo u izvesnoj meri.

Kompenzacija grešaka koje su posledica promene temperature ili opterećenja usled različitih mehaničkih uticaja (na pr. neravnomerno raspoređena masa u posudi) je često moguća jedino ako je na svaku pojedinačnu stopicu posude ugrađeno više mernih instrumenata (na pr. 4 merna mesta udaljena jedno od drugog pod uglom od 90°). Uzimajući ovo u obzir, isplativost rešenja treba ponovo uzeti u razmatranje.

Delovi posude su često pre-dimenzionirani, tako da je izmerena deformacija relativno mala. Odnos između signala i ometača signala je stoga često nepovoljan. Osobine materijala delova posude direktno utiču na preciznost merenja (**puzanje, histereza**, itd).

Zahtevana **dugoročna stabilnost** mernog uređaja i njegova zaštita od uticaja sredine u kojoj se nalazi, treba takođe da budu uzete u obzir u fazi projektovanja. Uslovi u kojima se vrše kalibracija i rekalkibracija merne opreme takođe predstavljaju bitan aspekt inicijalnih razmatranja. Uzmimo, na primer, da samo instrument na jednom mernom mestu treba zameniti zbog oštećenja, čitav sistem u tom slučaju mora biti podvrgnut rekalkibraciji. Iskustvo pokazuje da je pažnja sa kojom se pristupa ugradnji mernih instrumenata kao i sama priroda

vagarske opreme (npr. da li postoji mogućnost njenog povremenog tariranja) zaslužna za 3% do 10% preciznosti rešenja.

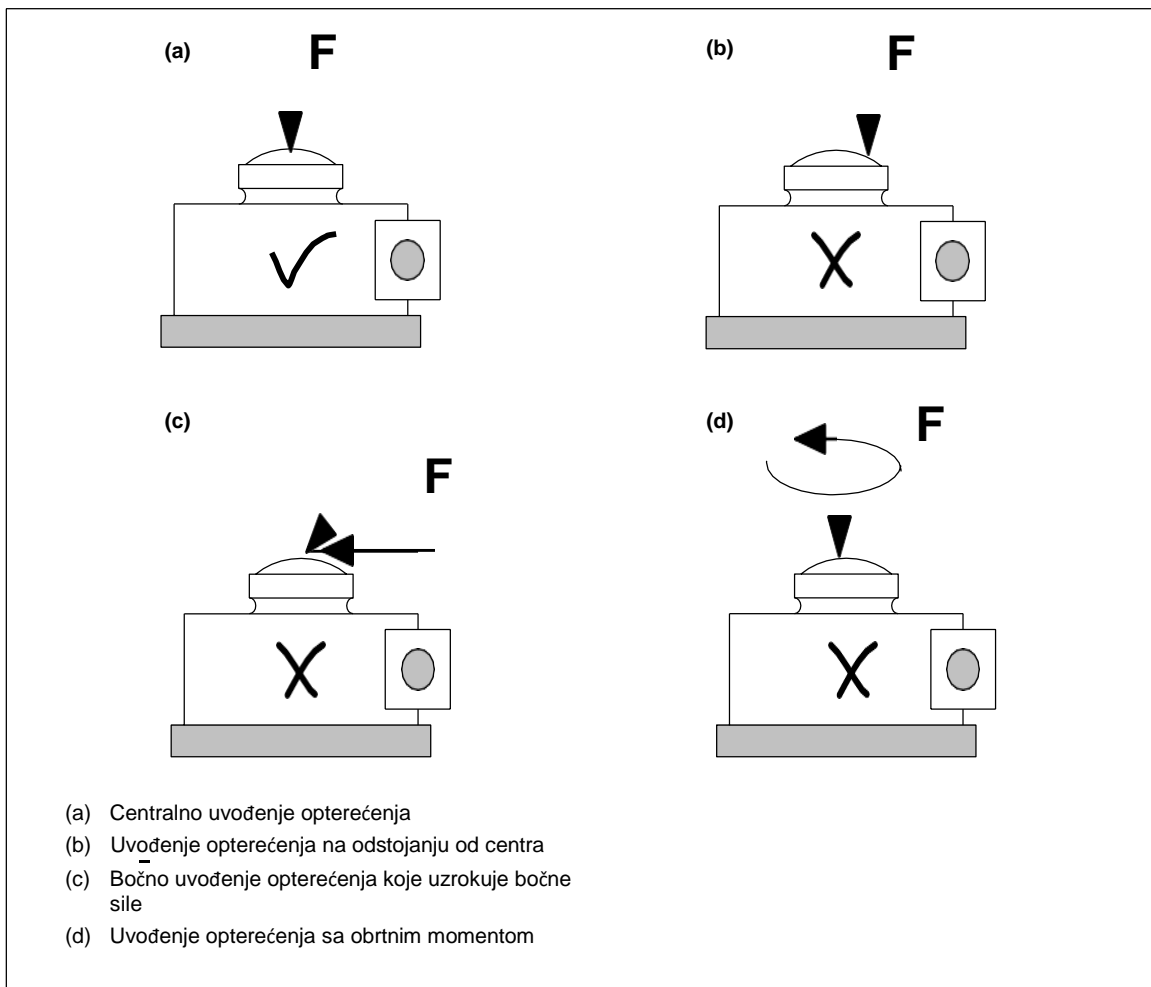
### 3.4 Uvođenje opterećenja na merne ćelije

Posebnu pažnju treba obratiti na tačke uvođenja opterećenja (sile) na merne ćelije, i to ne samo na tačku dodira između ćelije i opterećenja koje treba da izmeri, već i kontaktne površine između ćelije i površine na koju je postavljena. Komponente opterećenja koje deluju u smeru drugačijem od onog koji je specificovan za dato merenje, negativno će uticati na rezultate i potencijalno skratiti životni vek merne ćelije.

Smer i pravac opterećenja merne ćelije mora biti isključivo onaj koji je za nju propisan. Smer opterećenja je na mnogim HBM-ovim mernim ćelijama indikovano strelicom.

Bočne sile, kao i moment savijanja i obrtni moment, moraju biti izbegnute koliko god je to moguće. Slika 3.17 pokazuje ispravno opterećenje merne ćelije (a) i odabrane primere nepravilnog opterećenja, u vidu dijagrama (b, c, d).

- (a) Centralno uvođenje opterećenja
- (b) Uvođenje opterećenja na odstojanju od centra
- (c) Bočno uvođenje opterećenja koje uzrokuje bočne sile
- (d) Uvođenje opterećenja sa obrtnim momentom



**Slika 3-17** Primeri ispravnog i neispravnog opterećenja merne ćelije

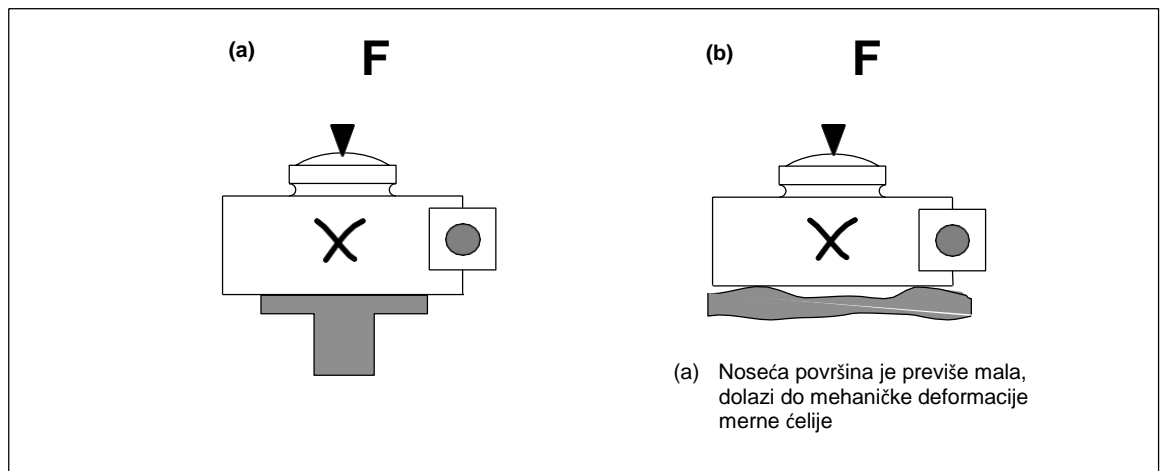
### 3.5 Površina na koju se ugrađuju merne ćelije

Merne ćelije moraju biti oslonjene na stabilnu, čvrstu površinu koja se neće deformisati prilikom opterećenja. Da bi se obezbedio ravnomeran prenos opterećenja sa baze merne ćelije na površinu na koju je oslonjena, merna ćelija mora biti ugrađena na nepomično, čvrsto postolje. Takođe je od suštinskog značaja da, ukoliko su merne ćelije ugrađene na postolje izrađeno u nepravilnom obliku, one bi trebalo da apsorbiraju glavne potporne sile koristeći potporne kaiševe. Postolje ispod merne ćelije mora biti dovoljno čvrsto da pruži potporne sile koje su adekvatne za dato opterećenje.

U određenim okolnostima postolje može biti značajno deformisano pod uticajem opterećenja, čak i kada nema uticaja na stabilnost sistema. Istovremeno, ovakve deformacije mogu učiniti da se postolje skupi ili potone. U tom slučaju, trebalo bi sva postolja da se promene na isti način, kako bi se izbeglo naginjanje, što bi rezultiralo neproporcionalnoj raspodeli opterećenja i generisalo bočne sile.

Ovo praktično znači da je rigidno, čvrsto postolje daleko bolje rešenje od postolja koje će promeniti oblik. U slučaju manje rigidnog postolja, ravnomerna deformacija svih postolja se izuzetno teško postiže, pa će čitava konstrukcija biti podložna deformaciji.

- (a) Noseća površina je previše mala, dolazi do mehaničke deformacije merne ćelije
- (b) Neravna noseća površina



Slika 3-18 Neodgovarajuća postolja za merne ćelije

### 3.6 Karakteristike mernih ćelija

Preciznost merne ćelije zavisi od njene namene. Kumulativne greške se obično kreću od 2% do 0,015% u zavisnosti od maksimalnog kapaciteta merne ćelije. U posebnim slučajevima merne ćelije mogu imati veću preciznost od projektovane. Davači koji imaju kumulativnu grešku manju od 20ppm-a su već proizvedeni. Što je veća zahtevana preciznost, to je veći napor potreban pri proizvodnji ćelije i kompenzaciji greške.

Opružni element u mernoj ćeliji podleže elastičnoj deformaciji prilikom opterećenja. Deformacija je veoma mala u slučaju ćelija baziranih na mernim trakama; **deformacija pri maksimalnom opterećenju** se tipično kreće između 0,05mm i 0,5mm, u zavisnosti od **maksimalnog kapaciteta**.

Uz mernu ćeliju obično ide i **uputstvo za upotrebu**. Ono sadrži važne tehničke podatke i druge informacije koje treba uzeti u obzir prilikom ugradnje opreme i puštanja u rad. Slika 3.19 prikazuje specifična opterećenja za merne ćelije.

Maksimalan kapacitet

Radno opterećenje

Granica bezbednog opterećenja

Tačka pucanja

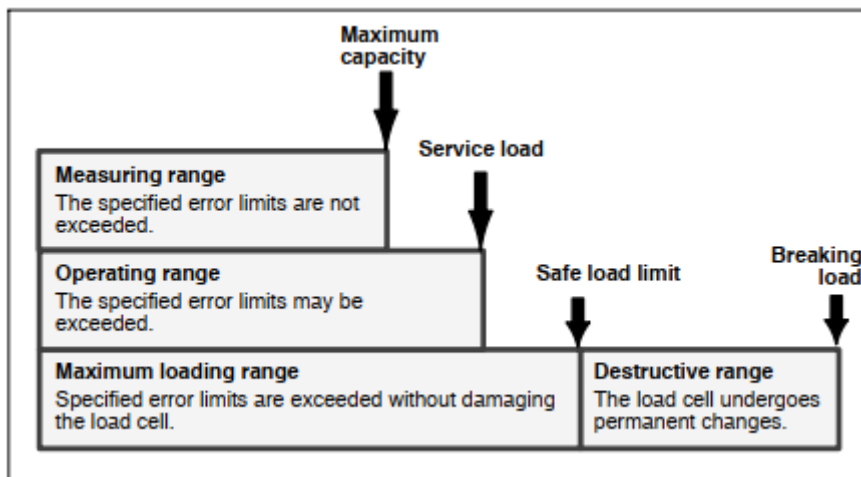
Merni opseg: ne prelaze se naznačene granice specifikovane greške

Radni opseg: granica specifikovane greške se možda prekoračuje

Maksimalan opseg opterećenja: granica specifikovane greške se prelazi bez oštećenja ćelije

Štetan opseg: merna ćelija podleže trajnim oštećenjima



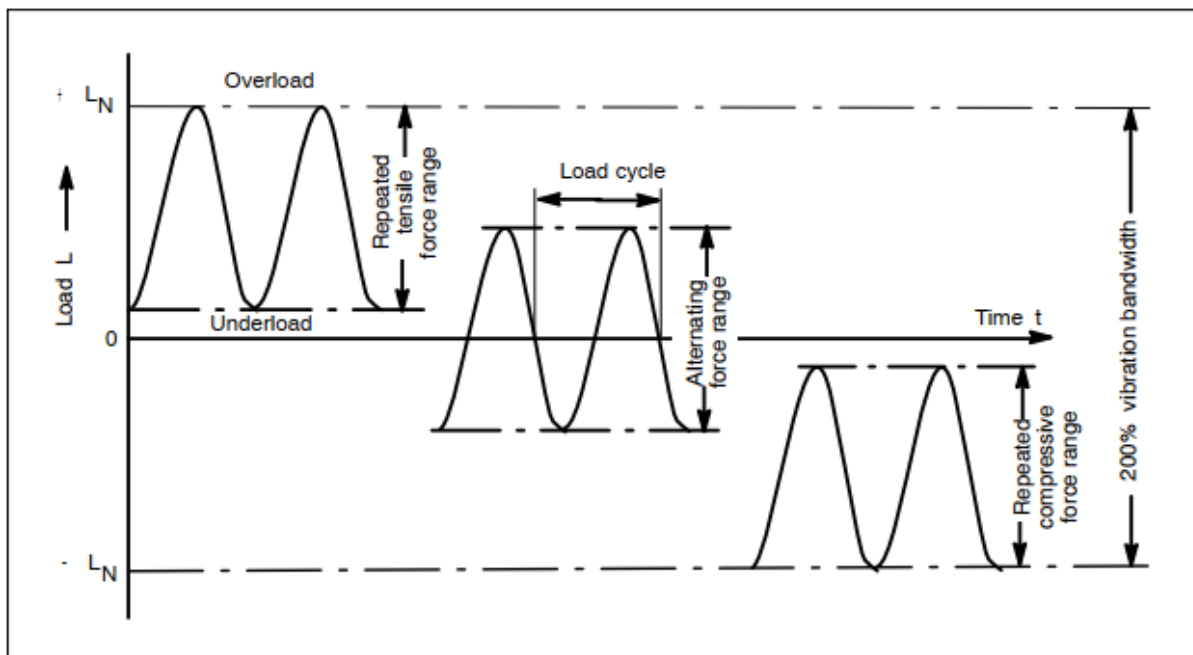


Slika 3-19 Koraci opterećenja za merne ćelije

**Maksimalan kapacitet** (koji se ponekad još zove i maksimalan opseg ili nominalno opterećenje) se odnosi na specifikovani merni kapacitet merne ćelije. On čini gornju granicu specifikovanog mernog opsega. Sva ostala specifična opterećenja se izražavaju u vidu procenta u odnosu na maksimalan kapacitet. Do **granice bezbednog opterećenja**, ne nastaje nikakvo oštećenje; ako se ona premaši, doći će do trajnog oštećenja. Veličina granice bezbednog opterećenja zavisi od tipa opružnog elementa; u mnogim slučajevima ona može dostići do 150% ili čak do 2000% maksimalnog kapaciteta. Uobičajeni tipovi oštećenja uključuju plastičnu deformaciju opružnog elementa. Čak i jedno jedino, kratko preopterećenje može biti dovoljno da trajno ošteti mernu ćeliju.

Plastična deformacija opružnog elementa stvara trajnu promenu u **nultom signalu** sa merne ćelije, što utiče na njena metrološka svojstva. Da bi bilo moguće proveriti da li merna ćelija dobro radi u bilo kom trenutku, preporučljivo je izmeriti i zabeležiti nulti signal sa svake nove merne ćelije.

Kada su u pitanju merne ćelije koje imaju opterećenje na zatezanje i pritisak, dva različita minimalna nulta signala su posledica različitog smera poslednjeg primenjenog opterećenja.



Slika 3-20 Dozvoljeno održivo vibraciono opterećenje

Dozvoljeno **održivo vibraciono opterećenje** se takođe izražava u vidu procenta maksimalnog kapaciteta. Slika 3.20 prikazuje primer merne ćelije sa opterećenjem na zatezanje i pritisak sa maksimalnim održivim opsegom vibracija na 80% od maksimalnog kapaciteta. Treba dodati da amplituda vibracije može biti na bilo kojoj tački između pozitivnog i negativnog maksimalnog kapaciteta. Čitav raspon između pozitivnog i negativnog maksimalnog kapaciteta iznosi 200%. Za određene merne ćelije maksimalan održivi opseg vibracija definitivno može preći 100%.

**Prirodna frekvencija** mernih ćelija obično prelazi 1kHz. Ona se, međutim, smanjuje čim se uvede opterećenje. Da bi se izbeglo ometanje signala pod uticajem rezonantnih vibracija, prirodna frekvencija čitavog sistema (to jest merne ćelije i uvedene mase) mora biti uzeta u obzir.

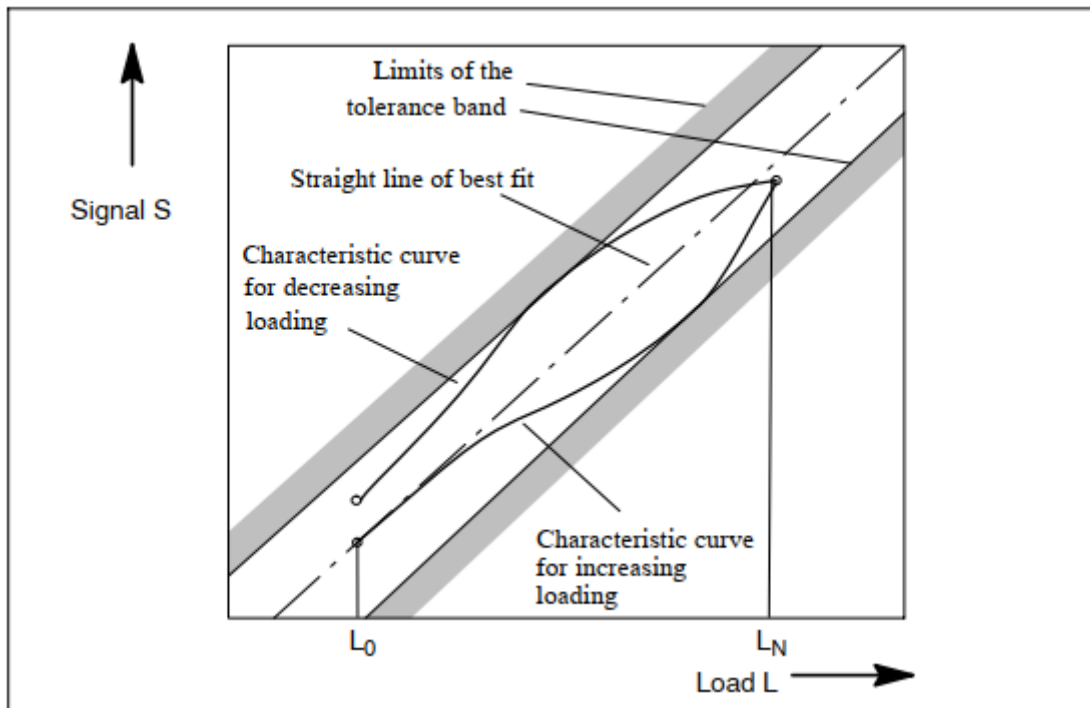
Kumulativna greška, prikazana na slici 3.21, uzima u obzir nelinearnost i histerezu merne ćelije. Kumulativna greška stoga izražava širinu opsega tolerancije na svakoj tački **krive osetljivosti merne ćelije**.

Granice tolerancije

Prava linija prikazuje najbolju poziciju

Karakteristična kriva osetljivosti za smanjeno opterećenje

Karakteristična kriva osetljivosti za povećano opterećenje



**Slika 3-21** Kumulativna greška. Dalja razmatranja na temu grešaka možete pronaći u 13. poglavlju – "Uticaj ometanja signala na rad merne ćelije".

### 3.7 Merni opseg mernih ćelija

Gornja granica mernog opsega merne ćelije se naziva **maksimalan kapacitet**, dok se donja granica naziva **nulto opterećenje**. Stoga će, prilikom izbora ćelije, maksimalan kapacitet zavisiti od najvećeg ukupnog upotrebljenog opterećenja. **Ukupno opterećenje** je maksimalna težina merene robe (**neto težina**) plus težina posude/pakovanja sa dodatnom opremom kao što su aktuator i drugi uređaji (tara).

Napomena: dinamičko preopterećenje opreme zbog oscilacija i drugih uticaja takođe mora biti uzeto u obzir. Dinamičko opterećenje se tipično dešava kada se posude pune na takav način da se roba neravnomerno dozira u njih, ili kada aktuator izazove neravnomernu dinamičku distribuciju težine.

Opterećenja kod kojih su ovi faktori sagledani moraju biti manja ili jednaka maksimalnom kapacitetu merne ćelije. Ona ni u kom slučaju ne smeju prelaziti **bezbednu granicu opterećenja** za određenu mernu ćeliju. Ako je moguće da će bezbedna granica opterećenja biti premašena, treba preduzeti odgovarajuće mere i ugraditi zaštitu na ćelije, kako ne bi došlo do trajnih oštećenja (takođe pogledajte poglavlje 6 – "Zaštita od prekomernog opterećenja").



### 4.1 Uvodne beleške

Prilikom vaganja posuda i praćenja nivoa napunjenosti, uticaj temperature, kao i propratnih horizontalnih sila i u odnosu na posudu i u odnosu na postolje moraju biti uzeti u obzir. Kruta instalacija sprečava ove pokrete i na kraju čini da horizontalne sile, ukoliko su dovoljno velike, što je često slučaj, dovedu do pogrešnog rezultata merenja. U takvim okolnostima, merne ćelije ponekad budu mehanički oštećene ili čak slomljene. Isto može da se dogodi i na tačkama uvođenja opterećenja, zbog dodatnog zateznog momenta i bočnih sila. Ovo može da se desi zbog prekomernog opterećenja ili uvođenja sila pod uglom. Stoga se preporučuje da se odaberu konfiguracije kod kojih su fluktuacije temperature i uticaj bočnih sila uzeti u obzir, ili još bolje, da se ovi uticaji izbegnu, ukoliko je moguće.

U naslovima koji slede objašnjena su rešenja koja mogu biti korisna prilikom rešavanja pojedinih problema, u zavisnosti od oblika posude.

Pribor za ugradnju može pomoći prilikom usklađivanja načina ugradnje sa uputstvom za konfiguraciju merne ćelije. Važni aspekti za otklanjanje smetnji mogu biti veoma različiti i zahtevaju primenu mera koje su specifične za svaku pojedinačnu primenu. Međutim, na kraju je projektni inženjer koji je detaljno upoznat sa konstrukcijom ćelije onaj koji donosi odluku o značaju svake pojedinačne promenljive. Za različite dizajne mernih ćelije, ovo osim različitih mogućnosti za uvođenje opterećenja, podrazumeva i veliki izbor alata i pribora za ugradnju.

### 4.2 Elastomerna noseća platforma

Tipičan elastomerni oslonac koji predstavlja noseću platformu sastoji se od nekoliko čeličnih ploča naslaganih jedna na drugu i slojeva gume pripojenih na njih. Čak i veoma mala sila će učiniti da se i gornja i donja površina na koje se uvodi opterećenje pomeraju paralelno jedna u odnosu na drugu. To omogućava gornjoj nosećoj ploči da se pomeri u stranu u slučaju delovanja bočne sile bez da se dodatno opterećenje prenosi na donju ploču merne ćelije. Ovim putem, horizontalna pomeranja do 15mm se mogu postići između posude i merne ćelije. Povratne sile se razvijaju simultano sa pomeranjem i vraćaju posudu u početni položaj. Sila deluje proporcionalno pomeranju i nezavisna je od težine tereta/opterećenja. U zavisnosti od tipa elastomernog oslonca, sila je efikasna do 800N. Ovaj princip može da uravnoteži čak i posude koje za 1,7° odstupaju od vertikale.

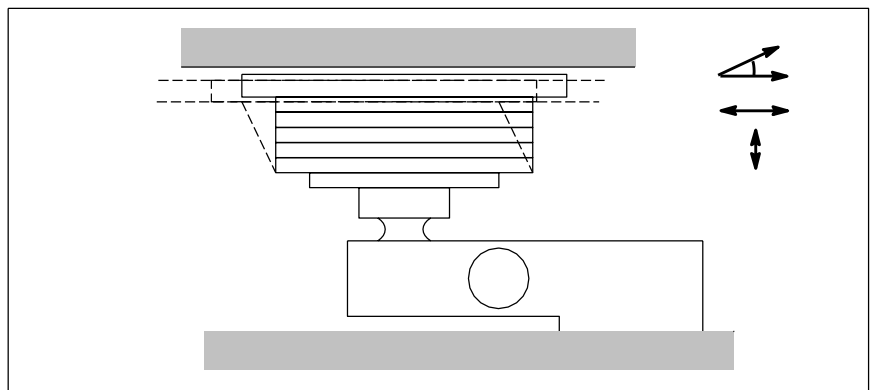
Naročito u slučaju udarnog opterećenja i oscilovanja, kao i prilikom pojave drugih vibracija koje su posledica spoljašnjih uticaja, 'pufer' efekat gumeno-metalnog oslonca ima dokazane

prednosti. Pored toga, ovaj tip oslonca i je odličan toplotni izolator, pošto slojevi smanjuju neželjeni prenos toplote između posude i merne ćelije.

Bočno pomeranje može biti ograničeno postavljanjem graničnika, čime će biti izbegnuta potreba za zglobnim elementima.

**Oppez:** Ako posuda tokom vaganja mora biti povezana sa cevi, gumeno-metalni oslonac će biti sabijen za oko 1mm pri maksimalnom opterećenju. Ovo je znatno više od deformacije koju bi pretrpela sama merna ćelija i može da dovede do velikih grešaka prilikom merenja, ukoliko se ne uzme u obzir.

Iako nema potrebe za konvencionalnim šipkama koje sprečavaju pomeranje, treba voditi računa da posuda uvek bude čvrsto fiksirana, naročito ako centar gravitacije odstupa od idealnog položaja. Kod merenja posuda, gumeno-metalni oslonac predstavlja ekonomično i lako primenljivo rešenje koje je odgovarajuće ukoliko se zahteva nizak do srednji opseg preciznosti.



Slika 4-1 Gumeno-metalni oslonac tipa ZEL sa prikazanim stepenom slobode prilikom apsorpcije opterećenja

## 4.3 Klatna merna ćelija

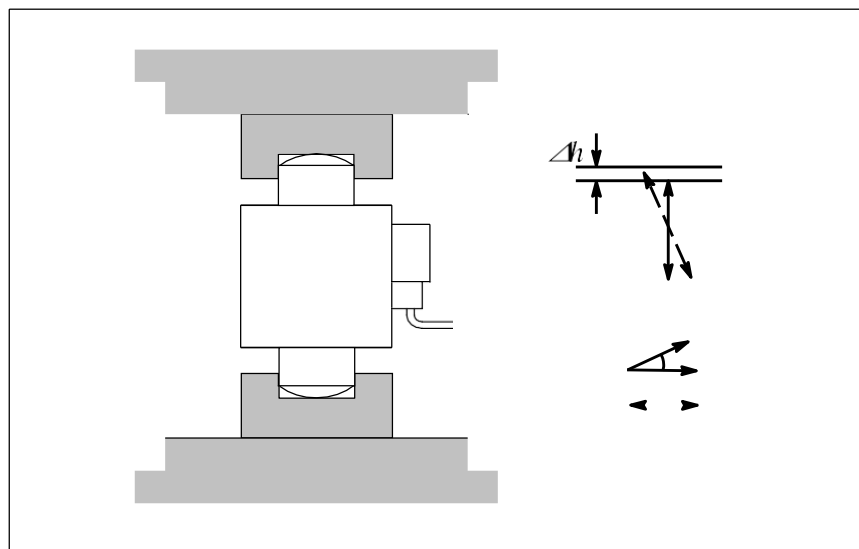
### 4.3.1 Samocentrirajuća klatna merna ćelija

Ovaj pojam se odnosi na merne ćelije koje su projektovane i konstruisane da se same vrte u početni položaj ukoliko je uvođenje opterećenja bočno pomereno (zakrivljeno). Metod se bazira na dobro poznatom fizičkom principu ravnoteže. Merna ćelija se ponaša kao klatno, pošto je njena visina manja od ukupnog prečnika krive dobijene od zakrivljenja površine na koju se uvodi opterećenje. Svako pomeranje dovodi do povećanja opterećenja, što kao posledicu ima vraćanje u prvobitni položaj.

Maksimalno dozvoljeno pomeranje koje je specificovano u tehničkom listu – na primer u slučaju ćelije tipa C16/40t maksimalno pomeranje od 13mm/5° - ni u kom slučaju ne sme biti premašeno, jer bi to gotovo izvesno oštetilo mernu ćeliju i negativno uticalo na uvođenje sile. Problem se lako prevazilazi postavljanjem adekvatnih podesivih graničnika na mestu ugradnje.

Sve što je potrebno za ekonomično i jednostavno rešenje ovog problema jeste postaviti HBM-ov potporni element iznad i ispod merne ćelije. Neželjeno rotaciono kretanje oko sopstvene ose se sprečava ugrađenim elementom koji sprečava rotaciju.

Samocentrirajuće merne ćelije C16 firme HBM u ponudi su tipa klatnih ćelija maksimalnog mernog opsega od 20t do 200t. One su odgovarajuće kada se želi postići merna preciznost srednjeg do visokog opsega.



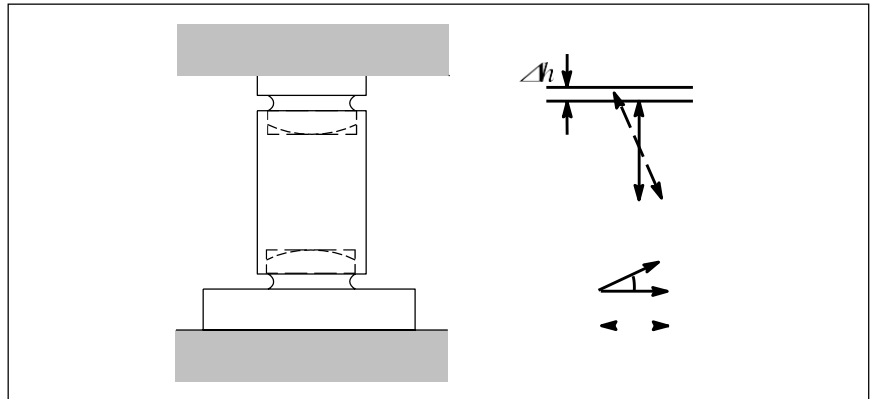
Slika 4-2 Prikaz stepena slobode merne ćelije C16

#### 4.3.2 Oslonci za klatnu mernu ćeliju

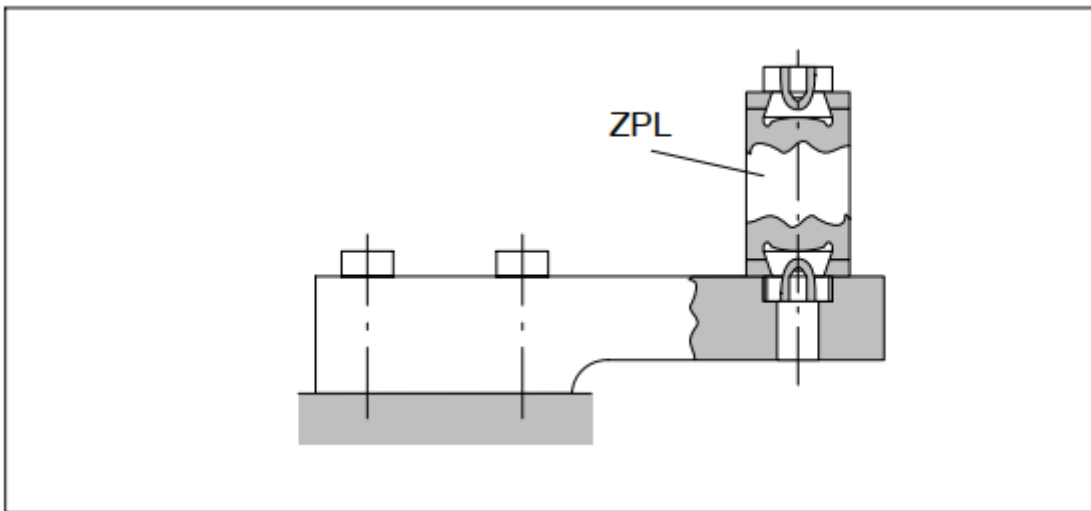
Upotrebom klatnih ležajeva i oslonaca, konzolne merne ćelije kao i one tipa C postižu iste karakteristike kao i samo-centrirajuće merne ćelije. Ovo omogućava visoku preciznost opreme za merenje posuda. Dizajn dodatnog pribora za ugradnju klatnih ležajeva dozvoljava pomeranje od oko 3° bez značajnijih grešaka prilikom merenja. Horizontalno pomeranje (smicanje) tačaka oslonca takođe se toleriše u okviru tih granica. Dok klatni ležajevi tipa ZPL najčešće imaju dve tačke oslonca i jedan cilindrični element oslanjanja, oslonci tipa ZPS ispunjavaju zahtevanu funkciju sa samo jednim cilindričnim osloncem i jednim gornjim EPO3 osloncem po komadu.

Ako je klatni ležaj smaknut, opterećenje će biti malo veće u poređenju sa onim koje je bilo u početnom položaju. Ovo će pokrenuti povratnu silu koja sistem vraća u prvobitni položaj. Klatni ležajevi i oslonci mogu se stoga posmatrati kao samo-centrirajući elementi.

Njima je lako rukovati i jednostavni su za ugradnju. Nisu potrebni dodatni bočni podupirači da bi se fiksirala posuda ili merna platforma/tas. Međutim, preporučljivo je ograničiti bočno pomeranje graničnicima. Kao u slučaju gumeno-metalnog oslonca, iz bezbednosnih razloga mora se voditi računa da se posuda ne odigne i ne prevrne.



Slika 4-3 Merna ćelija C2A sa klatnim osloncem ZPS



Slika 4-4 Merna ćelija Z7 sa klatnim osloncem ZPL

#### 4.4 Oslonci sa kugličnim ležajem sa dva stepena slobode

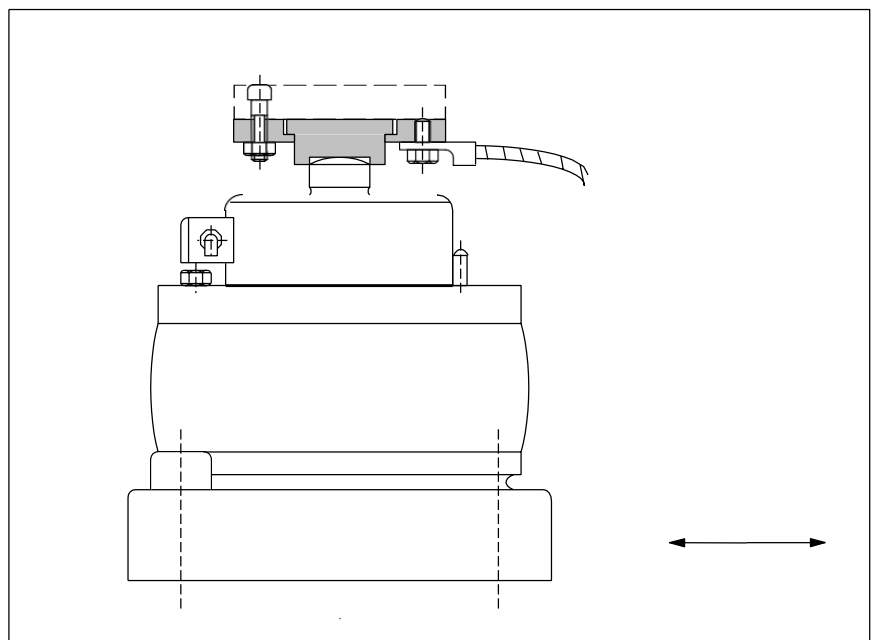
Oslonci sa više stepeni slobode dozvoljavaju značajno bočno pomeranje tačaka oslonca. Ovo pomeranje treba da bude omogućeno kako bi postolje dozvolilo horizontalnu deformaciju posude, koja može da se dogodi zbog promena temperature ili sistemskog pritiska, na primer. Oslonci sa više stepeni slobode se obično koriste u postoljima sa mernim ćelijama. Tokom ugradnje, merna ćelija se postavlja na oslonac sa dva stepena slobode uz pomoć centrirajućih kočica. Ona ostaje vertikalna čak i kada postoji bočno pomeranje. Prilikom korišćenja oslonaca sa dva stepena slobode, sila se uvodi na mesto opterećenja merne ćelije preko gornjeg oslonca. Maksimalno dozvoljeno horizontalno pomeranje prilikom korišćenja oslonaca sa dva stepena slobode zavisi od maksimalnog mernog opsega date merne ćelije, ali se generalno kreće između  $\pm 10\text{mm}$  i  $\pm 25\text{mm}$ . Sila koja je potrebna za bočno pomeranje čini do 0,5% opterećenja koje deluje na ćeliju.

Pošto oslonac sa dva stepena slobode nema samo-centriranje, neophodna je veoma čvrsta zaštita od bočnih sila.

Prilikom upotrebe oslonca sa dva stepena slobode, pre nego što opremu stavite u rad, ne zaboravite da uklonite šrafove za fiksiranje gornje ploče oslonca. Oni moraju biti zamenjeni kraćim šrafovimama za fiksiranje.

Oslonac sa dva stepena slobode kojima šrafovi za fiksiranje nisu uklonjeni, ne može da se pomera bočno i ponaša se kao čvrsto postolje. Princip ovakvog oslonca podrazumeva da postolje može da se pomera do graničnika tokom rada.

Slika 4.5 prikazuje konstrukciju fleksibilnog postolja na kome se nalazi merna ćelija. Merna ćelija je oslonjena na oslonac sa dva stepena slobode, a opterećenje se na nju prenosi preko gornjeg oslonca (EPO-a).



**Slika 4-5** Merna ćelija za merenje sabijanja sa osloncem sa dva stepena slobode i gornjim osloncem (EPO-om) kao ugradnim elementima

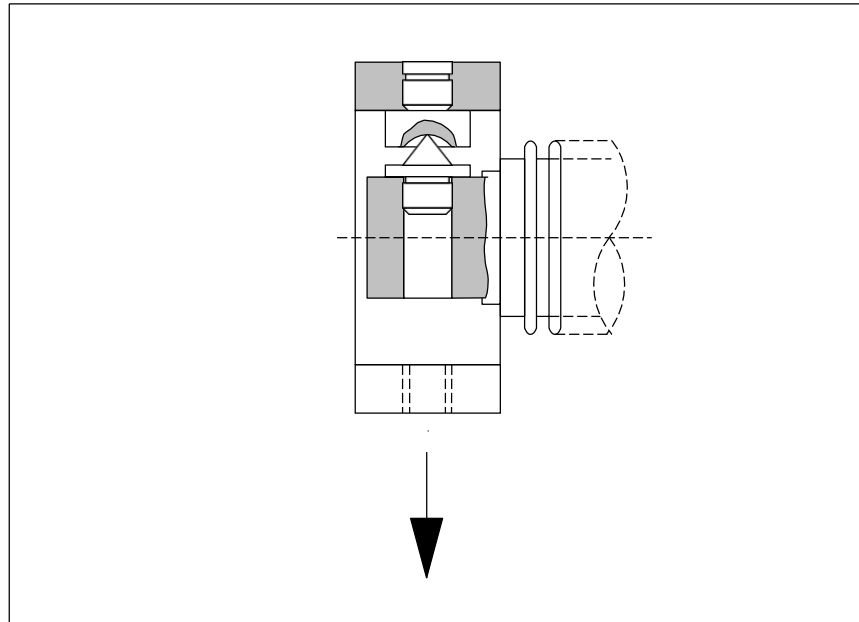
## 4.5 Pomoćne konstrukcijske komponente

### 4.5.1 Konusne tačke i utičnice

Konvencionalno ugrađene vage postižu izuzetno visok nivo preciznosti koristeći principe mehaničkog vaganja. Ova dobro proverena metoda primenljiva je na pojedinačne merne ćelije uz upotrebu dodatne opreme za ugradnju kod hibridnih vaga, i/ili konusnih tačaka i utičnica.

Ova oprema za ugradnju često se primenjuje u vagarskoj tehnologiji i zahteva još veću preciznost, uključujući i onu za koju se zahteva zvanično odobrenje. Uslovi koji podrazumevaju dinamičko opterećenje ili vibracije nisu pogodni za ovu primenu.

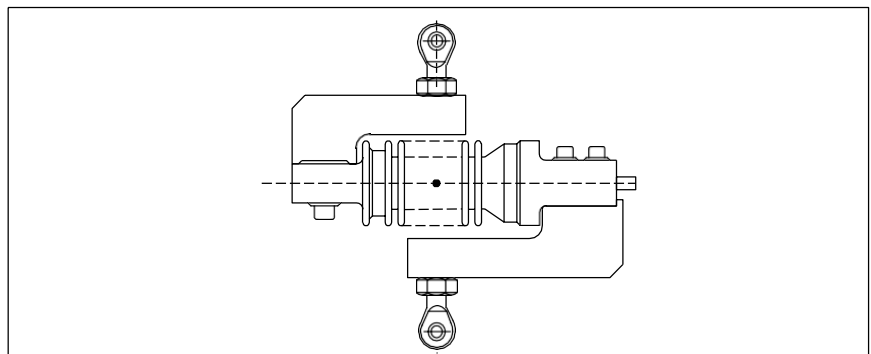




**Slika 4-6** Merna ćelija Z6 sa konusnim tačkama ZK i utičnicama

#### 4.5.2 Povratne informacije o sili

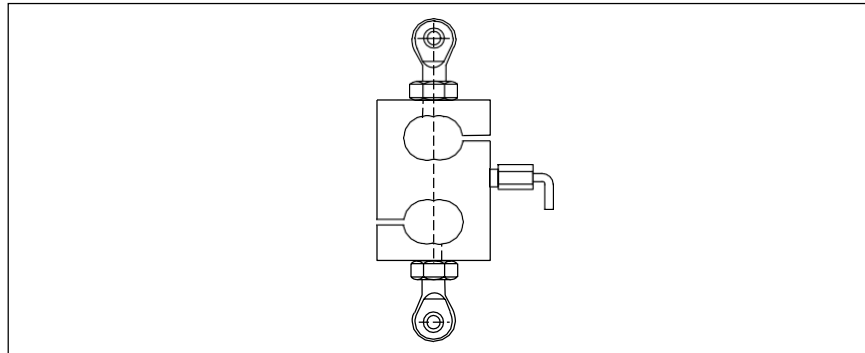
Za povratne informacije o sili se uz merne ćelije koriste konzolni opružni elementi, i omogućavaju opterećenje silama zatezanja i sabijanja bez momenta duž njihovog pravca delovanja. Njihova upotreba je ograničena na primene kod kojih se koristi samo jedna merna ćelija po platformi/postolju, ili se na njih mogu ugraditi zglobni elementi sa obe strane ukoliko teret visi.



**Slika 4-7** Merna ćelija Z6 sa povratnim informacijama o sili ZRR

#### 4.5.3 Zglobni elementi

Zglobni elementi su pogodni za upotrebu u slučaju kvazi-statičnog zateznog opterećenja (promenljivo opterećenje učestalosti do 10Hz). Svorni zglob se dalje vezuje na viljušku. U slučaju dinamičkog opterećenja velike učestalosti treba koristiti drugačiji pribor.

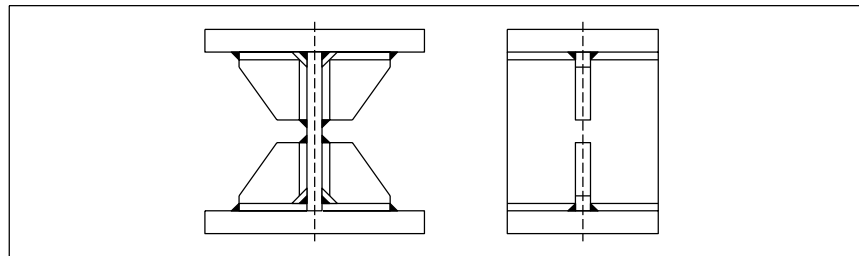


Slika 4-8 RSC sa zglobnim elementima ZGW

#### 4.6 Fiksirani i nagnuti oslonci

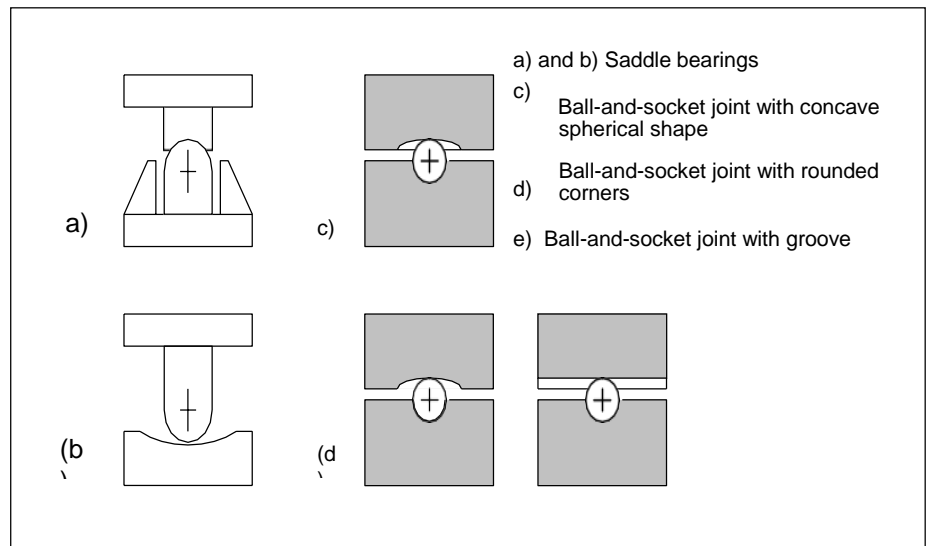
Ako stope posude nisu oslonjene na merne ćelije, koriste se ili fiskirani ili nagnuti oslonci.

Kada se koristi fiksni oslonac, moguće je da će se posuda u nekoj meri oslanjati na postojeće elemente konstrukcije. Dijagram pokazuje fiksni oslonac firme HBM, koji se sastoji od dvostrukog T potpornog elementa. Elementi sadrže jasno određenu fleksibilnu površinu. Fiksirani oslonac takođe obujmljuje posudu u horizontalnom pravcu, zbog čega nije neophodno upotrebiti dodatne zglobne elemente. Treba imati u vidu da se fleksibilna površina blago savija kao posledica deformacije merne ćelije, dovodeći do izmenjenog mernog signala i pogrešnih rezultata merenja. Ipak, ovaj negativan uticaj može se značajno smanjiti kalibracijom definisanih masa.



Slika 4-9 Fiksirani oslonci firme HBM

Prilikom upotrebe nagnutih oslonaca praktično nema promene mernog signala kako je prethodno opisano, pošto u ovom slučaju nema primetnog **opterećenja savijanjem**, već samo neznatnog trenja koje je posledica kotrljanja. Sa druge strane, efekat horizontalnog obujmljivanja je značajno manji kod nagnutih oslonaca nego kod fiksiranih, tako da zglobne elemente ponekad ipak treba upotrebiti u zavisnosti od aplikacije.

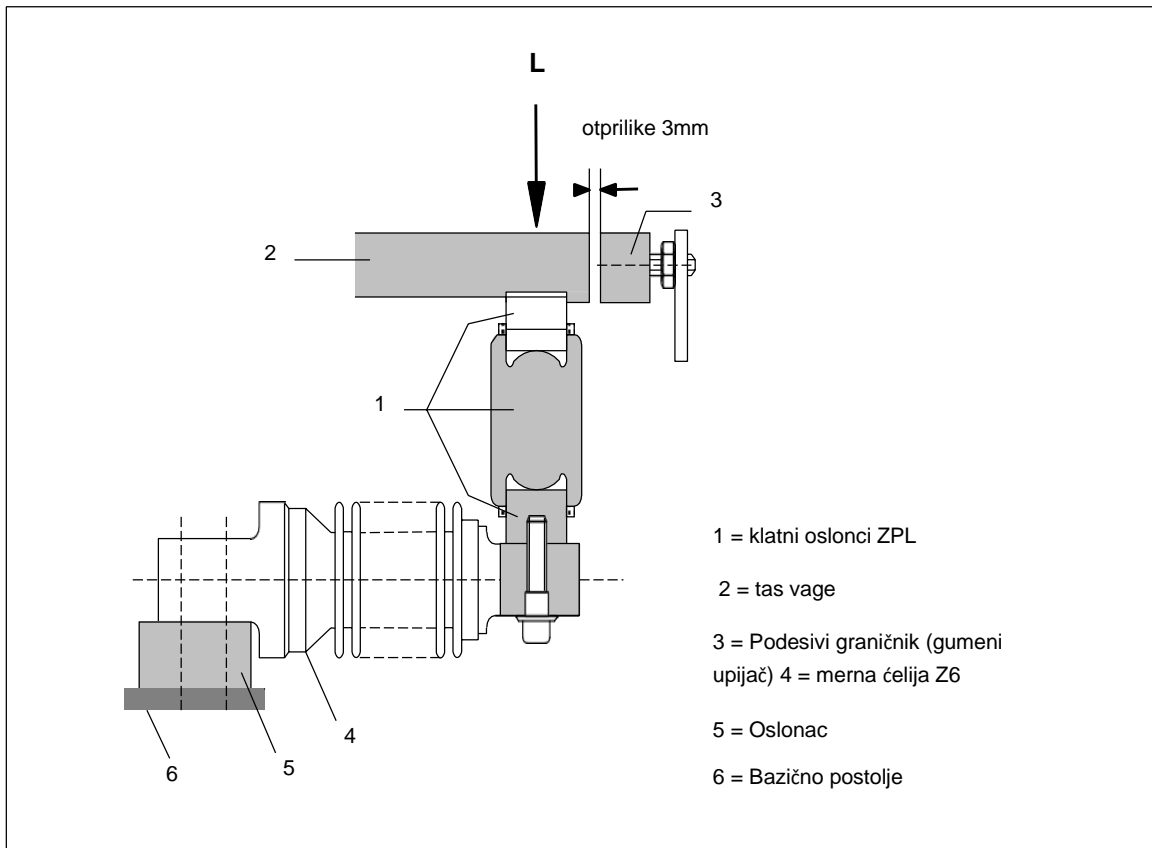


**Slika 4-10** Primeri nagnutih oslonaca

## 4.7 Umirivanje posude

### 4.7.1 Graničnici

Prilikom konstrukcije vage za vaganje posuda, projektovanje se oslanja na merne ćelije koje se ili ugrađuju uz pomoć opreme za ugradnju koji omogućava da dođe do smicanja/pomeranja, ili su i same pokretne. U zavisnosti od mehaničkog principa u datoj situaciji, oprema za ugradnju je samo-centrirajuća ili ima mogućnost da se vrati u prvobitni položaj. Ovo zahteva upotrebu mehaničkog graničnika na rastojanju maksimalno dozvoljenog bočnog pomeranja. Primera radi, graničnici postavljeni pod uglom ili gumeni upijači dokazano dobro funkcionišu u ovom kontekstu.

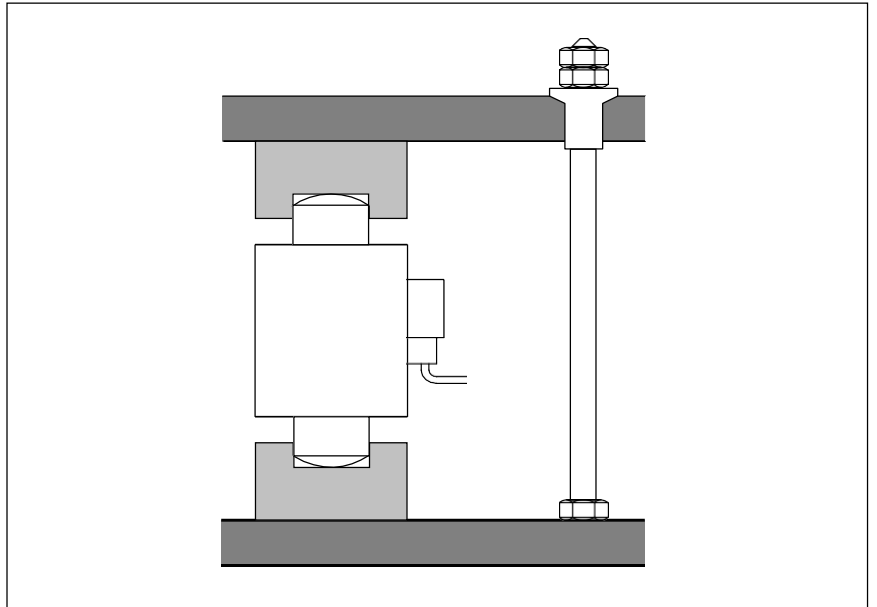


**Slika 4-11** Graničnici

#### 4.7.2 Zaštita od odizanja

Ukoliko se centar gravitacije posude nalazi iznad tačaka oslonca, i ako ništa nije učinjeno da bi se umanjile posledice suše i drugih spoljašnjih sila, posudu treba zaštititi od prevrtanja i odizanja.

Ovo se postiže upotrebom još jednog niza graničnika ili čak specijalnog elementa za sprečavanje odizanja. Zaštita od odizanja se može postići postavljanjem navojnih šipki u vertikalni položaj blizu tačaka oslonca. Šipka sa navojem, koja mora biti bez kontakta, uvlači se kroz rupu u podnožju pored posude. Maksimalno rastojanje između podkonstrukcije i postolja posude se zatim podešava pomoću matice na navojnoj šipki. Veličina rupe u stopi posude se takođe može koristiti za ograničavanje maksimalnog bočnog pomeranja.



Slika 4-17 Zaštita od odizanja

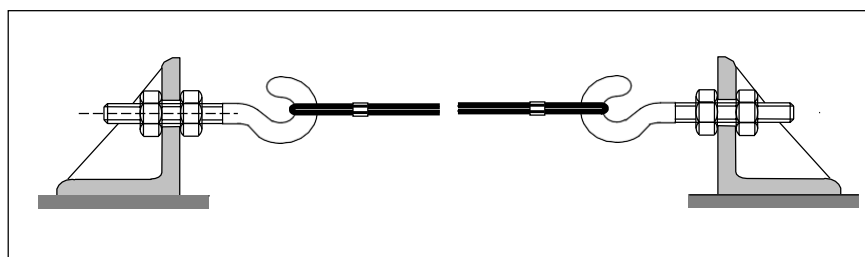
#### 4.7.3 Zaštita od bočnih sila

Ako koristite oslonce sa više stepeni slobode koji se ne mogu naknadno podešavati , preporučljivo je koristiti držače kao sredstvo za zadržavanje i fiskiranje posude. Držači moraju biti dimenzionisani tako da apsorbuju spoljašnje sile, dok dozvoljavaju da se samo male sile suprotstavljaju kretanju posude u pravcu merenja.

Sledeći tipovi držača su se pokazali pouzdanim:

#### Rastegnuti kablovi/užad:

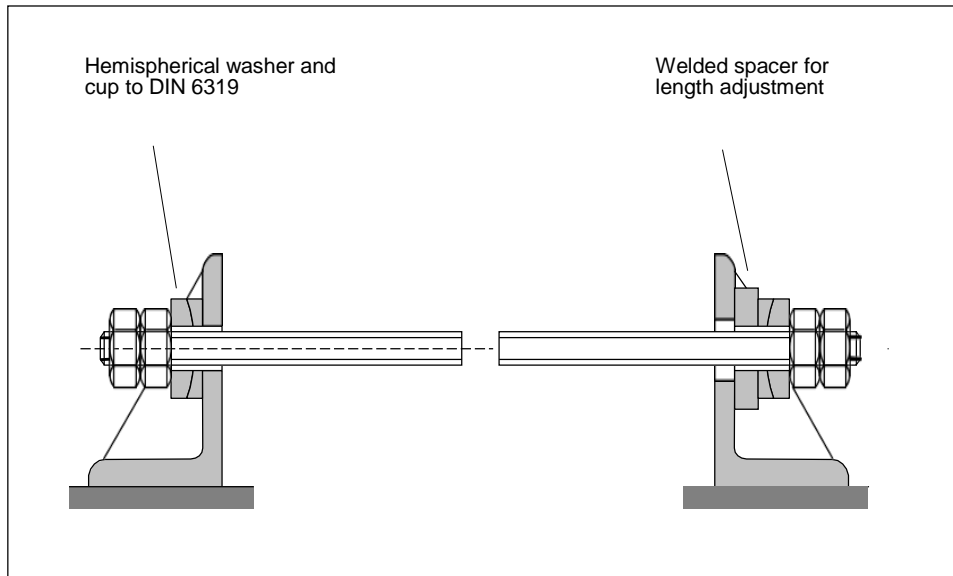
Oni ne prenose sile u vertikalnom pravcu i stoga su veoma dobri u sprečavanju neželjenog uticaja sile.



Slika 4-13 Rastegnuti kabel

#### Cevasti držači:

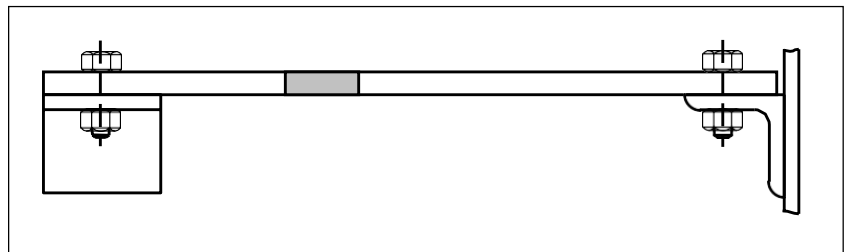
Oni proizvode zatezni napon u uzdužnom pravcu tokom delovanja horizontalnih sila. To znači da se za uspešno fiksiranje moraju koristiti dve cevi/dva držača po osi.



Slika 4-14 Cevasti držači

#### Ravni držači:

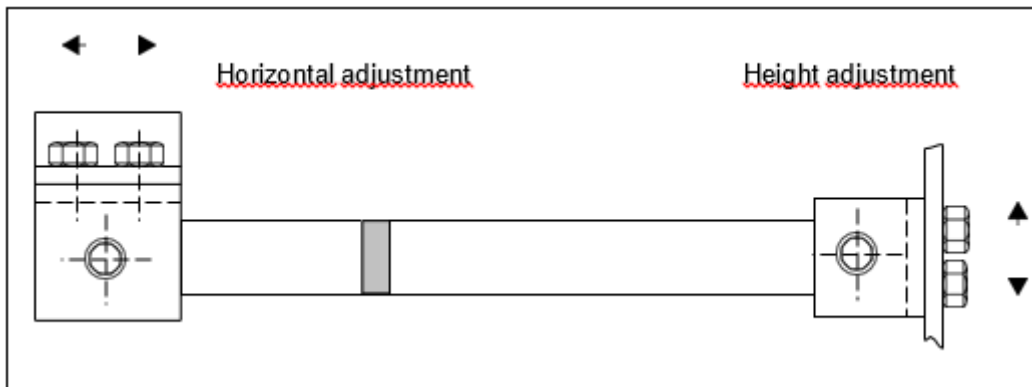
Kod ravnih držača povećanje horizontalnog pomeranja proizvodi aksijalnu silu. Vertikalno pomeranje izaziva savijanje što dovodi do uticaja bočnih sila (force bypass). Ipak, pošto je ravni držač savijen u smeru u kome je fleksibilan, efekti su relativno blagi čak i kada je u pitanju uvijanje/torzija velikih poprečnih preseka ili bilateralno naprezanje. Treba obratiti pažnju na bočne/neželjene sile koje mogu nastati prilikom kalibracije.



Slika 4-15 Ravni držači

#### Zašrafljeni držači:

Zašrafljeni držači obezbeđuju minimalne neželjene sile u vertikalnom pravcu. S druge strane, svako blago nagnjanje koje je već prisutno u držačima može izazvati zatezanje i stvaranje sila trenja koje dovode do vertikalnih neželjenih sila. Zbog toga moraju biti montirani sa velikom pažnjom. Posuda takođe mora biti fiksirana na takav način da bilo kakvo pomeranje do kojeg dođe ne može izazvati nagnjanje učvršćenih držača.

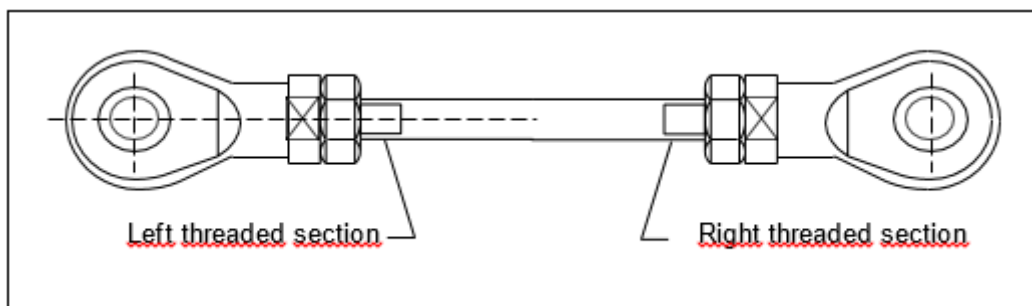


Slika 4-16 Zašrafljeni držači

### Cevasti držači sa ušicama:

Cevasti držači sa ušicama ponašaju se na isti način kao i zašrafljeni držači. Glavna razlika je u tome što montaža zadržnih zglobova iz svih smerova sprečava naginjanje. Osim što je potrebno horizontalno poravnanje držača tokom montiranja, na cevaste držače sa ušicama ne utiču tolerancije proizvodnje i ugradnje u dizajnu posude.

Ušice treba da budu zaštićene kako bi se sprečilo zaglavljivanje njihovih zglobova, posebno kada se koriste na otvorenom.



Slika 4-17 Cevasti držači: zglobni elementi



### 5.1 Uvodne beleške

U zavisnosti od tipa mernih ćelija koje se koriste, one mogu da obavljaju određen broj dodatnih zadataka van svojih redovnih mernih funkcija, kao što su učvršćivanje ili ankerisanje: na primer, korišćenjem konfiguracije ušrafljenih mernih ćelija. Ipak, u zavisnosti od toga kako definišemo problem, takve dodatne funkcije brzo nailaze na ograničenja. Ako, na primer, bočna sila deluje na mernu ćeliju povrh sile koju indukuje masa koju merimo, dobićemo neprecizne rezultate merenja. U ekstremnom slučaju, preopterećenje može da dovede do oštećenja merne ćelije. Međutim, neispravna opterećenja ovog tipa mogu se izbeći u velikom broju slučajeva, ako se adekvatno koristi odgovarajući pribor za ugradnju. Merna ćelija u kombinaciji sa pratećim priborom za ugradnju čini opremu potpunom i funkcionalnom. Takvi funkcionalni kompleti, ili merni moduli, HBM proizvodi i sastavlja u svojim postrojenjima pre isporuke. Moduli mogu da se ugrade na licu mesta i da se odmah puste u rad bez prethodne pripreme.

Pojedinačne komponente mernih modula se nude u paketu, u zavisnosti od tipa i načina korišćenja:

- gornja i donja ploča za ugradnju koje se pričvršćuju za osnovu ili drugi element konstrukcije
- pribor za uvođenje sile
- samo-centrirajući mehanizam sa zglobnim ležajevima u slučaju delovanja bočne sile
- horizontalni zglobovi za stabilizaciju u slučaju delovanja bočne sile
- otpusni element u slučaju simultanog skidanja tereta sa modula

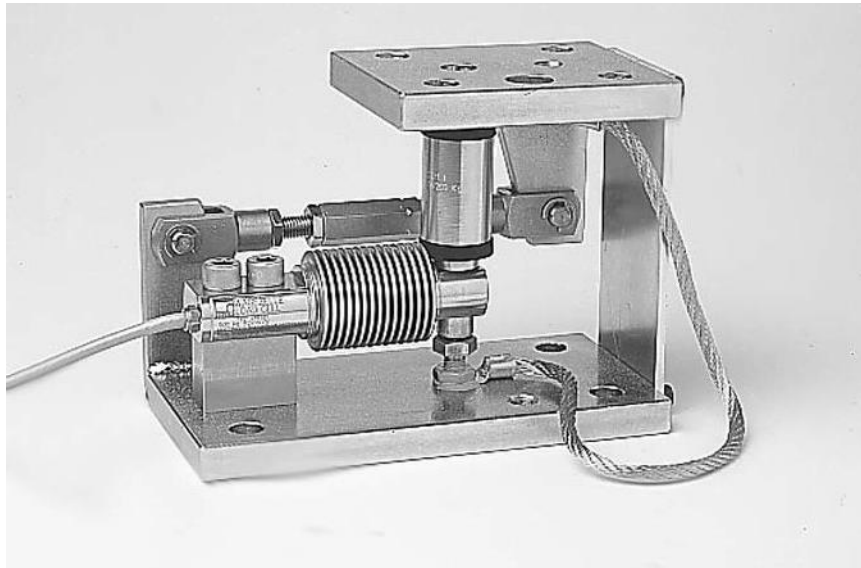
### 5.2 Odabrane karakteristike različitih mernih modula firme HBM

Moduli su opremljeni mernom ćelijom klase D1 koja je u skladu sa propisima OIML R60. Odgovaraju i u aplikacijama koje zahtevaju zvanična odobrenja.

- održavanje je besplatno
- konfiguracija štedi prostor zbog minimalne ukupne visine
- laka ugradnja
- isporučuju se u galvanizovanom i nehrđajućem čeliku



- na zahtev se mogu isporučiti moduli za rad u ekstremnim okruženjima (sa oznakom EEx)
- opremljeni su bočnim zglobovima
- Z6 ćelija sprečava preopterećenje



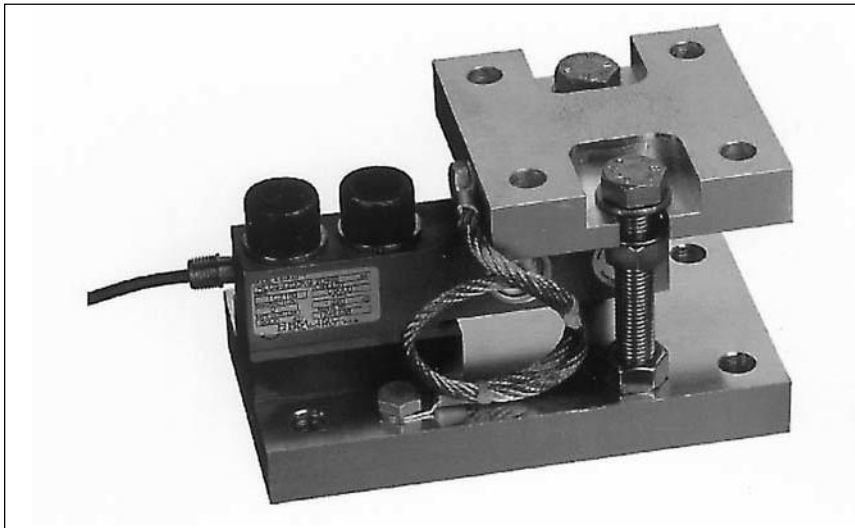
**Slika 5-1** Merni modul Z6: 50kg do 500kg (mala konfiguracija)



**Slika 5-2** Merni modul C2A: 1t do 10t



**Slika 5-3** Merni modul C16: 20t do 200t



Slika 5-4 Merni modul HLC: 550kg do 4,4t

### 5.3 Prilagođavanje mernog modula odabranoj primeni

Važno je napomenuti da kada su merni moduli u pitanju, bočni zglobovi mogu da podnesu silu koja ne prelazi maksimalnu naznačenu vrednost. Da biste sprečili oštećenja, vodite računa da se maksimalni merni opseg ni u kom slučaju ne premašuje. Ako ne možete biti sigurni, potrebno je preduzeti dodatne zaštitne mere. Pošto ne može biti prihvatljiva ni jedna sila koja preseca pravac kretanja bočnih zglobova, samo povratna sila sa oslonaca će biti od pomoći.

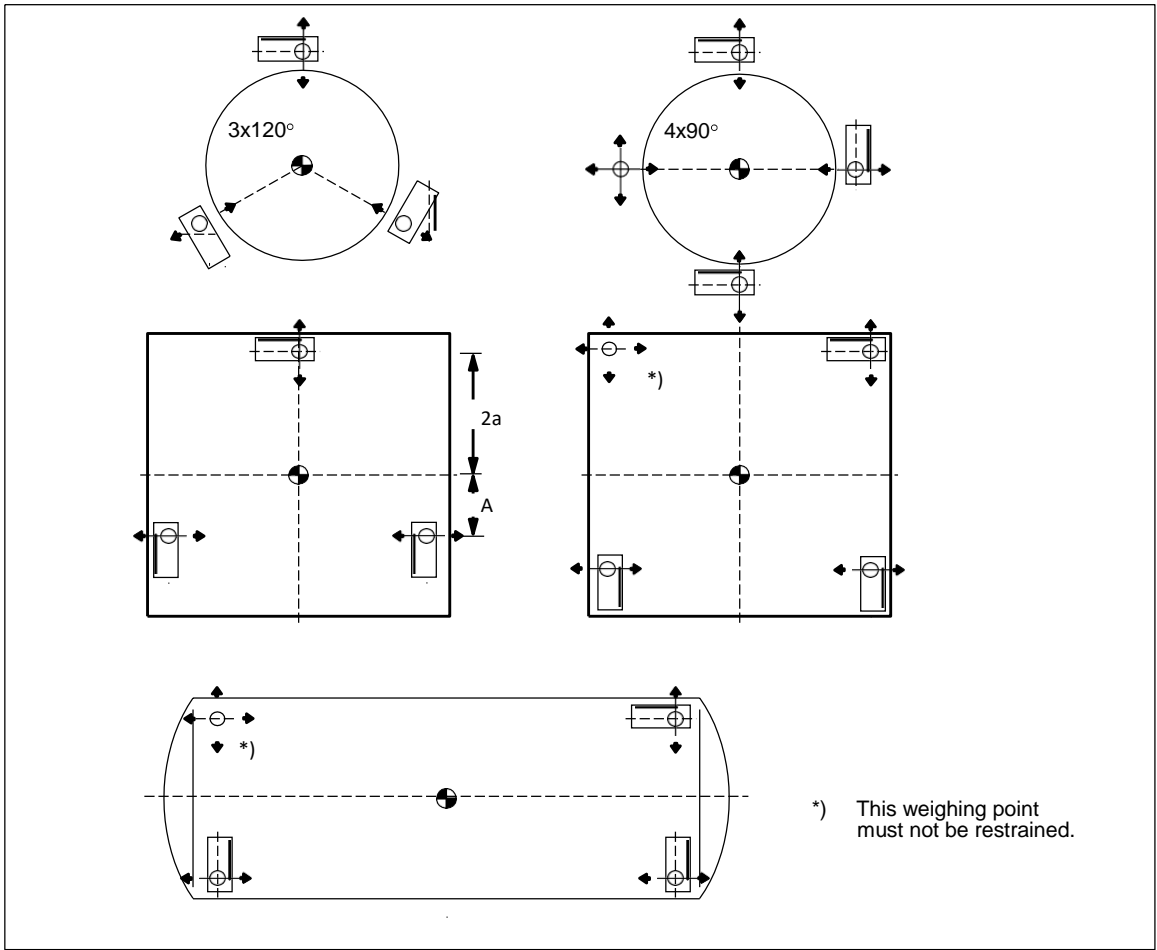
Pre ugradnje modula, najbolja moguća konfiguracija treba da bude jasna i određena. Bilo kakvi posebni uslovi, kao što su uticaj vetra, promena zapremine posude koja se važe, uticaj bočnih sila, širenje ili uticaj temperature, moraju biti uzeti u obzir prilikom dizajna modula. Dok, sa jedne strane, zglobovi moraju bez izuzetka apsorbovati iznenadne sile, temperaturno širenje ne sme biti sprečeno, čak i ako može značajno uticati na intenzitet sile.

Pravac ugradnje mernih modula predložen od strane firme HBM treba uzimati samo kao smernicu. Za svaki pojedinačni projekat konfiguracija mernih modula mora biti posebno podešena za statička, dinamička i temperaturna opterećenja i adekvatno podešena.

### 5.4 Fiksni oslonci kao ekonomična zamena za module

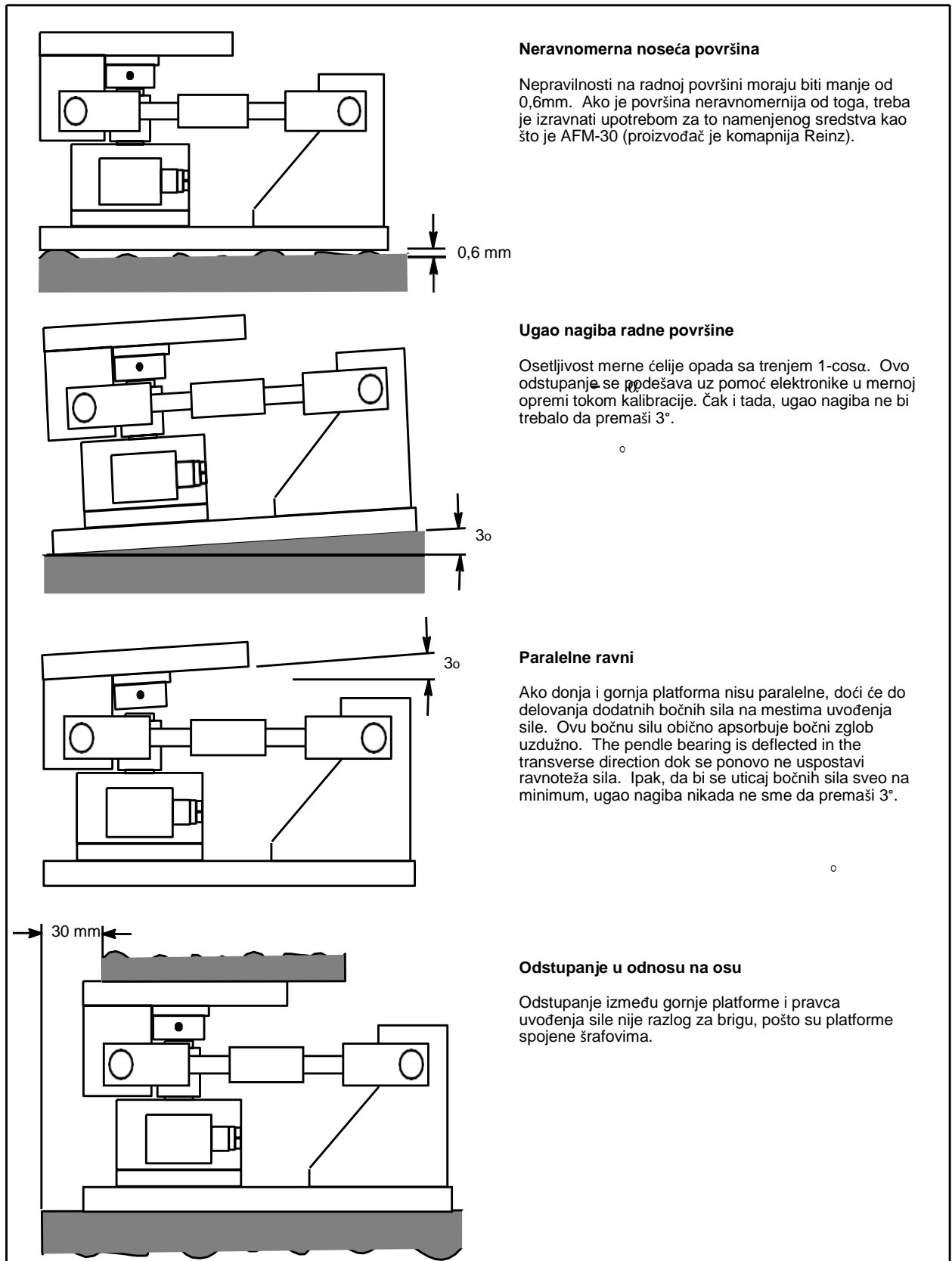
Fiksni oslonci mogu biti korišćeni ili kao dodatni pribor za ugradnju modula ili umesto njih. U slučaju zamene mernih modula osloncima, troškovi materijala i ugradnje mogu biti značajno smanjeni koristeći samo jedan ili dva merna modula u zavisnosti od oblika posude. Međutim, dovoljno precizne rezultate merenja je moguće postići samo kod posuda čiji je položaj centra gravitacije u vertikalnom smeru nezavistan od sadržaja kojim se posuda puni. Ovo je slučaj **jedino** kada su u pitanju tečnosti i pojedini gušći materijali.

Čak i u ovom slučaju, neophodno je uzeti u razmatranje kako najbolje postaviti čvrste oslonce u odnosu na merni modul. Fiksni oslonci su najčvršći duž linije bočnog zadržnog zgloba, a maksimalnu fleksibilnost imaju u pravcu normalnom na nju. Sile uticaja vetra i njihovog uticaja na rezultat merenja takođe moraju biti uzete u obzir u ovom slučaju.



Slika 5-5 Primeri ugradnje: merni moduli koji upotrebljavaju zglobove za fiksiranje

## 5.5 Posledice neodgovarajuće ugradnje



### Neravnomerna noseća površina

Nepravilnosti na radnoj površini moraju biti manje od 0,6mm. Ako je površina neravnomernija od toga, treba je izravnati upotrebom za to namenjenog sredstva kao što je AFM-30 (proizvođač je kompanija Reinz).

### Ugao nagiba radne površine

Osetljivost merne ćelije opada sa trenjem  $1-\cos\alpha$ . Ovo odstupanje se podešava uz pomoć elektronike u mernoj opremi tokom kalibracije. Čak i tada, ugao nagiba ne bi trebalo da premaši  $3^\circ$ .

### Paralelne ravni

Ako donja i gornja platforma nisu paralelne, doći će do delovanja dodatnih bočnih sila na mestima uvođenja sile. Ovu bočnu silu obično apsorbuje bočni zglob uzdužno. The pendle bearing is deflected in the transverse direction dok se ponovo ne uspostavi ravnoteža sila. Ipak, da bi se uticaj bočnih sila sveo na minimum, ugao nagiba nikada ne sme da premaši  $3^\circ$ .

### Odstupanje u odnosu na osu

Odstupanje između gornje platforme i pravca uvođenja sile nije razlog za brigu, pošto su platforme spojene šrafovim.

Slika 5-6 Aspekti koje treba uzeti u obzir prilikom instalacije mernih modula C2A

## Zaštita od preopterećenja



Merne ćelije činimo otpornijim na opterećenje ukoliko ih predimenzionišemo. Ako se zaštita od preopterećenja zapravo postiže na ovaj način, nema potrebe za dodatnim postupcima. **Klasa tačnosti** mernih ćelija uvek se odnosi na njihov **maksimalni merni opseg**. U zavisnosti od zahtevane merne preciznosti i najmanjih količina koje treba izmeriti, merne ćelije se ne mogu uvek jednostavno predimenzionisati, pošto je apsolutna greška merenja srazmerna maksimalnom mernom opsegu.

Treba imati u vidu da je u neke tipove mernih ćelija firme HBM već ugrađen sistem zaštite od mehaničkog preopterećenja.

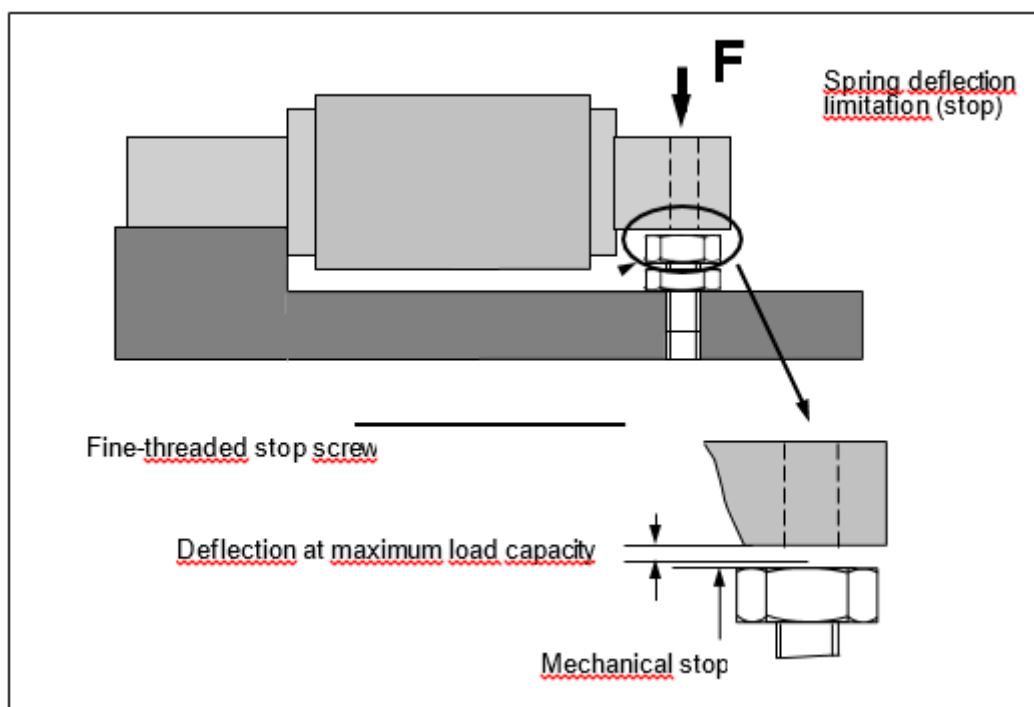
Uvek vredi uložiti dodatni trud kako bi se uključila zaštita od preopterećenja, naročito ako će ćelija biti izlagana sili koja doseže njen maksimalan kapacitet, pa će u tom slučaju mogućnost preopterećenja biti smanjena na minimum.

Zaštita od preopterećenja mernih ćelija se tipično obezbeđuje u sledećim slučajevima:

- nisu poznata maksimalna opterećenja kojima će ćelija biti izložena
- ako će ćelija biti izložena velikim dinamičkim opterećenjima, na primer u slučaju kada se roba sručuje u posudu za vaganje

Iskustvo je pokazalo da se merne ćelije sa relativno niskim maksimalnim mernim opsegom brže preopterećuju nego ćelije sa većim mernim kapacitetom. Tako, na primer, merna ćelija maksimalnog mernog opsega od 20kg može biti trajno oštećena ukoliko na nju padne francuski ključ.

Inženjeri koji projektuju merne ćelije mogu osmisliti i koristiti specifične zaštite od preopterećenja za različite konfiguracije mernih ćelija. Slika 6.1 pokazuje predloženi dizajn za zaštitu od preopterećenja kada je u pitanju merna ćelija Z6. U ovom slučaju, bilo kakvo uvijanje ili promena na opružnom elementu merne ćelije biće ograničeno mehaničkim graničnicima.



**Slika 6-1** Predložena zaštita od preopterećenja za HBM-ovu mernu ćeliju Z6

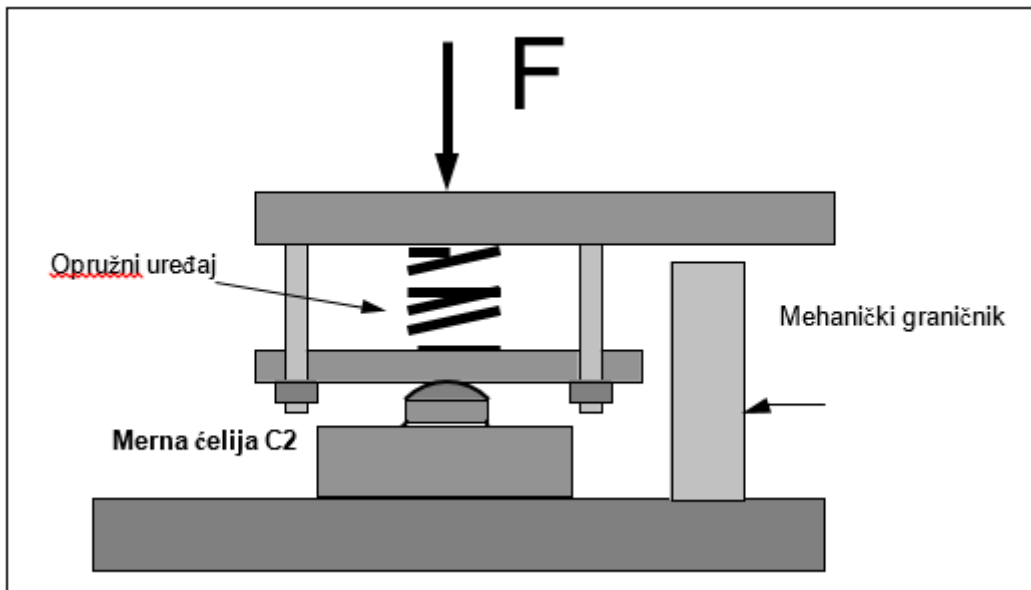
Tehnički list „**Ugib pri maksimalnom kapacitetu opterećenja**“ opisuje stepen u kome je merna ćelija izobličena pri svom maksimalnom kapacitetu. U zavisnosti od tipa i opsega nosivosti merne ćelije, mehaničko zaustavljanje će ograničiti mogući otklon opruge između 120% i 150% ugiba pri maksimalnom kapacitetu kako bi se sprečilo preopterećenje merne ćelije.

Merači se koriste za podešavanje graničnika.. Pošto je tipično pomeranje zbog izobličenja veoma malo, u praksi samo nekoliko mm, vijci za podešavanje sa finim navojem pokazali su se izuzetno pouzdanim u ovom pogledu. Razmak između merne ćelije i graničnika takođe treba da bude zaštićen od prašine i prljavštine, jer kontaminacija ove vrste može prouzrokovati pogrešna merenja zbog netačnog ograničenja ugiba opruge.

Ako je merna ćelija ugrađena na popuštajuću potkonstrukciju, to može rezultirati drugačijim pomakom od onog navedenog u tehničkom listu. Zaštita od preopterećenja se često može prerano aktivirati zbog savijanja montažne ploče. Shodno tome, razmak između merne ćelije i graničnika mora da se proširi. Zbog toga je poželjno da se uređaj za vaganje optereti do njegovog maksimalnog kapaciteta, a zatim podese rezultujući razmak između 0,05 mm i 0,1 mm od mehaničkog graničnika.

Alternativni oblik zaštite od preopterećenja može se obezbediti prethodnim zatezanjem opružnog uređaja postavljenog aksijalno u pravcu sile vaganja, slika 6.2. Ako maksimalna nosivost premašuje datu vrednost, opruga je potpuno sabijena i sprovodi silu kroz namenski projektovanu konstrukciju do mehaničkog zaustavljanja. Ovim oblikom zaštite od preopterećenja, jaz je znatno širi. To znači da je postavljanje dozvoljenog opterećenja jednostavnije i pouzdanije. Svojstva opružnog uređaja takođe značajno smanjuju rizik od oštećenja merne ćelije usled impulsnog opterećenja. Pošto su takvi opružni uređaji mnogo

manje osetljivi na kontaminaciju, dodatni napor uložen u dizajn i materijale u poređenju sa drugim oblicima zaštite od preopterećenja se definitivno može opravdati za niz primena.



**Slika 6-2** Korišćenje opružnog uređaja kao zaštite od preopterećenja za mernu ćeliju tipa



## Dizajn i konstrukcija posuda za vaganje



### 7.1 Uvodne beleške

#### Napomena

Prilikom postavljanja mernih ćelija na posude za vaganje postoje neka važna osnovna pravila koja treba sagledati.

Na primer, posude su često izložene elementima ili podložne uticajima specifičnim za proizvodnju.

Prilikom postavljanja novih posuda na otvorenom (npr. silosi, bunkeri za ugalj itd.), treba imati u vidu da su to objekti kod kojih se moraju poštovati relevantni građevinski propisi.

Međutim, čak i kasnija ugradnja operme za vaganje može se smatrati *značajnom promenom* prema građevinskim propisima.

U takvim slučajevim preporučljivo je zatražiti savet građevinskog inženjera. Iz bezbednosnih razloga, građevinski propisi obično navode *najnovije standarde*.

Na primer, u slučaju opterećenja vetrom to je **DIN 1055 Deo 4 "Projektovana opterećenja za zgrade"**.

Slično tome, arhitekta koji projektuje konfiguracije posuda treba da se upoznaju sa svim posebnim internim zahtevima korisnika. Na primer, čak i na lokacijama koje su prekrivene krovom, često mora da se spreči podizanje posuda ukoliko sadrže opasne materije i ako će, recimo, viljuškari raditi u tom području.

S obzirom na značaj tema, **Odeljak 13.3.3** se posebno bavi efektima sila vetra na ukupnu bezbednost sistema i tačnost merenja.

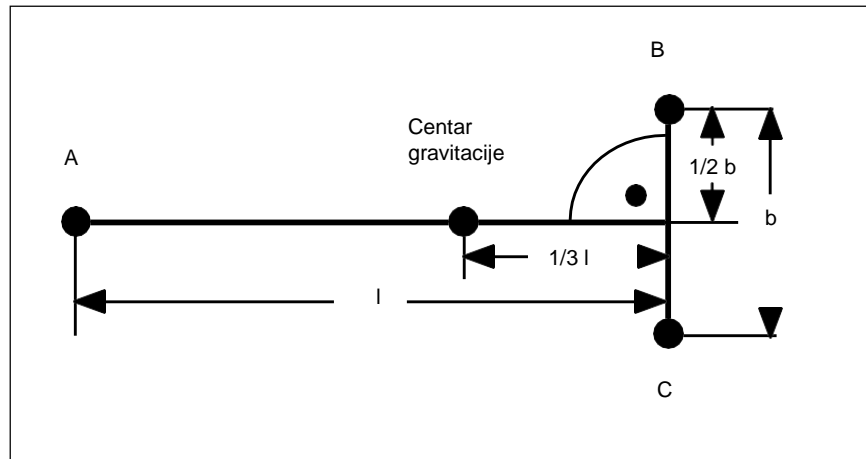
### 7.2 Raspodela opterećenja

Optimalna konfiguracija merne ćelije prilikom određivanja težine posuda je kada se posuda oslanja na tri tačke oslonca sa po jednom mernom ćelijom na svakoj. Ova situacija je poznata kao statički određena.

U ovom slučaju ukupno opterećenje treba da bude što ravnomernije raspoređeno na tri merne ćelije. U slučaju uspravnih ili visećih cilindričnih posuda, ovaj zahtev se najbolje ispunjava ako su merne ćelije postavljene na istoj udaljenosti od vertikalne ose posude i na

istom nivou, ali pomerene jedna od druge za  $120^\circ$ . Za horizontalne posude tačke oslonca treba da budu raspoređene kao na slici 7.1.

Ako konfiguracija nema mernu ćeliju na svakoj tački oslonca, preporučuje se da raspodela opterećenja ne bude ujednačena na svim osloncima. Tačke sa mernim ćelijama treba da imaju veće opterećenje od onih koje ih nemaju. Ova mera će pomoći da se poboljša ukupna preciznost uređaja za vaganje. Prilikom projektovanja postrojenja i odabira mernih ćelija, potrebno je osigurati da pomenute merne ćelije budu pod što ravnomernijim opterećenjem.

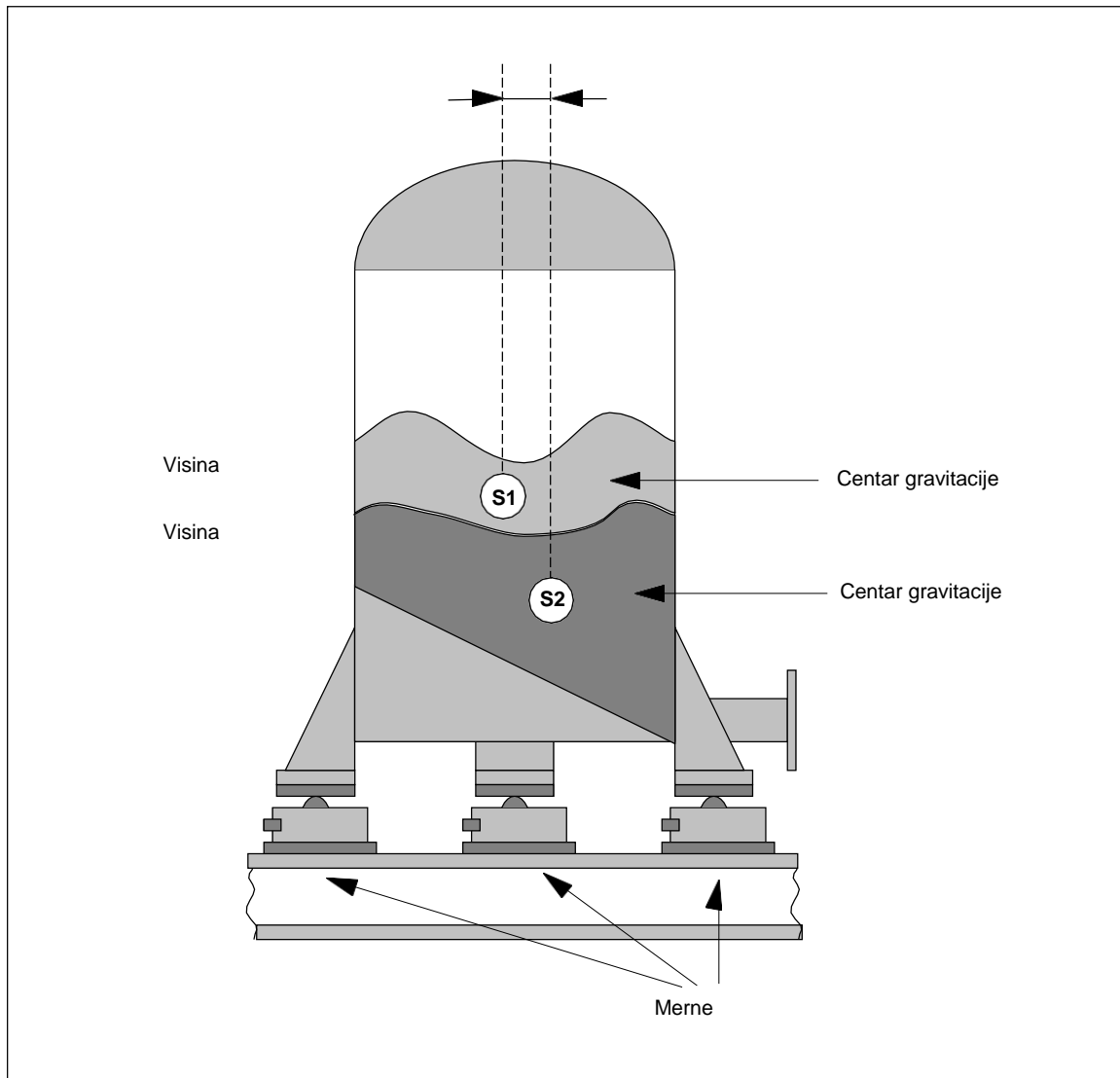


**Slika 7-1** Raspodela tačaka oslonaca A, B i C za horizontalne posude

Ako je posuda oslonjena na četiri ili više tačaka, to predstavlja statički određen oslonac. Za ovu primenu sve tačke oslonca moraju biti opremljene mernim ćelijama. Mora se voditi računa o ravnomernoj raspodeli opterećenja prilikom ugradnje pojedinačnih pretvarača. U tu svrhu, opterećenje na svakom pretvaraču mora biti pojedinačno izmereno i, u slučaju neprihvatljivih razlika, visina predmetnih mernih ćelija mora biti podešena (na primer pomoću limova za nivelisanje). Po pravilu, merne ćelije koje nisu pod dovoljnim opterećenjem su geometrijski suprotne.

### 7.3 Položaj centra gravitacije na posudi

Ukoliko je moguće, centar gravitacije pune posude ne bi trebalo da bude više od njegovih tačaka oslonca. U praksi se ovaj uslov često ne može ispuniti.



**Slika 7-2** Kako se centar gravitacije menja u posudi sa kosim podom u odnosu na visinu napunjenosti

Radi stabilnosti najbolje je da centar gravitacije bude ispod tačkaka oslonca. Položaj centra gravitacije kao funkcija visine napunjenosti ima odlučujući uticaj na broj mernih ćelija koje će se koristiti. Ako je sadržaj ispunjen simetrično u odnosu na konfiguraciju mernih ćelija, može postojati mogućnost konstruisanja uređaja za vaganje pomoću samo jedne merne ćelije pošto centar gravitacije menja položaj duž vertikalne linije. Ako se centar gravitacije pomeri u stranu kada se promeni visina napunjenosti, **svi** oslonci moraju biti opremljeni mernim ćelijama.

Slika 7.2 nastoji da prikaže zašto merne ćelije treba upotrebiti na svim tačkama oslonca kada položaj centra gravitacije može da se promeni.

#### 7.4 Priklučci za posude

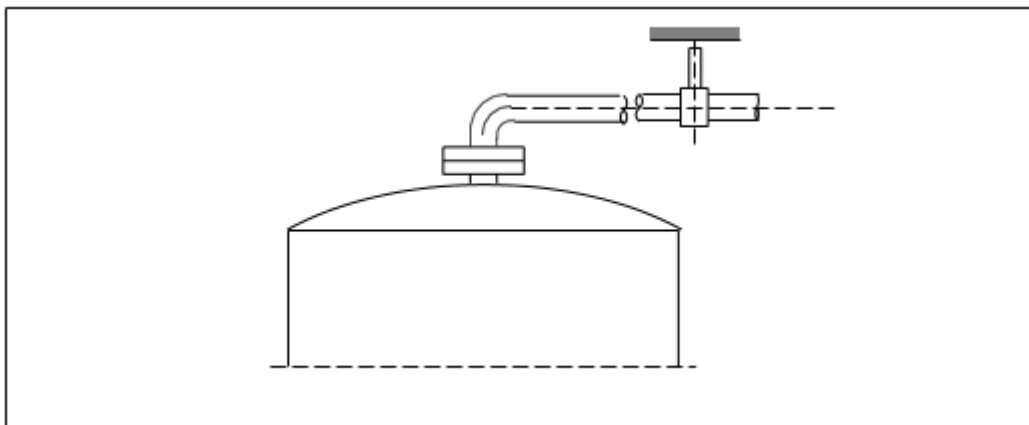
Posudama često trebaju priključci za punjenje ili uklanjanje sadržaja, kao i za dovod struje, hidraulike ili komprimovanog vazduha do pomoćnih motora.

Ovi priključci za napajanje mogu prouzrokovati parazitske sile koje se prikazuju kao nepravilnosti u očitavanju uzrokovanu od strane aparata za vaganje.

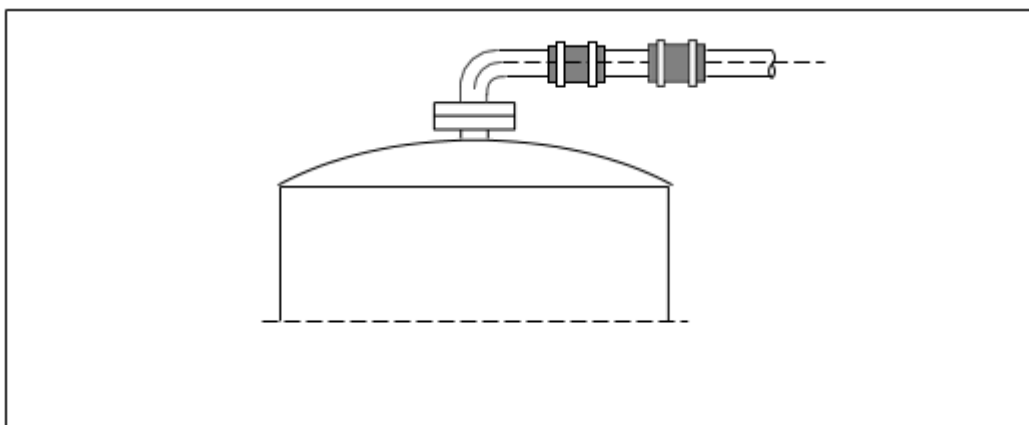
Priključci za napajanje moraju biti elastični u vertikalnom pravcu. Slike od 7.3 do 7.7 prikazuju neke primere prihvatljivih rasporeda priključaka za napajanje. Iz dobre poslovne prakse znamo da je jako važno da se ovim aspektima posveti dužna pažnja u fazama planiranja i projektovanja, bez obzira na okolnosti.

Ako se koriste krute cevi bez ikakve elastične međusobne veze, preporučljivo je priključak na posudu sprovesti kroz maksimalnu moguću dužinu horizontalne cevi, koja treba da ima opremu za rasterećenje od naprezanja u uzdužnom pravcu (Slika 7.3).

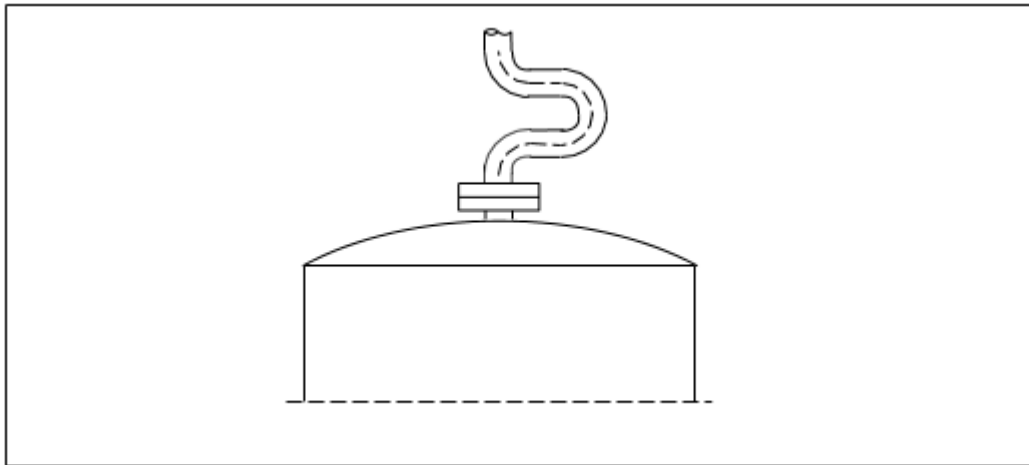
Horizontalna cev je opružna u vertikalnom pravcu i njen efekat se smanjuje sa povećanjem dužine. Mehanička sila zatezanja ili pritiska koju cev veštački primenjuje na merne ćelije se shodno tome smanjuje i prestaje da ugrožava tačnost merenja.



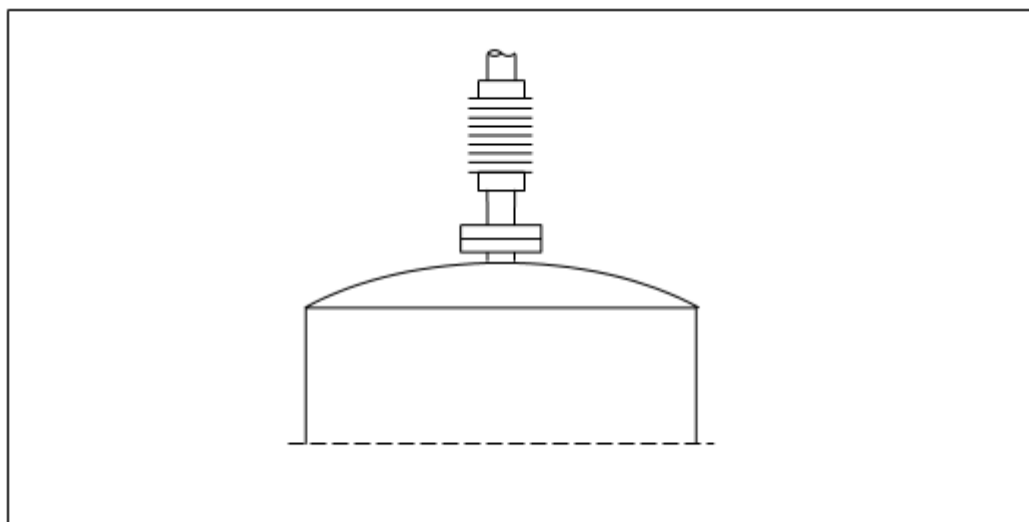
**Slika 7-3** Dugi horizontalni priključak za cev



**Slika 7-4** Elastična cevna spojnica



**Slika 7-5** Krivina cevi



**Slika 7-6** Mehanički kompenzator

### **Napomena**

Umesto jednog dugog cevnog priključka može se upotrebiti nekoliko elastičnih spojnica (slika 7.4). Priključci za creva od blago deformabilnog elastičnog materijala su efikasni u zaobilazanju parazitskih sila. Neophodno je proveriti da li je elastični materijal kompatibilan sa materijalom koji se koristi za punjenje ili čišćenje posude (na primer ako su u pitanju namirnice ili farmaceutski proizvodi).

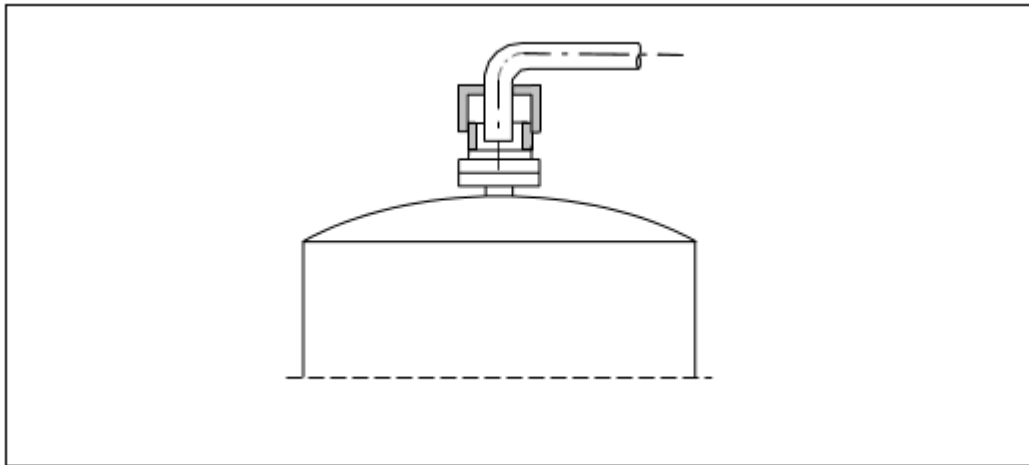
Drugi mogući način da se zaobiđu neželjene parazitske sile korišćenjem spojnih cevi je postavljanje krivine cevi (slika 7.5).

Ako je neophodno da cevni priključak bude vertikaln, t.j. u istom smeru kao i sila vaganja koju treba izmeriti, ili ako ne mogu da se koriste elastični priključci za cevi, pouzdana metoda

je povezivanje preko kompenzatora (kao što su metalni mehovi, slika 7.6). Prilikom ugradnje kompenzatora ove vrste moraju se poštovati stroge tolerancije. Korišćenje dva seta metalnih mehova povezanih dužinom cevi znači da su tolerancije koje treba kompenzovati veće.

U određenim oblastima prehrambene industrije gde je neophodan visok nivo higijene, nije dozvoljena upotreba metalnih mehova.

Otvorena veza prikazana na slici 7.7 je najbolje rešenje za održavanje neželjenih sila na minimumu. Ona sprečava kontakt između cevi i posude. Ova vrsta priključka ne može se koristiti u zatvorenim sistemima kao što su posude pod pritiskom.



Slika 7-7 Otvorena veza

### Napomena

Uvek se mora voditi računa da se izmeri i udeo materijala u spojnim cevima. Količina punjenja u ulaznim i izlaznim vodovima koji su direktno povezani na posudu bi zato trebalo da bude ponovljiva u vreme vaganja. To znači da vodovi moraju da budu ili uvek puni ili uvek prazni tokom prikupljanja podataka.

### 7.5 Posude pod pritiskom

Pritisak u zatvorenom sistemu može uticati na rezultat vaganja. U nekim industrijama, posebno u hemijskoj industriji, potreban je veoma visok pritisak za delove procesa. Suprotno tome, usisna oprema za ekstrakciju praškaste vagane robe može stvoriti negativan pritisak između 100 i 300 mbar.

Ako su cevni vodovi spojeni sa posudom vertikalno kao što je prikazano na slikama 7.5 i 7.6, biće proizvedena sila koja se dodaje direktno rezultatu merenja. Ukupan efekat je proizvod pritiska i površine preseka cevi. Ako su odnosi pritiska konstantni tokom procedure vaganja, ovaj efekat se može uzeti u obzir proračunom u toku merenja.

Horizontalni priključak ima prednosti, ali vertikalni priključak je uvek poželjniji. U ovom slučaju pribor za montažu apsorbuje sve lažne sile.

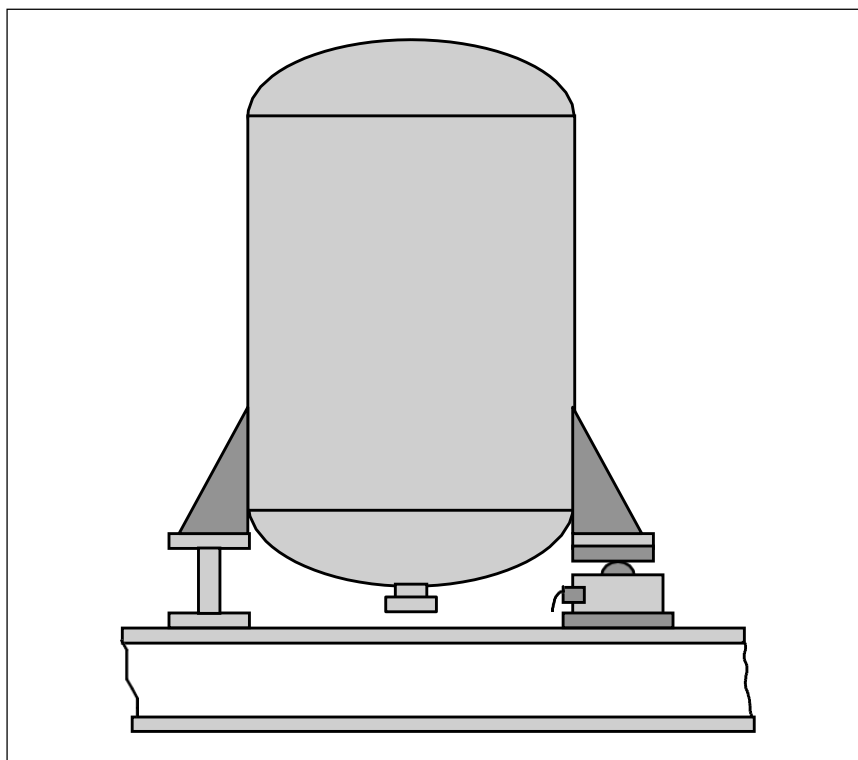
## 7.6 Primeri tipičnog podešavanja mernih ćelija

Ovaj odeljak prikazuje neke primere tipičnog dizajna posude u obliku dijagrama. Neophodni detalji konstrukcije i napomene o problemima koji se odnose na pojedinačne slučajeve mogu se naći u predmetnim poglavljima.

### 7.6.1 Uspravne posude

U slučaju tečnosti i rastresitih materijala sa centralno punjenim sadržajem, moguće konfiguracije uključuju dva fiksna oslonca i jednu mernu ćeliju. Ovo će raditi na simetrično konstruisanim posudama, tako da se bez obzira na visinu sadržaja centar gravitacije pomera u liniji koja je dovoljno blizu vertikalne za potreban stepen tačnosti. U svim drugim slučajevima, a posebno kada je potrebna još veća preciznost, treba postaviti najmanje tri merne ćelije, a u nekim okolnostima i više.

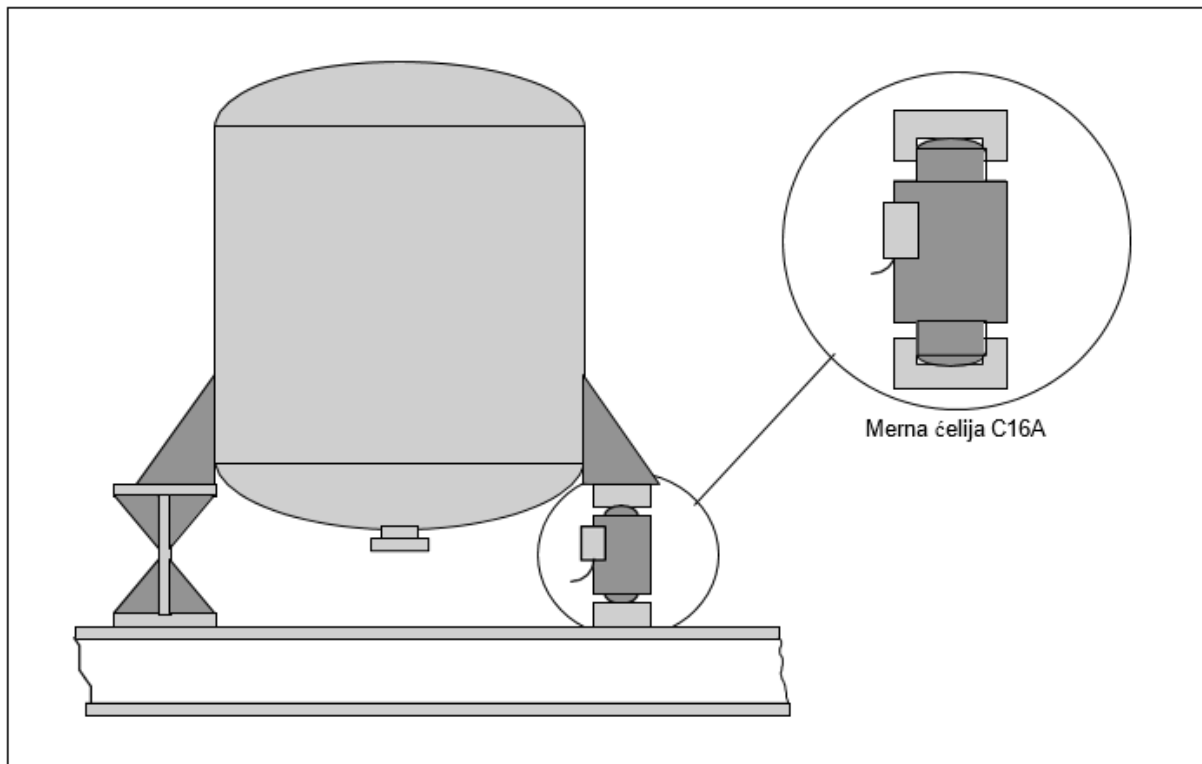
#### 7.6.1.1 Kruto instalirana ćelija



**Slika 7-8** Uspravna posuda u krutoj instalaciji sa mernom ćelijom

Ovaj jednostavan dizajn sa potpornim elementima i kruto postavljenom mernom ćelijom nije preporučljiv. Problematična povratna sprega utiče na mernu ćeliju samo zahvaljujući dizajnu. To znači da je generalno nemoguće zaštititi merne ćelije od efekata izobličenja koji proizilaze iz promene visine napunjenosti, ili u slučaju vibracije ili promene temperature. Čak i tako, treba pronaći pojedinačne slučajeve.

7.6.1.2 Uspravna posuda sa dva čvrsta oslonca i mernom ćelijom sa dvostrukim klatnim zglobom (za samoporavnanje)

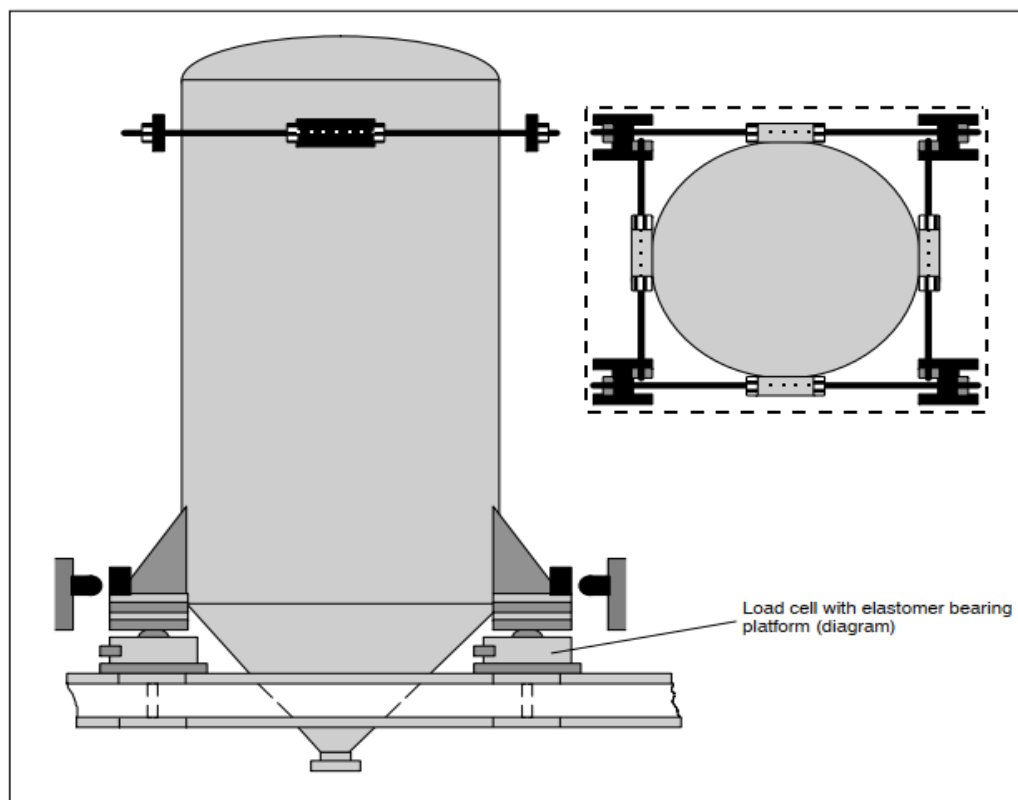


**Figure 7-9** Uspravna posuda sa dva čvrsta oslonca i mernom ćelijom sa dvostrukim klatnim zglobom

Ovaj dizajn za merenje visine napunjenosti koristi jednu mernu ćeliju sa konfiguracijom klatna i dva fiksirana oslonca koja takođe drže posudu u horizontalnom pravcu. Ovaj isplativ dizajn štiti merne ćelije od neprihvatljivih uticaja.



### 7.6.1.3 Uspravni cilindrični silos na tri ili četiri merne ćelije

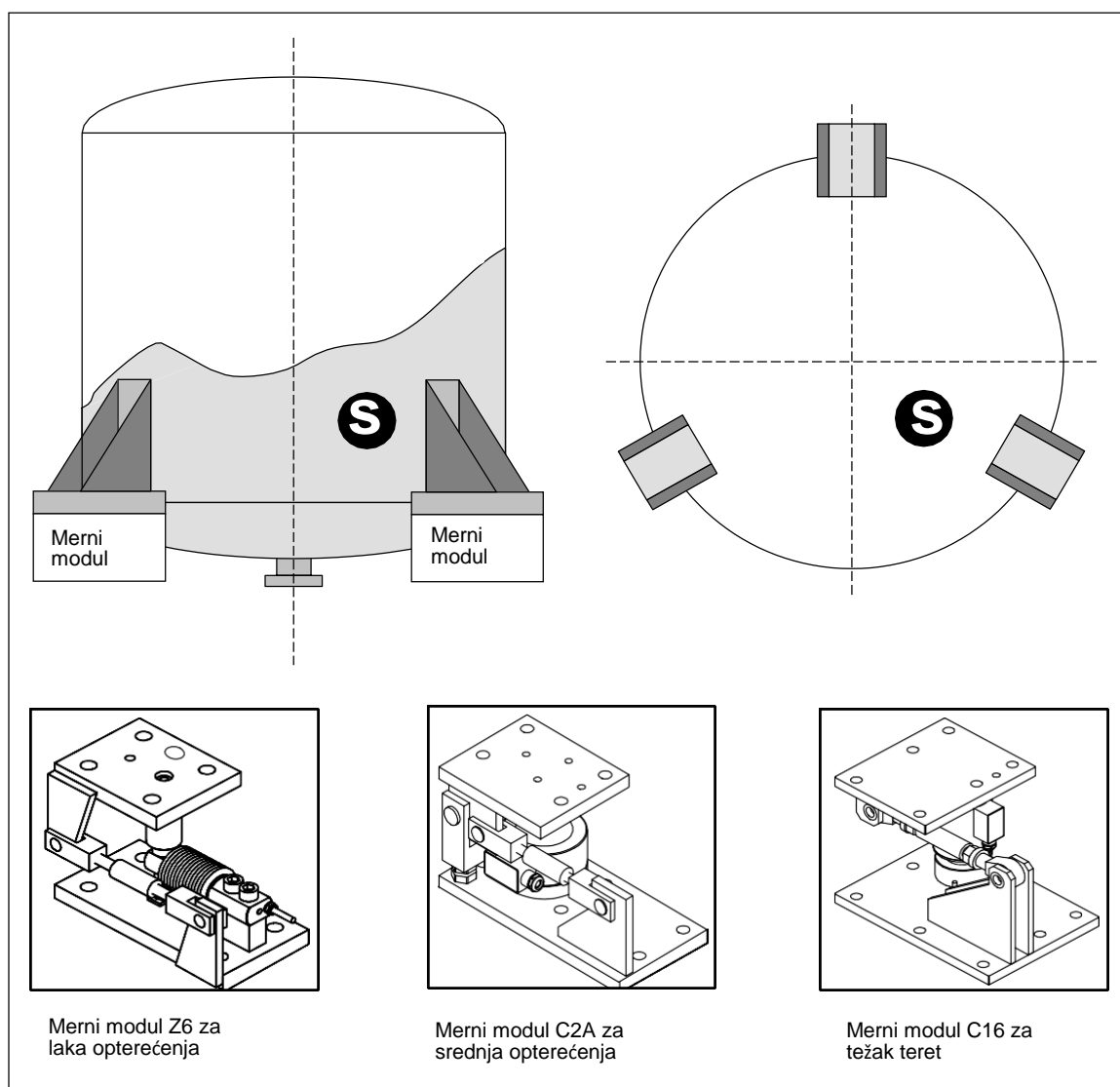


**Slika 7-10** Uspravni cilindrični silos

Visina napunjenosti se obično može precizno izmeriti na tri merne ćelije; međutim, dizajni koji uključuju pravougaonu simetriju se takođe mogu naći sa četiri merne ćelije, iako je u principu ova konfiguracija manje povoljna zbog proračuna statike i visoke cene. Isti ciljevi mogu se postići korišćenjem jednostavnijih dizajna.

Iako samocentrirajući elastomerni ležajevi ne zahtevaju držače, često se kombinuju sa fiksnim graničnicima. Međutim u slučaju veoma visokih posuda potrebni su dodatni držači u gornjem delu strukture; primer pokazuje zatezne cevaste držače koji su prethodno malo zategnuti i zaglavljani. Ako bi se u ovim slučajevima koristili fiksni graničnici, pri svakoj najmanoj neizbežnoj neusklađenosti bi došlo do njihovog dodirivanja i kontaktno trenje bi izazvalo neželjene sile. Ređe se koriste držači sa valjcima ili držači od užeta.

#### 7.6.1.4 Cilindrični silos na tri merna modula

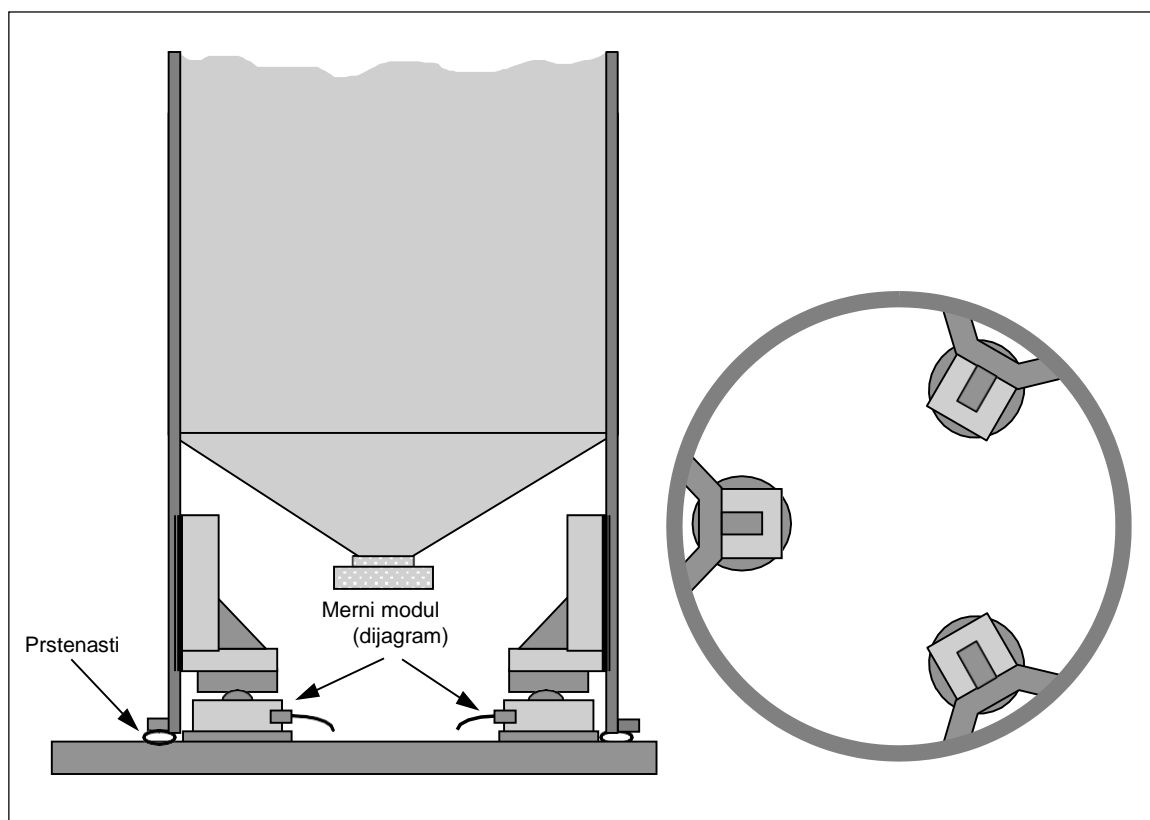


**Slika 7-11** Cirkularni silos na mernim modulima

Tri merna modula sa integriranim držačima pričvršćenim tangencijalno na obim konstrukcije osiguravaju da posuda ostane horizontalno stabilna bez potrebe za daljim merama. Svaki vagarski modul takođe ima ugrađenu zaštitu od podizanja koja sprečava prevrtanje posude. Drugi strukturni detalji su, stoga izostavljeni za upotrebu na otvorenom. Tipični merni moduli za lake, srednje i teške terete su ovde takođe prikazani kao primer.

Pošto ovi standardizovani elementi pojednostavljaju projektovanje i konstrukciju, oni mogu dovesti do značajnih ušteda troškova koji su obično povezani sa ovim aktivnostima; međutim, prilikom konstrukcije se mora voditi računa o tome da noseće površine budu paralelne, da je vertikalno poravnanje ispravno i tako dalje.

#### 7.6.1.5 Posuda sa prirubnicom na mernim modulima



**Slika 7-12** Raspodela mernih modula za posudu sa prirubnicom

Na posudama sa prirubnicom koje se najčešće viđaju u praksi, spoljno kućište seže do zemlje i obezbeđuje stabilnost cele konfiguracije. Potrebne su posebne pripreme da bi se omogućilo da takve posude stoje na mernim ćelijama.

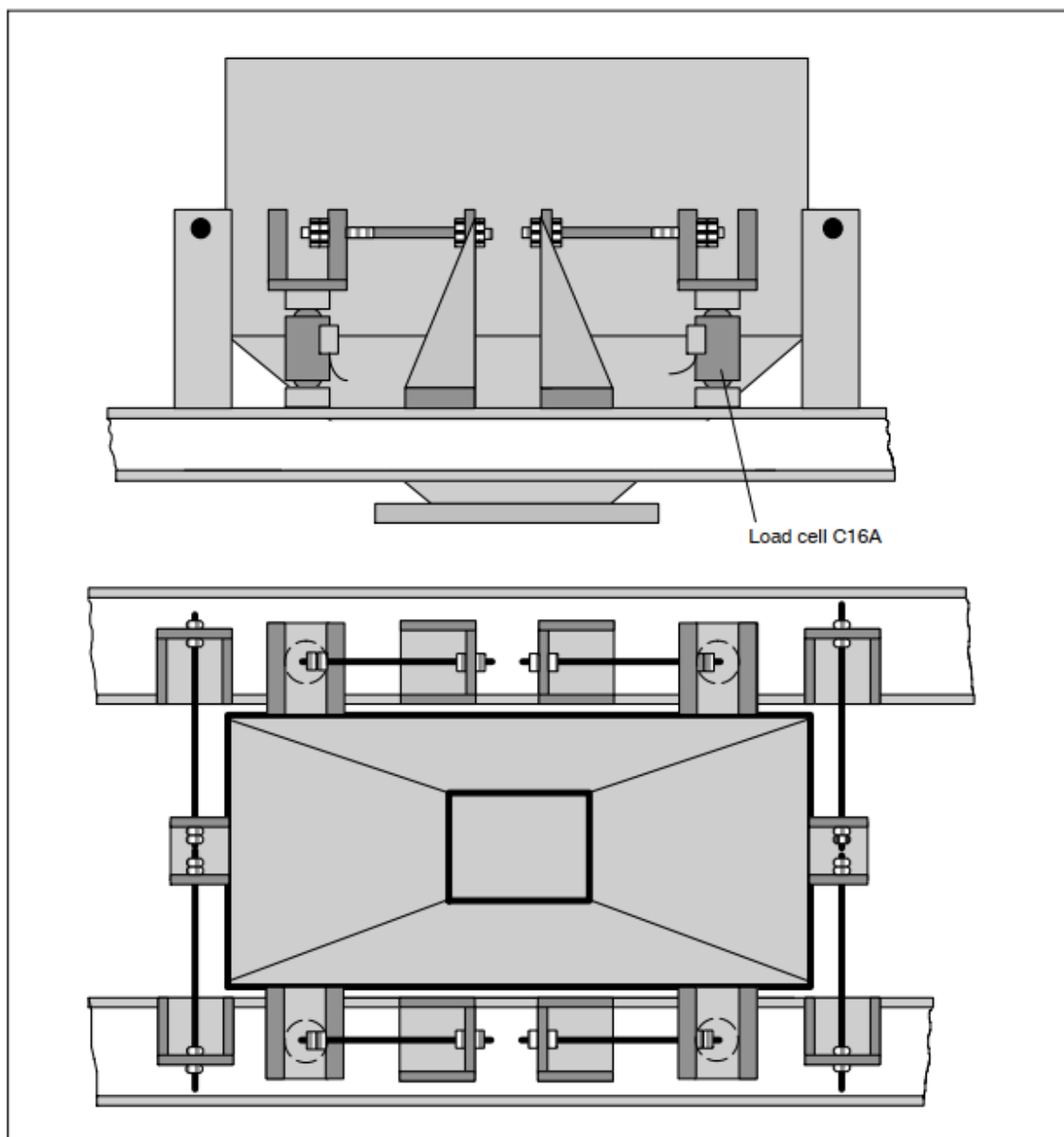
Slika 7.12 prikazuje strukturnu varijantu za merenje ovih posuda pomoću mernih ćelija. Ovaj predlog je relativno lako primenjiv, čak i na postojećem postrojenju.

Podupirači se postavljaju ili zavaruju na unutrašnji zid posude. Opterećenje se kruto prenosi na mernu ćeliju preko stopa. Poželjno je da se u ovom slučaju koriste merni moduli sa mernim ćelijama, jer oni već sadrže zaštitu od podizanja (nije prikazano na slici 7.12 radi jednostavnosti).

Čak i neznatno podizanje strukture je dovoljno da se celokupna sila vaganja prenese na merne ćelije.

Sistemu je obično potreban zaptivač a to je obezbeđeno kružnim prstenastim zaptivačem koji je dovoljno elastičan da ne deluje kao neželjena sila.

### 7.6.1.6 Pravougaoni silos na četiri merne ćelije u bunker stanici



**Slika 7-13** Pravougaoni silos na četiri merne ćelije

Uslovi u bunker stanicama su veoma teški zbog vibracija od transportnih objekata, oscilacija opreme za punjenje i pražnjenje i, ako je merni bunker deo pokretnog postrojenja, ubrzanja usled kretanja vozila. Nije od malog značaja da, kada se kruti rasuti materijali ispuste u posudu i udare o kose bočne panele, mogu proizvesti snažne bočne stresove. U takvim okolnostima, mora biti obezbeđeno posebno stabilno pričvršćivanje u obliku krutih prenapregnutih držača.

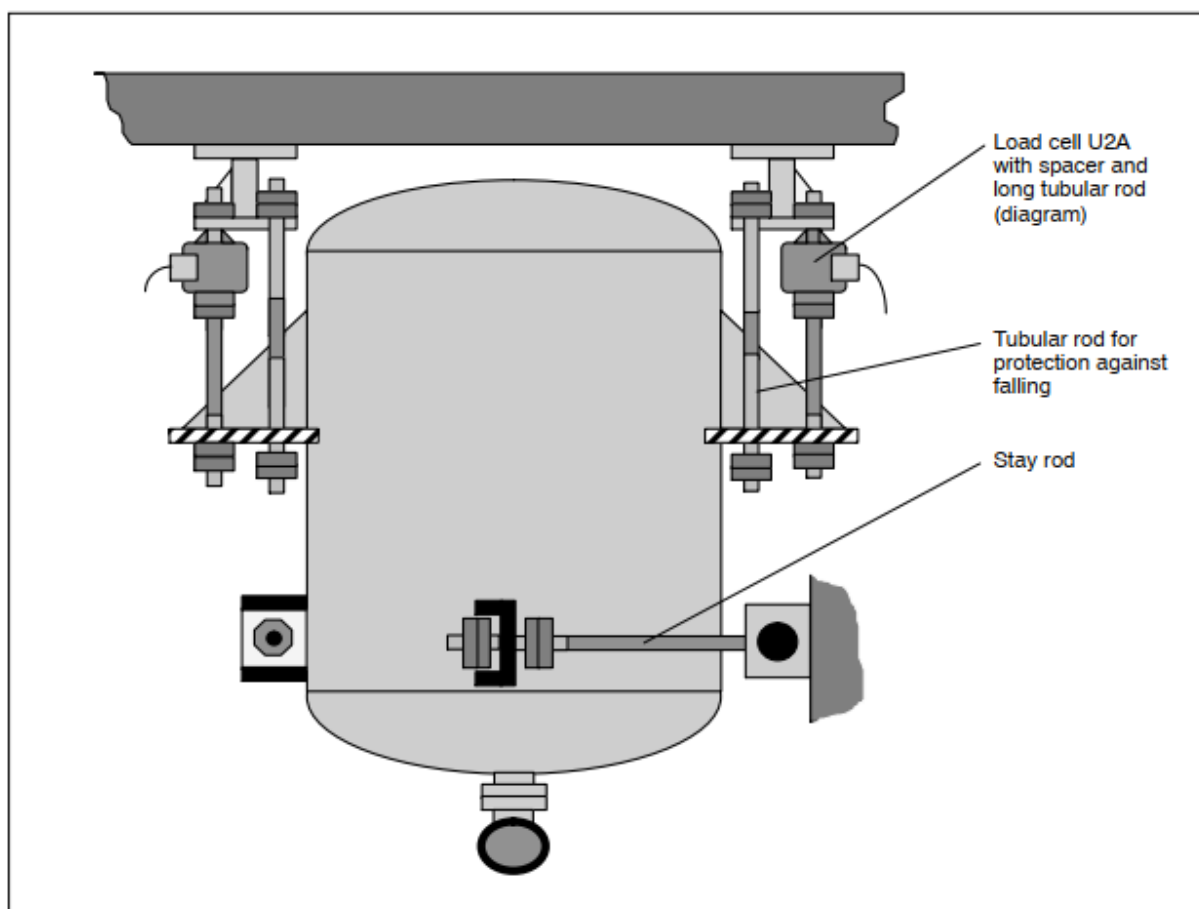
Povremeno se i posuda za vaganje drži čvrsto kada ne učestvuje u proceduri vaganja, te se otpušta samo za vaganje.

Njihova pravougaona simetrija je dobra za stabilnost i stoga se prenosi u konfiguraciju merne ćelije. Merne ćelije koje se obično koriste za ovu primenu su one sa elastomernim nosećim površinama i, u ovom slučaju, klatne merne ćelije.

### 7.6.2 Viseće posude

Jednostavni, elastični zatezni cevni držači se često koriste na visećim posudama kako bi se prevazišli ili olakšali problemi centriranja, podešavanja visine i tako dalje. Pored stalno prisutne potrebe za zaštitom od prevrtanja, držači su neophodni za sprečavanje ljujanja i uvrtanja.

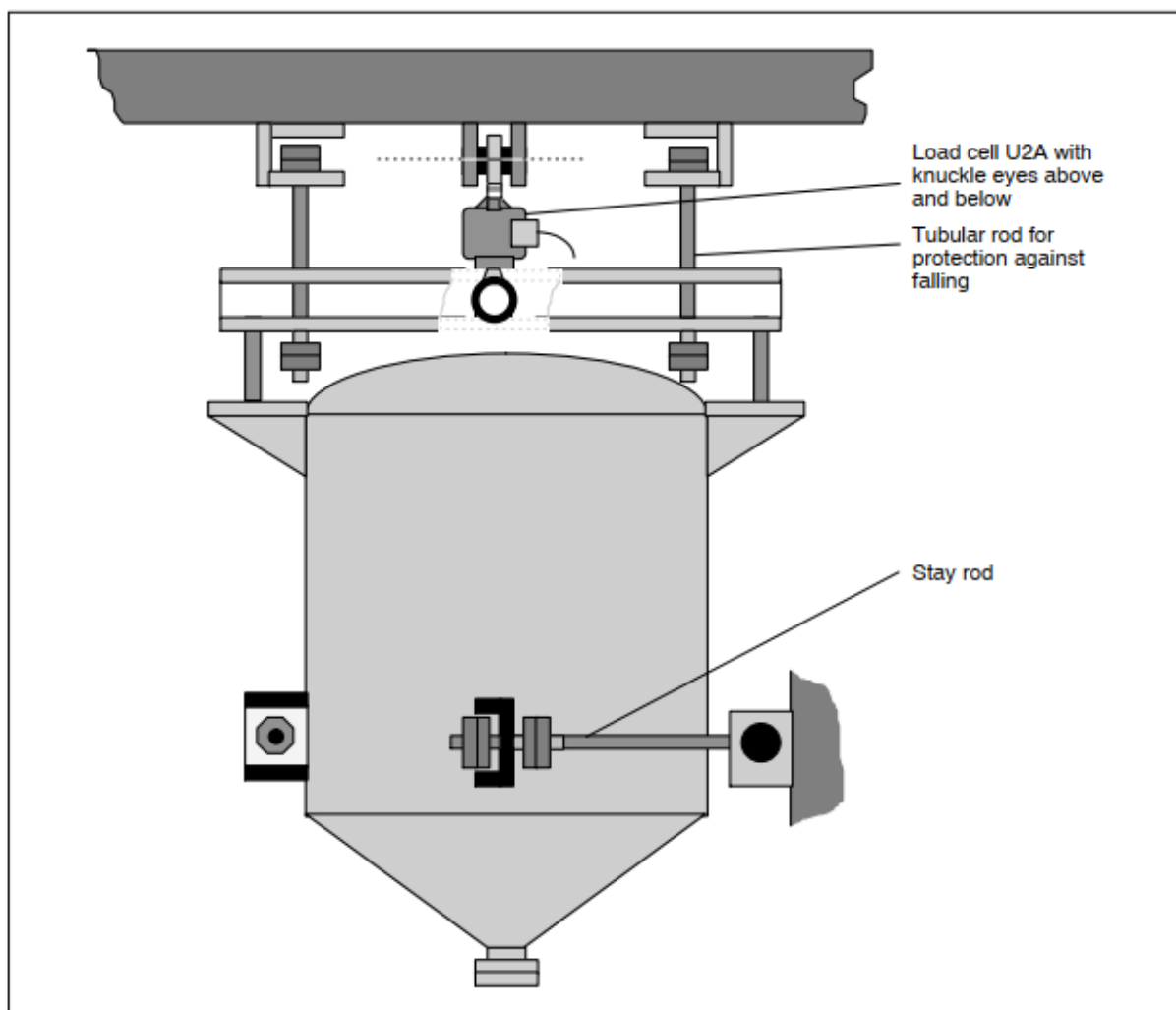
#### 7.6.2.1 Viseće posude na dve ili tri merne ćelije



**Slika 7-14** Viseća posuda na tri ili četiri merne ćelije

Ovaj potpuno jednostavan dizajn zahteva nekoliko tangencijalnih držača; u slučajevima kada su naprezanja prilično mala, mogu preuzeti funkciju niže, bočne odvodne cevi.

### 7.6.2 Viseća posuda na jednoj mernoj ćeliji



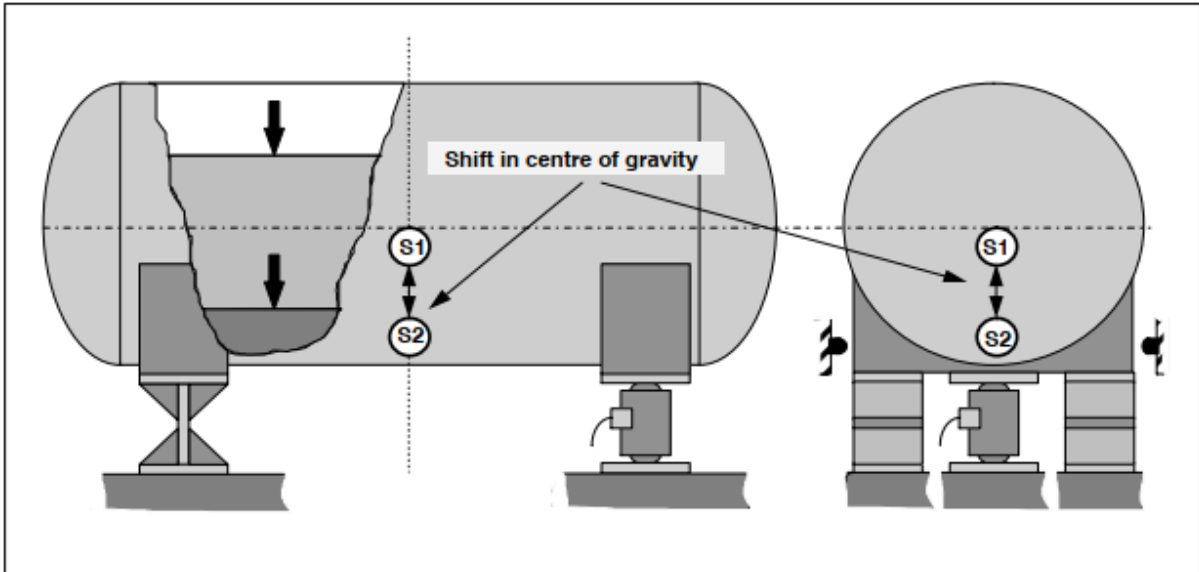
Slika 7-15 Viseća posuda na jednoj mernoj ćeliji

U ovoj konfiguraciji neophodno je posebno učvršćivanje protiv ljuľanja i uvrćanja.

### 7.6.3 Horizontalne posude ispunjene tećnošću

U horizontalnim posudama za tećnosti ispunjen je uslov da se centar gravitacije sadržaja pomera vertikalno u zavisnosti od visine napunjenosti. Stoga im je potrebna merna ćelija ispod jednog postolja rezervoara i dva ćvrsta oslonca ispod drugog postolja rezervoara za prilićno jednostavan naćin merenja visine napunjenosti.

Idealini rezervoar podrćava polovinu svoje tećine na samocentrirajućoj klatnoj mernoj ćeliji, a drugu polovinu na dva ćvrsta oslonca. U normalnim okolnostima nije potrebno dodatno ućvršćivanje ili podupiranje. U slućaju veoma dugaćkih rezervoara, mećutim, dodatna zašćita od prevrtanja merne ćelije usled boćnog udara sa rezervoarom moće se obezbediti prićvršćivanjem fiksnih granićnika na oba kraja postolja rezervoara koji se oslanjaju na mernu ćeliju, kako bi se ogranićnilo boćno pomeranje.



**Slika 7-16** Horizontalna posuda za tečnost sa jednom C16 mernom ćelijom (dijagram)

### Napomena

U praksi, međutim, simetrična raspodela sadržaja često je namerno poremećena blagim jednostranim nagibom u liniji poda prema izlazu. Optimalno rešenje za veću tačnost vaganja je samocentrirajuća konfiguracija od tri merne ćelije, u kom slučaju je najbolje obezbediti horizontalno ukrućenje pomoću fiksnih graničnika.

## Dizajn i konstrukcija platformskih vaga



### 8.1 Uvodne beleške

Termin platformska vaga u današnje vreme pokriva široko polje primene. Pokriva dizajn i konfiguraciju opreme kao što su visoko precizne laboratorijske vage, prodajne vage i lične mašine za vaganje, sve do primene visokih kapaciteta za drumska vozila.

Platformske vage karakterišu jedna ili više mernih ćelija, obično postavljenih ispod platforme (vage) na koju se postavlja roba namenjena za vaganje.

Posebno uočljiva prednost platformskih vaga je činjenica da je položaj težine na platformi nema uticaja na rezultat vaganja u određenim granicama tačnosti. Tačnost ravnoteže može se dodatno poboljšati sprovođenjem dodatne korekcije uglova. Greške uglova se određuju **proverom ugla**.

Fizičke dimenzije posude ili platforme vage definisane su veličinom ili nosivom površinom robe namenjene za vaganje i njihovom prosečnom visinom.

Upotreba samo jedne merne ćelije ograničava mogućnosti za izvođenje kompenzacionih korekcija zbog grešaka izazvanih stavljanjem težine van centra.

Na konfiguraciju platformske vage takođe utiču aspekti dizajna, uključujući potrebnu krutost posude ili platforme, posebno ako se koristi nekoliko mernih ćelija.

### 8.2 Platformske vage sa jednom mernom ćelijom

U ovom obliku platformske vage samo jedna merna ćelija je postavljena ispod platforme ili posude vage na koju se postavlja roba za merenje. Naziv platformska merna ćelija postao je opšteprihvaćen za ovu vrstu davača.

Idealno je da se ova merna ćelija postavi centralno ispod platforme. Međutim, mehanički dizajn merne ćelije (u većini slučajeva opružni elementi sa dvostrukom gredom, vidi Odeljak 3.2.2) takođe dozvoljava konfiguracije van centra kao što je konzolna platforma.

Merna ćelija je dizajnirana da, koliko god je to moguće, kompenzuje odstupanja merenja uzrokovana opterećenjem van centra.

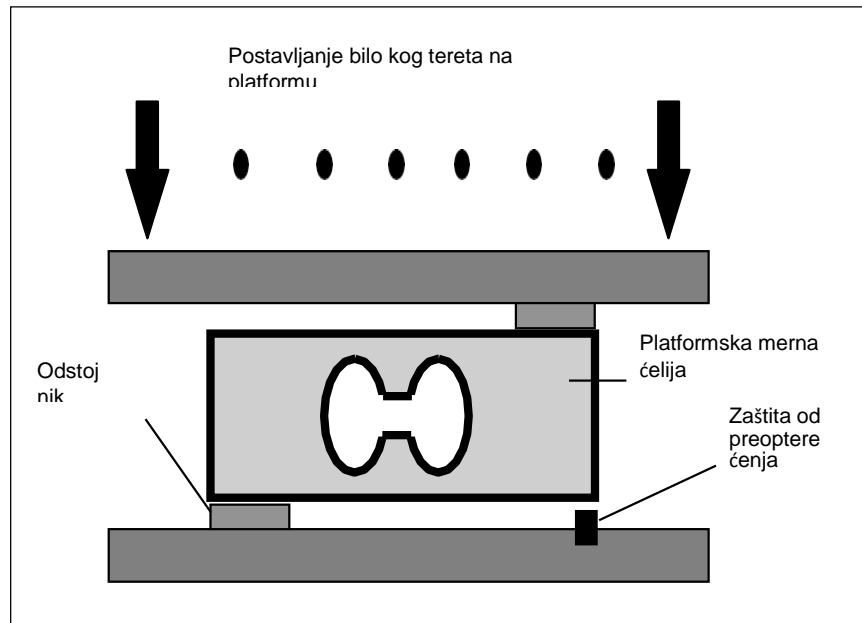
Tehnologija korišćena u fazi proizvodnje obezbeđuje dodatne mere za umanjeње grešaka opterećenjem uglova, tako da po pravilu nisu potrebne dalje mere balansiranja po završetku balansiranja tereta. ovo štedi i vreme i troškove.

Vage koje koriste samo jednu mernu ćeliju očigledno imaju prednost kada je cena u pitanju.



Druga finansijska prednost ovog dizajna je ta što je vaga u kojoj ima malo dodatnih mehaničkih komponenti koje nisu komplikovane spremna za upotrebu po sastavljanju.

U najjednostavnijem slučaju tačan aparat za merenje se može proizvesti od čvrstog postolja, merne ćelije i odgovarajuće platforme (slika 8.1).



Slika 8-1 Struktura platformske vage na mernoj ćeliji sa jednom tačkom (dijagram)

Tipične primene su prodajne vage, poštanske vage, vage za pošiljke i ceo opseg medicinskih i farmaceutskih vaga.

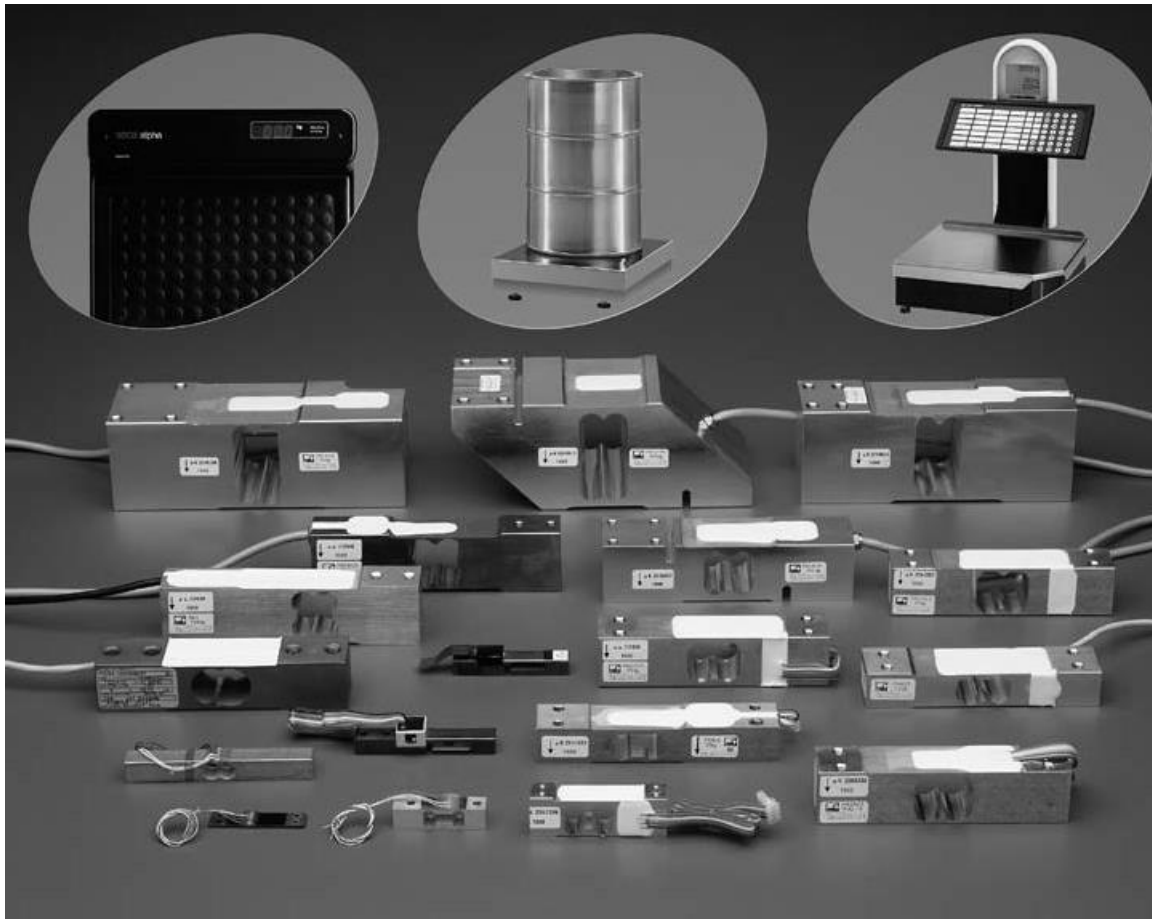
Ovaj jeftin dizajn se takođe sve više koristi kod mašina za pakovanje i kontrolne vage kao i za zadatke za primenu tehnologije vaganja u industrijskom sektoru.

Zbog odnosa maksimalnog kapaciteta prema fizičkim dimenzijama merne ćelije, postoje ograničenja upotrebe platformskih vaga sa jednom mernom ćelijom.

Visoki maksimalni kapaciteti obično zahtevaju merne ćelije visokog profila. Slično tome, izabrana veličina platforme ne sme da pređe navedenu maksimalnu konfiguraciju (specifikacija tehničkog lista), inače korekcija uglova neće funkcionisati adekvatno i merna ćelija će biti izložena riziku od mehaničkog preopterećenja.

Uvek je važno obezbediti dovoljnu mehaničku krutost platforme. Težina platforme se mora uzeti u obzir kao opterećenje tare u odnosu na ukupno opterećenje koje deluje na mernu ćeliju.

U praksi, način zaštite merne ćelije koji je pouzdaniji od postavljanja nekomplikovanih prekidača preopterećenja direktno ispod merne ćelije, da bi se ograničilo ugibanje opruge, jeste postavljanje graničnika ispod svakog ugla platforme. Ovo sprečava štetna torziona opterećenja da dopru do merne ćelije ili da je oštete.



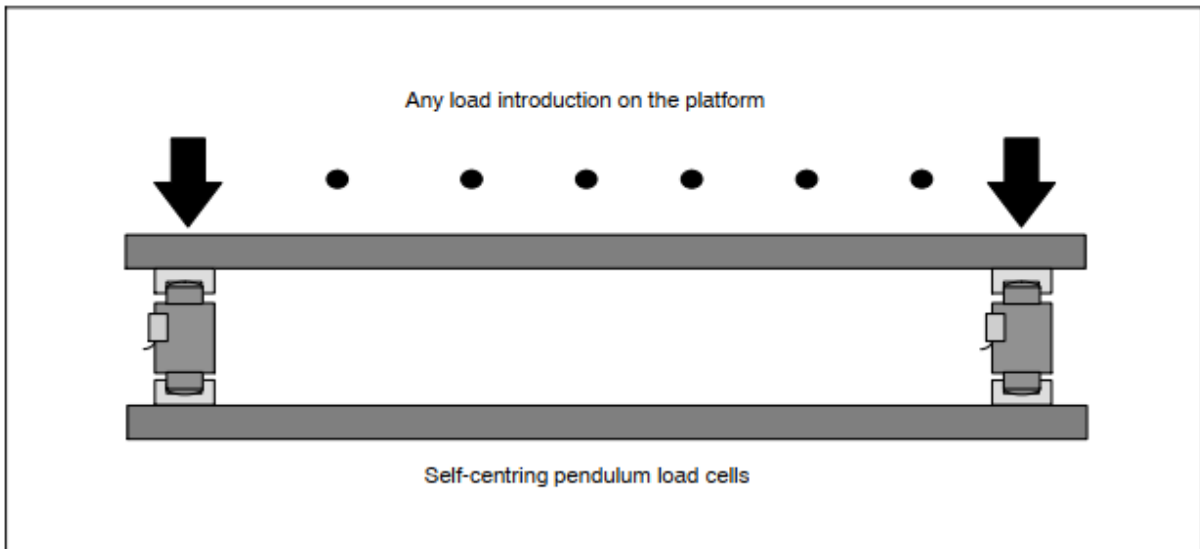
**Slika 8-2** Opseg HBM-ovih platformskih mernih ćelija

### 8.3 Platformske vage koje koriste više od jedne merne ćelije

Sa ovom vrstom platformske vage, dve do osam mernih ćelija mogu biti postavljene ispod platforme. Za razliku od slučaja u kome koristimo jednu mernu ćeliju ispod platforme, ovaj dizajn čini celu strukturu znatno kompaktnijom za ekvivalentni maksimalni kapacitet. Ovo se može objasniti činjenicom da je opterećenje raspoređeno na nekoliko mernih ćelija, tako da se svaka može dimenzionisati za niže nominalno opterećenje.

Veličina platforme se može izabrati praktično po želji. Projektovanje i konstruisanje platforme postaje mnogo jednostavnija stvar. Na primer, nisu potrebna skupa rebra za ukrućenje. Po pravilu, merne ćelije u velikim vagama primaju samo deo opterećenja (uglavnom ne više od 60%), tako da se prekidači preopterećenja ili zaštita od preopterećenja mogu izostaviti.

Pošto je platforma postavljena na nekoliko mernih ćelija, gotovo je nemoguće da torziono opterećenje utiče na njih.



**Slika 8-3** Struktura platformske vage koje koriste više od jedne merne ćelije (dijagram)

Jedan nedostatak na koji se nailazi u praksi je to što za mnoge tipove mernih ćelija, konfiguracija vaganja zahteva korekciju ugla. Ovo se postiže pomeranjem kalibracione težine sa mesta na mesto na platformi i prilagođavanjem osetljivosti jedne ili više mernih ćelija u uređaju za merenje u skladu sa tim. Cilj korekcije uglova je da se dobije ista informacija o težini bez obzira na to gde je predmet koji se meri postavljen na platformi.

Merne ćelije su povezane paralelno. Ovo povećava troškove instalacije. Takođe, broj mernih ćelija izaziva veće troškove nego što je to slučaj sa rešenjima kod platformi sa jednom mernom ćelijom.

Primene za takve vage su uglavnom u oblasti kolskih vaga (ispod zemlje/iznad zemlje), sistema velikog kapaciteta i vage za robu u rasutom stanju.

Iskustvo pokazuje da je u praksi prelaz sa rešenja sa platforme koja sadrži jednu mernu ćeliju na platforme koje koriste nekoliko mernih ćelija opšte govoreći oko maksimalnog kapaciteta od 500 kg do 600 kg i veličini platforme većoj od 1m<sup>2</sup>.

# Električna struktura vagarskih komponenti uz upotrebu mernih ćelija na bazi mernih traka



## 9.1 Uvodne beleške

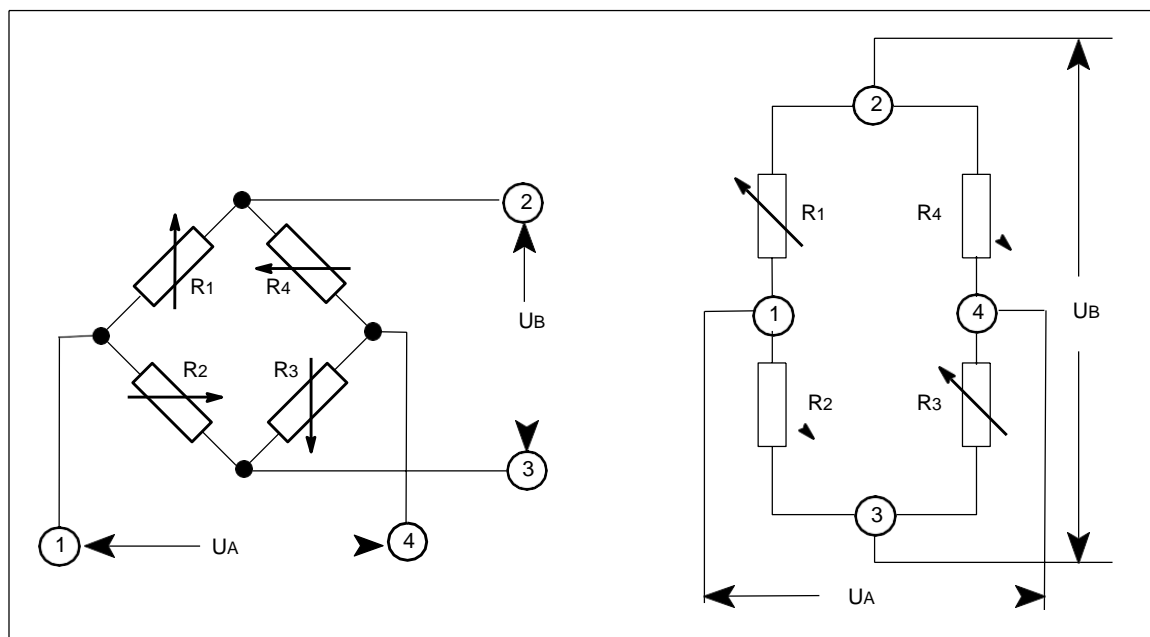
Merna ćelija na bazi merene trake pretvara mehaničku količinu (masu) u električni signal. Na većini mernih ćelija na bazi mernih traka ovaj signal je prisutan u obliku napona i proporcionalan je mehaničkoj količini unutar poznatih granica greške. Merne ćelije koje koriste merne trake kao svoj merni sistem generalno sadrže kolo koje se zove **Vitstonov most**.

## 9.2 Vitstonov most

### 9.2.1 Dijagram strujnog kola

Merna traka pretvara deformaciju u proporcionalne promene otpora. Relativne promene otpora u mernoj traci su reda veličine od  $10^4$  do  $10^2$ . Da bi se ove veoma male promene pretvorile u merljive napone, tehnologija mernih traka koristi Vitstonov most (nazvan po engleskom naučniku Sir Čarlsu Vitstonu).

Oblik romba, slika 9.1 levo, je uobičajeni prikaz mosnog spoja i često se može naći u literaturi. Slika 9.1 desno prikazuje isto električno kolo, ali je možda malo jasnije.



Slika 9-1 Načini predstavljanja mostnog spoja

**Kraci** mosta, takođe poznati kao grane, formiraju se od otpornika R1 do R4. U literaturi će se naći najšira moguća raznolikost naziva za njih. Međutim, važno je uvek ih posmatrati u kombinaciji sa povezanim jednačinama mosta.

### 9.2.2 Metod rada

Napajanje mosta je ili jednosmernom ili naizmeničnom strujom. Ako se napon, poznat kao pobuđeni napon  $U_B$ , primeni na tačke mosta 2 i 3, izlazni napon mosta  $U_A$  se proizvodi između tačka 1 i 4, pri čemu je veličina ovog napona povezana sa neusklađenošću mosta.

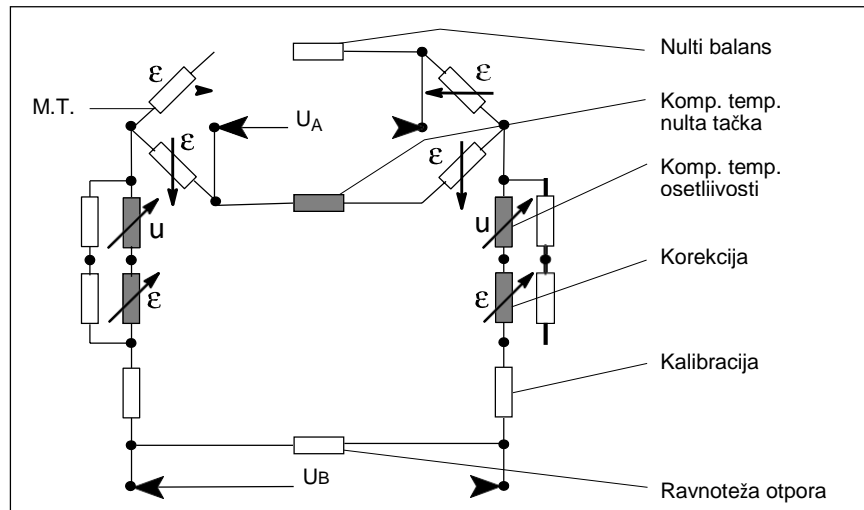
Most je balansiran kada je relativni izlazni napon mosta  $U_A = 0$ . Ako se otpori mosta R1 do R4 promene za  $R$ , izlazni napon mosta  $U_A$  se takođe menja u skladu sa neusklađenošću mosta.

### 9.2.3 Umrežavanje unutar merne ćelije na bazi mernih traka

Jedna od prednosti Vitstonovog mosta je njegov kapacitet da poveća meri signal. Ovaj efekat se povećava sa brojem aktivnih mernih traka u mostnom spoju. U idealnom slučaju dve merne trake su rastegnute i dve komprimovane, proizvodeći maksimalnu neusklađenost mosta i odgovarajući veliki izlazni signal.

Takođe, efekti smetnji kao što je naglašeno savijanje mernog elementa, ili naprezanja materijala koja nastaju usled temperaturnih efekata, su potisnuti u granicama.

Mere balansiranja i kompenzacije koje su ukratko opisane u nastavku daju važan doprinos dobijanju odličnih tehničkih podataka od mernih ćelija zajedno sa njihovim tipskim identitetom. Slika 9.2 prikazuje glavne priključke ožičenja na mernoj traci zajedno sa onima za balansne elemente u okviru Vitstonovog mosta merne ćelije.



Slika 9-2 Dijagram kola merne ćelije na bazi merne trake

Ova vrsta priključka omogućava sledeće kompenzacije ili korekcije:

- Kompenzacija za greške zbog variranja temperature u Vitstonovom mostu, uključujući i kompenzaciju za variranje temperature koja utiče na nultu tačku ( $T_{k0}$ )
- Korekcija za neusklađenost u Vitstonovom mostu, uključujući mosnu ili ravnotežu nulte tačke.
- Kompenzacija za temperaturnu zavisnost osetljivosti merne ćelije, uključujući termalnu kompenzaciju osetljivosti ( $T_{kc}$ )
- Balansiranje osetljivosti

## 9.3 Osetljivost merne ćelije

### 9.3.1 Uvodne beleške

Većina mernih ćelija ima standardizovani izlazni signal od nekih 2 mV/V pri maksimalnom kapacitetu. To znači da pri maksimalnom kapacitetu isporučuju signal od 2 mV po voltu pobuđenog napona. Standardizovani izlazni signal omogućava da se merne ćelije zamene bez ikakvih problema i značajno pojednostavljuje kalibraciju mernog lanca. Ako je predviđeno da se paralelno poveže nekoliko mernih ćelija, kao što je uobičajeno za posude za vaganje, od apsolutne je važnosti imati istu osetljivost i isti otpor mosta. Za primene sa posebno niskim budžetom dostupne su i merne ćelije bez standardizovanog izlaznog signala. U ovom slučaju izlazni signal izmeren pri maksimalnom kapacitetu je specificiran na mernoj ćeliji.

### 9.3.2 Definicija osetljivosti

Osetljivost je izlazni signal koji isporučuje merna ćelija kada na nju deluje nazivna ulazna veličina (tj. maksimalni kapacitet). Izlazni signal je rezultat uticaja ulazne veličine (u ovom slučaju merena veličina je težina). Stoga isključuje nulti signal.

Senzitivnost i signal imaju istu jedinicu, obično mV/V, bez ikakve reference na merenu količinu. Shodno tome, merne ćelije mogu imati istu senzitivnost za različite veličine ulaznih količina i/ili opterećenja.

### 9.3.3 Karakteristična kriva

Senzitivnost  $C$  merne ćelije je definisana prema slici 9.3 kao proizvod nominalnog opterećenja  $L_n$  (tj. maksimalnog kapaciteta) i nagiba prave linije kroz tačke  $P_1$  i  $P_2$  statičke karakteristike.

$$C = (S_n - S_p) : (L_n - L_p) \cdot L_n$$

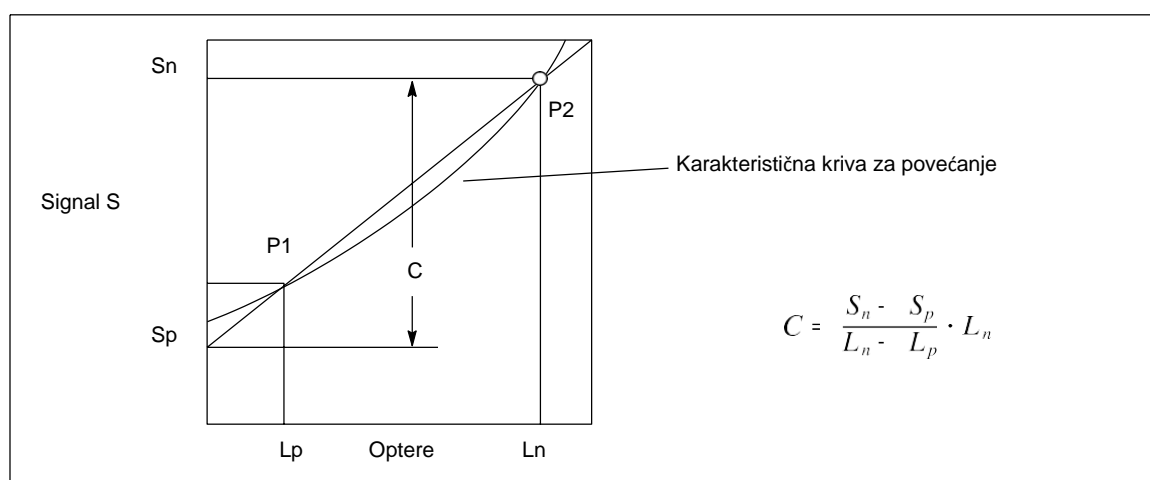
gde je  $L_p$  stalno opterećenje, a  $S_p$  odgovarajući izlazni signal za to stalno opterećenje.  $S_n$  je izlazni signal pri maksimalnom kapacitetu. Za HBM merne ćelije donja granica mernog opsega je određena mernom ćelijom u stanju bez opterećenja, i jednačina se stoga može pojednostaviti na

**$L_p=0$ :**

$$C = S_n - S_p$$

Senzitivnost HBM-ovih mernih ćelija je stoga izvedena iz razlike u izlaznim signalima iz merne ćelije pri maksimalnom kapacitetu i bez opterećenja. Nominalna osetljivost (HBM specifikacija u tehničkom listu) opisuje osetljivost merne ćelije pri maksimalnom kapacitetu.

Ovaj izraz definiše odnos izlaznog napona  $U_A$  prema pobuđenom naponu  $U_B$  Vitstonovog mostnog kola pri maksimalnom kapacitetu. Shodno tome se izražava u mV/V (obično 2mV/V). Ova vrednost je u potpunosti adekvatna za kalibraciju jednostavne opreme za vaganje, jer definiše nagib karakteristične krive za mernu ćeliju. Praktično svaki tip HBM merne ćelije karakteriše ova nominalna osetljivost.



Slika 9-3 Karakteristična kriva

**Primer:**

Merna ćelija C16/60t ima nominalnu osetljivost od 2mV/V, to jest, merna ćelija daje 2 mV izlaznog signala po voltu pobuđenog napona pri opterećenju od 60t. Znajući da pobuđeni napon omogućava izračunavanje opterećenja koje deluje na mernu ćeliju.

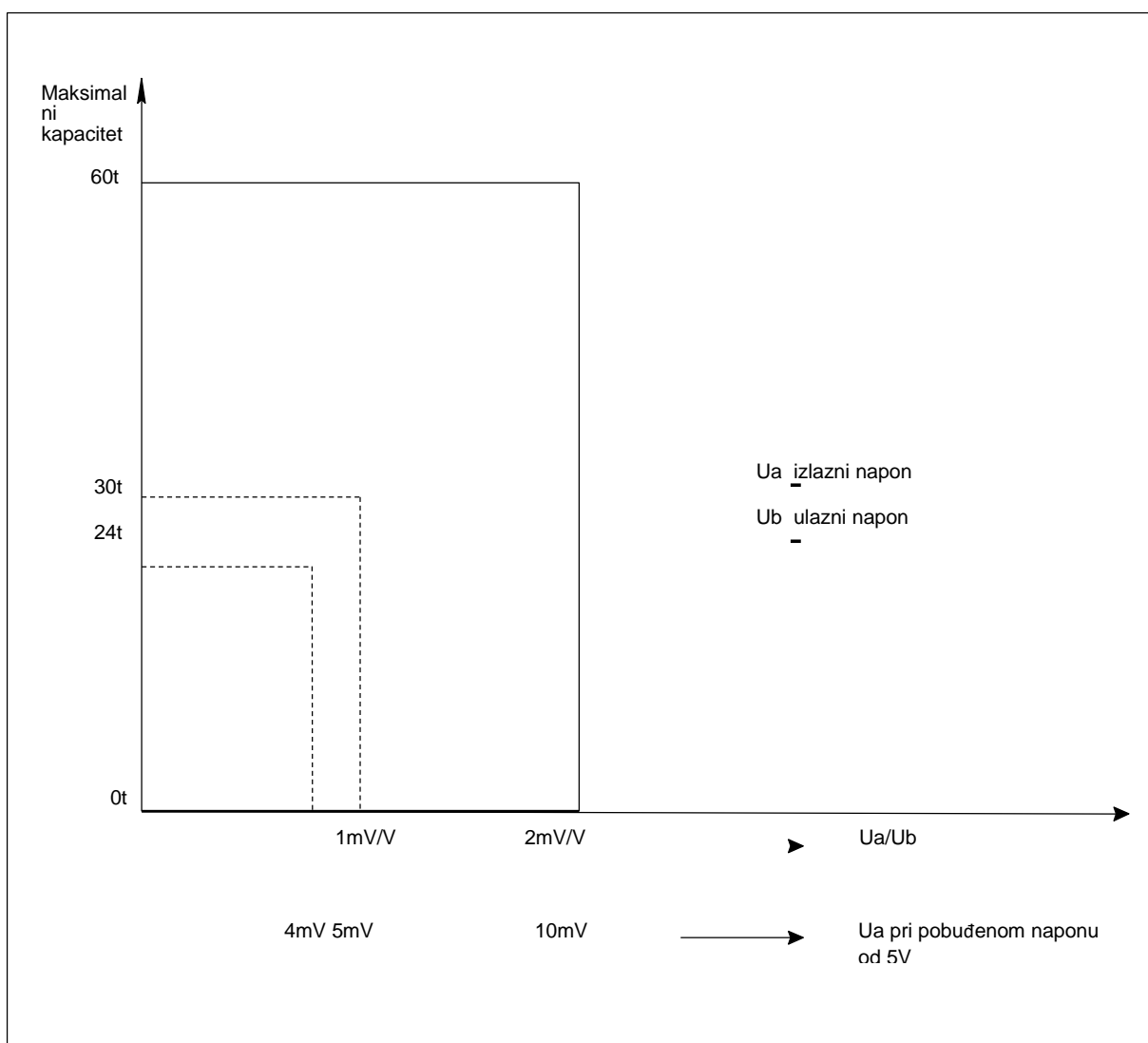
Nominalna osetljivost: 2 mV/V (at 60t)

Pobuda mosta:  $U_B = 5V$  (10mV at 60t)

Izmeren izlazni napon:  $U_A = 4mV$

$10mV/V : 60t = 4mV/V : L_r$

Izračunato opterećenje:  $L_r = 24t$



**Slika 9-4** Primer nominalne osetljivosti C16/60t 2mV/V



## 9.4 Vagarska elektronika

### 9.4.1 Uvodne beleške

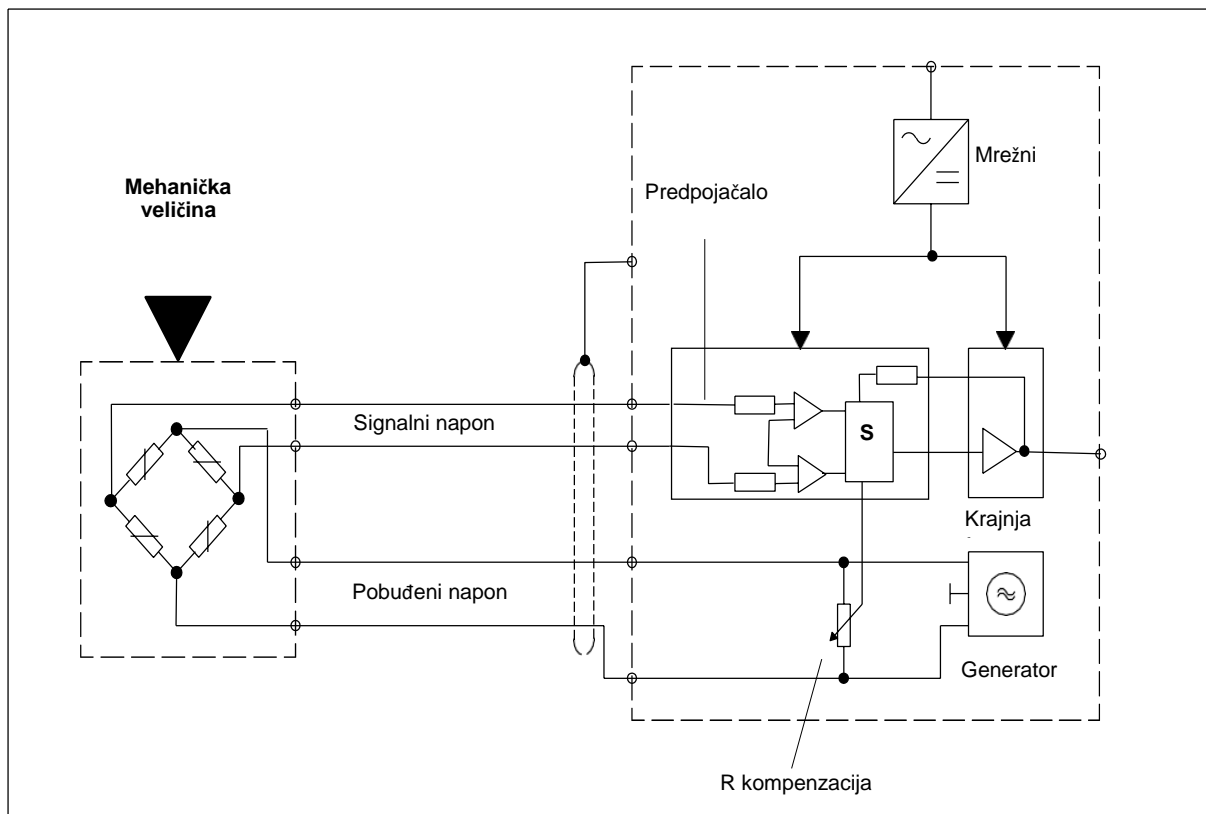
Merne ćelije su pasivni pretvarači koji pretvaraju mehaničku količinu u električni signal. Za dobijanje upotrebljivih signala potrebna je merna elektronika. Merno pojačalo, kao druga karika u lancu merenja, ima dva glavna zadatka. Prvi je da generiše visoko stabilan pobuđeni napon; drugi je da se pojača izlazni napon milivoltnog opsega od mernih ćelija do standardizovanog nivoa voltnog opsega sa što manje grešaka. Pojačani merni signal obično se podvrgava analognoj/digitalnoj konverziji. U najjednostavnijem slučaju ovo se koristi samo za digitalni displej, ali često čini osnovu za najširu raznolikost konfiguracija procesora za merenje i kontrole formulacije. Digitalizovana vrednost se može proslediti preko odgovarajućih interfejsa na PC, PLC ili kontrolu. Signali analogne električne jedinice (0 ... 10V, 0/4 ... 20mA) su takođe standardni izlazni signali takve elektronike.

U kojoj meri pojačanje unosi dodatne greške može se proceniti iz podataka specifikacije za merno pojačalo. Kritični podaci uključuju performanse prenosa sa dinamičkim signalima, promene na nultoj tački i pojačanju u zavisnosti od temperature, i osetljivost na spoljašnje smetnje.

U slučaju otpornih mernih ćelija, čiji je najpoznatiji primer pretvarač merne trake (merna ćelija na bazi merne trake), mogu se koristiti i pojačalo noseće frekvencije i pojačalo jednosmernog napona. Pitanje je jednostavno koji je poželjan princip pojačala. Obe metode pokazuju niz karakterističnih osobina koje imaju svoje prednosti ili nedostatke, u zavisnosti od definicije problema.

### 9.4.2 Pojačalo jednosmernog napona

Osnovni detalji rada pojačala jednosmernog napona u sprezi sa mernom ćelijom na bazi merne trake prikazani su na slici 9.5.

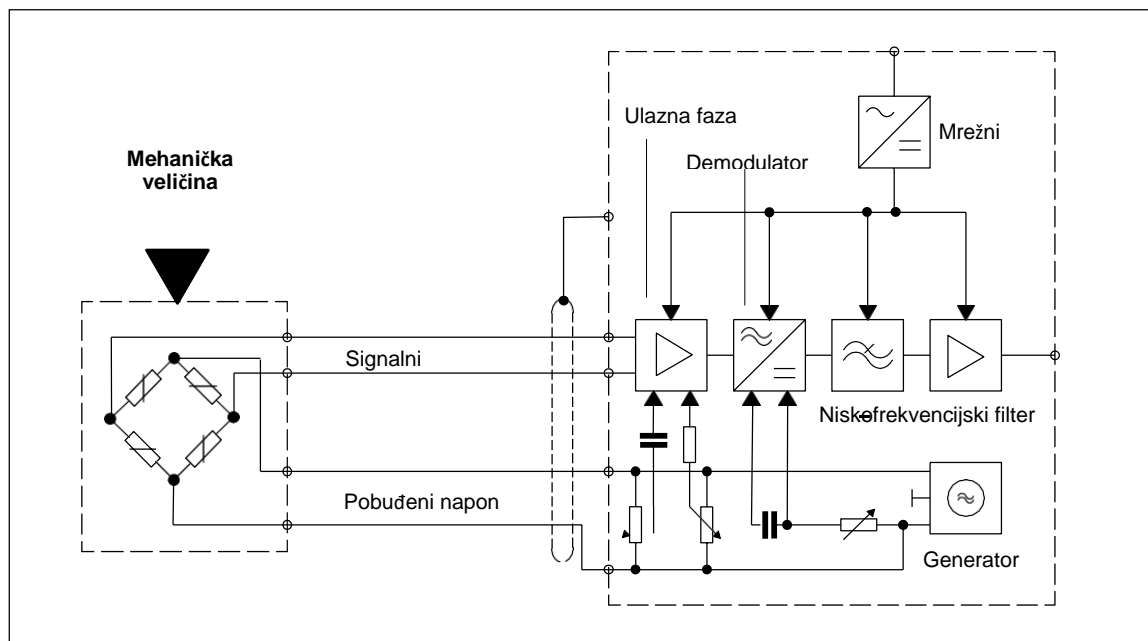


Slika 9-5 Način rada pojačala jednosmernog napona

Pošto je merna ćelija pasivni element, ona može da isporuči merni signal samo ako se napaja sa pomoćnog napajanja poznatog kao pobuđeni napon. Ovaj napon, koji na primer može biti 5 volti, proizvodi visoko stabilan generator jednosmernog napona. Napon generatora se koristi kao pobuđeni napon za celo mosno kolo u mernoj ćeliji. U stanju bez opterećenja, isporučuje se samo vrlo niskonaponski izlazni signal, koji se elektronski kompenzuje u mernom pojačalu (kompenzacija nultog signala). Kada mehanička veličina koju treba da meri deluje na mernu ćeliju, mosno kolo isporučuje izlazni napon koji nije samo proporcionalan mehaničkoj veličini, već takođe menja svoj polaritet ako mehanički signal promeni pravac. Takva promena smera bi se desila, na primer, ako bi se sila pritiska koja deluje na mernu traku promenila u silu zatezanja. Signal sa merne ćelije se dovodi do ulazne faze mernog pojačala.

#### 9.4.3 Pojačalo noseće frekvencije

U poređenju sa relativno jednostavnim metodom rada pojačala jednosmernog napona, metoda noseće frekvencije sa svojim višestrukim konverzijama signala na prvi pogled izgleda veoma komplikovano. S druge strane, ove konverzije imaju niz prednosti na nivou sistema.



Slika 9-6 Način rada pojačala noseće frekvencije

Slika 9.6 prikazuje blok dijagram pojačala noseće frekvencije povezanog sa mernom ćelijom. Generator naizmennog napona proizvodi pobuđeni napon, koji može biti na primer 5 V; amplituda i frekvencija ovog napona su veoma stabilne. Naizmennični napon se dovodi do mosnog kola na mernoj ćeliji. Kao što je opisano u slučaju pojačivača jednosmernog napona, kada mehanička veličina deluje na mernu ćeliju, signalni napon reda veličine 10 milivolti i proporcionalan mehaničkoj količini pojavljuje se na izlazu merne ćelije, ali u ovom slučaju to je naizmennični napon. U ulaznoj fazi pojačala povezanog na strani opterećenja i u njegovim narednim fazama, ovaj signal se podiže do nivoa voltnog opsega. Ovo ima niz tehničkih prednosti, jer znači da samo naizmennični napon u relativno uskom frekventnom opsegu mora da se pojača.

Signali merne ćelije sa milivoltnim opsegom se podižu do opsega volta u višestepenom pojačalu. Frekvencijski opseg pojačala je dizajniran tako da dozvoljava samo merni signal u tom opsegu. Sav šum signala izvan ovog opsega, uključujući intrinzično pomeranje nulte tačke, je potisnut, slika 9.6.

#### 9.4.4 Poređenje dva metoda

I pojačivači jednosmernog napona i pojačivači noseće frekvencije se koriste u tehnologiji merenja. U izvesnoj meri, manje povoljna svojstva bilo kog sistema mogu se poboljšati uz pomoć odgovarajućih kola, tako da se i jednosmerna- i pojačala noseće frekvencije mogu koristiti za zadatke povezane sa tehnologijom merenja.

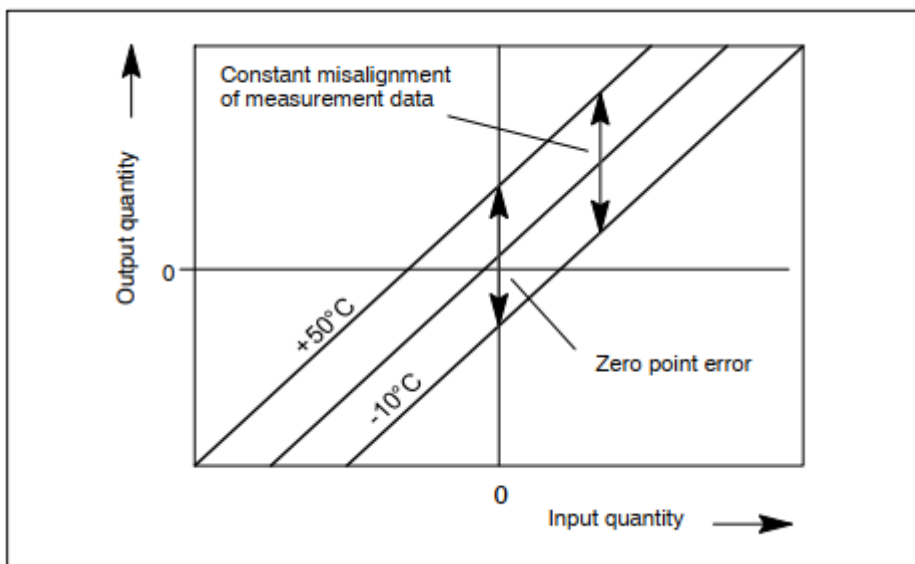
Informacije o prednostima ove dve metode mogu se naći u HBM-ovom pamfletu **Pojačala noseće frekvencije i jednosmernog napona, poređenje tehnika primene na nivou sistema**.

#### 9.4.5 Uticaj na preciznost mernih pojačala

### Uticaj temperature na nultu tačku i osetljivost

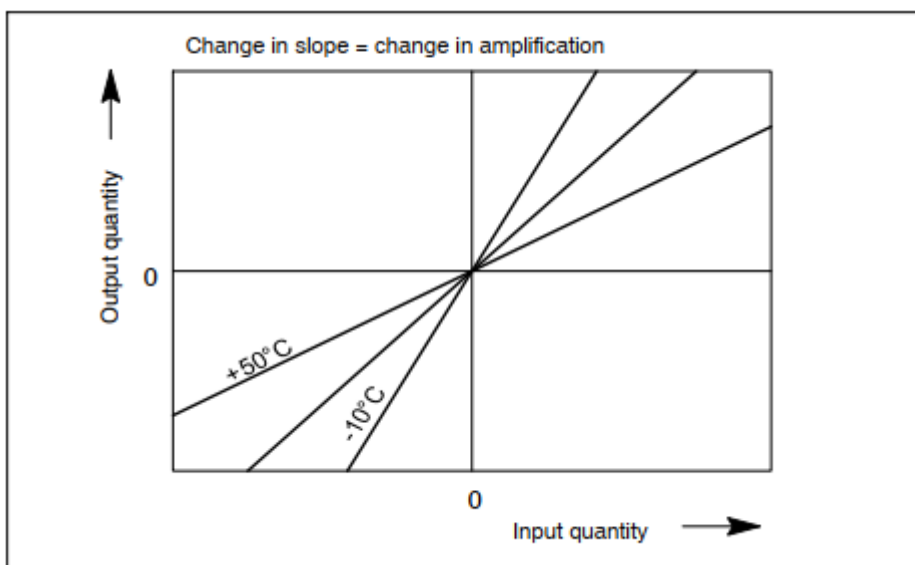
Promene temperature izazivaju paralelna pomeranja karakteristične krive pojačala, što zauzvrat dovodi do pomeranja nulte tačke.

Slike 9.7. i 9.8. ispod su dijagramski uvećane tako da se frakcije greške koje se obično javljaju samo kao promili izlazne količine mogu jasno videti.



Slika 9-7 Uticaj pomeranja nulte tačke na karakteristike pojačala

Temperatura utiče na osetljivost. Ovo uzrokuje promenu nagiba karakteristične krive, slika 9.8.



Slika 9-8 Uticaj promene osetljivosti na karakteristiku pojačala

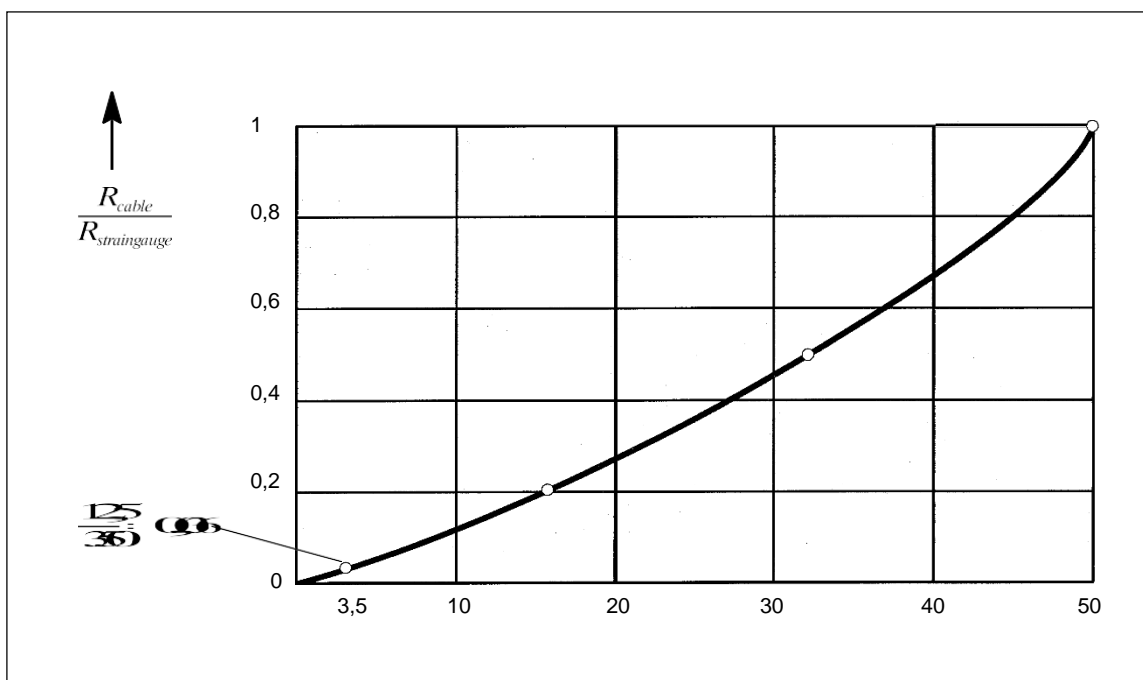
## Greška linearnosti

S obzirom na trenutno stanje tehnike u mernim pojačalima, greška linearnosti se može praktično zanemariti. Tipična greška linearnosti je znatno bolja od 0,1% u odnosu na izlaznu količinu.

### 9.5 Električno povezivanje mernih ćelija

#### 9.5.1 Uvodne beleške

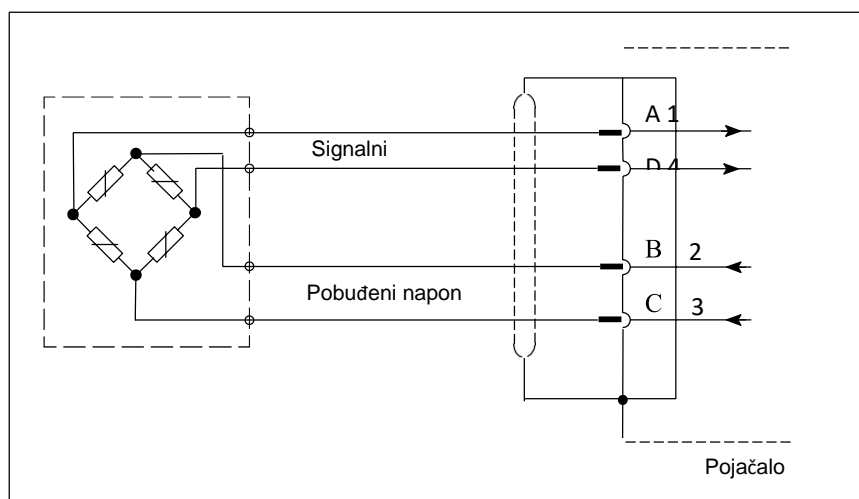
Električni otpor u napojnim vodovima izaziva pad napona između mernog pojačala i merne ćelije. Merna ćelija stoga prima niži napon od onog koji obezbeđuje unutrašnji generator napona pojačala. S druge strane, pad napona u mernim vodovima je toliko mali da je zanemarljiv, pošto je ulaz pojačala visoke **impedanse**. Shodno tome, nije uvek moguće iskoristiti ubedljive prednosti **šesto-žičnog kola**. Mogući načini kombinovanja veze između mernih ćelija i pojačala su opisani u nastavku.



Slika 9-9 Uticaj vodova merne ćelije

#### 9.5.2 Merne ćelije i merna pojačala koja koriste četvoro-žičnu tehnologiju

Merne ćelije koje koriste četvoro-žičnu tehnologiju se kalibrišu u fabrici tako da kada se primeni pobuđeni napon i kada su kapaciteti maksimalno opterećeni, nominalni izlazni signal (nominalna osetljivost) je dostupan na kraju kabla. Kabl je stoga uključen u kalibraciju merne ćelije, slika 9.10.



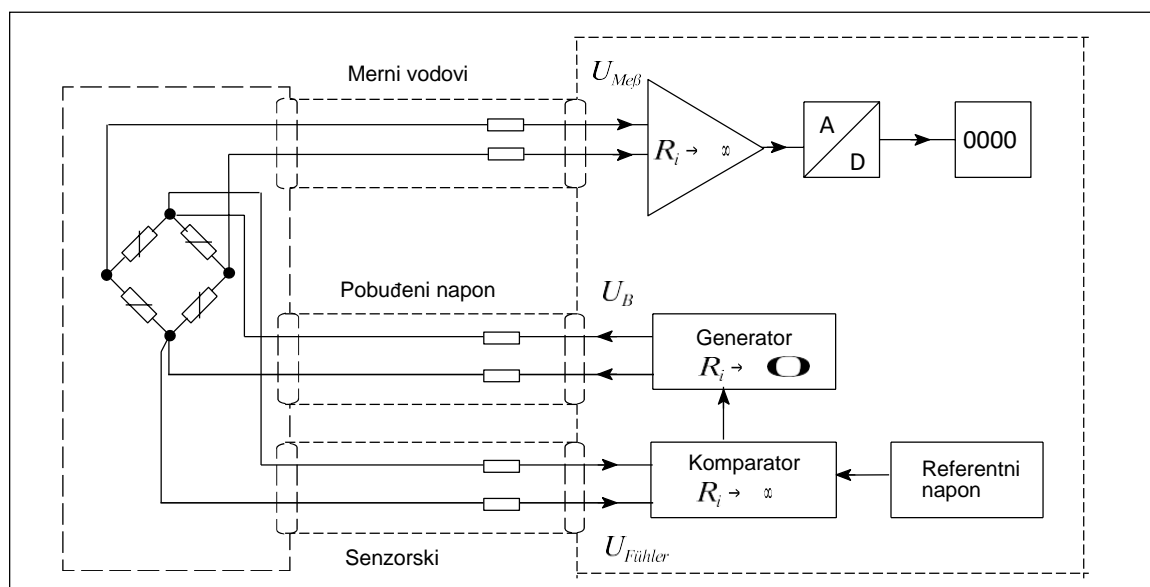
Slika 9-10 Merna ćelija i merno pojačalo koja koriste četvoro-žičnu tehnologiju

Dužina kabla se ne sme menjati jer izaziva promene osetljivosti. Temperaturni efekti u kablju se ne koriguju. Merenje bez grešaka sa četvoro-žičnom tehnologijom tipa mernog pojačala je zagarantovano samo ako je povezan kablom originalne dužine.

### 9.5.3 Merne ćelije i merna pojačala koja koriste šesto-žičnu tehnologiju

**Napomena** Da bi se izbegle moguće greške navedene u prethodnom odeljku i da bi se pojednostavio rad sa mernim ćelijama, merna pojačala i merne ćelije se godinama proizvode gotovo isključivo u obliku šesto-žičnog kola.

Šesto-žično kolo obezbeđuje najveću preciznost. Princip je prikazan na slici 9.11.



Slika 9-11 Merna ćelija i merno pojačalo koja koriste šesto-žičnu tehnologiju

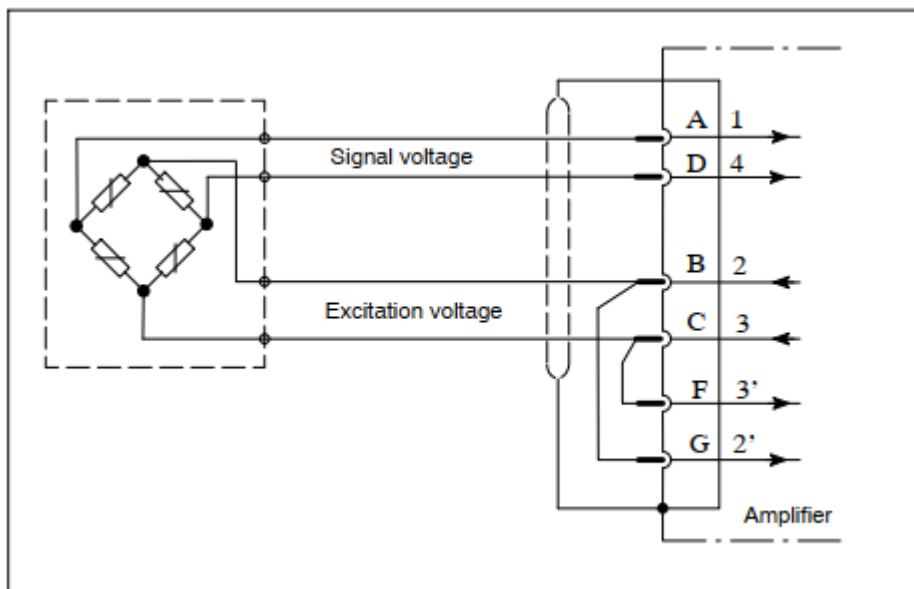
Za razliku od osnovnog minimalnog ožičenja Vitstonovog mosta (četvoro-žična tehnologija), u šesto-žičnom kolu dva senzorska provodnika skidaju stvarnu vrednost pobuđenog napona na mernoj ćeliji. Svaki pad napona se vraća preko senzorskih vodova do merne elektronike (ulazi **visoke impedanse**) i kao rezultat toga se pobuđeni napon na izlazu pojačala prilagođava sve dok željeni pobuđeni napon ponovo ne bude prisutan na mernoj ćeliji na bazi merne trake.

Ovo ima nekoliko prednosti:

- Sve promene otpora kabla, na primer usled temperaturnih fluktuacija ili produžavanja/skraćivanja kabla, se kontinuirano i automatski koriguju čak i tokom merenja
- Koriguju se gubici pobuđenog napona usled linijskog otpora
- Prilikom kalibracije uz pomoć kalibracionog instrumenta kabl više ne treba da bude uključen u proces. To znači da se kalibracioni instrument može direktno povezati sa mernim pojačalom.

#### 9.5.4 Merne ćelije sa četvoro-žičnom tehnologijom i merno pojačalo sa šesto-žičnom tehnologijom

Merna ćelija kalibrisana u četvoro-žičnom kolu takođe može biti povezana sa šesto-žičnim tehnološkim tipom pojačala. Kabl pretvarača tada treba držati što je moguće bliže mernoj ćeliji, na primer namotan u prsten. Ni u kom slučaju se ne sme skraćivati, jer bi to dovelo do pogrešne kalibracije. Otpor kabla mora biti uključen u kalibraciju merne ćelije.



Slika 9-12 Povezivanje četvoro-žičnih mernih ćelija na šesto-žično merno pojačalo

**Vodovi/priključci** za povratne informacije za šesto-žično pojačalo moraju biti povezani bez greške. Ovo se može uraditi direktno na pojačalu u obliku mosta, kao što je prikazano na slici 9.12, ili ako kablovi moraju da se produže pomoću šesto-žičnog kabla, onda bi bilo razumnije to učiniti na prelazu sa šesto-žičnog kola na četvoro-žično na priključnoj tački.

### 9.5.5 Merna ćelija sa šesto-žičnom tehnologijom i merno pojačalo sa četvero-žičnom tehnologijom

Merna ćelija koja je kalibrisana u šesto-žičnom kolu ne može da se poveže sa mernim pojačalom koristeći četvero-žičnu tehnologiju bez dodatnog udela greške. U ovoj situaciji preporučljivo je raditi sa najkraćim mogućim kablom.

Prilikom povezivanja na pojačalo, žice pretvarača za pobuđeni napon i odgovarajući senzorski vod (kod HBM-ovih uređaja obično plavo-zelene i crno-sive boje) treba da budu spojeni. Merna ćelija tada poprima četvero-žične karakteristike. Uglavnom, aspekti obuhvaćeni tačkom 9.5.2 su takođe primenljivi ovde.

### 9.5.6 Paralelno povezivanje mernih ćelija

U objašnjenjima koja se odnose na mehaničku strukturu opreme za merenje već je postalo jasno da je često potrebno nekoliko mernih ćelija. Po pravilu su povezani i rade paralelno.

Na osnovu visokog standarda proizvodnje i veoma uskih tolerancija metroloških parametara u mernim ćelijama HBM-a, u nastavku su dati osnovni preduslovi za pravilno funkcionisanje paralelne povezanosti.

Nekoliko mernih ćelija iste vrste povezanih paralelno tada imaju standardizovanu osetljivost od 2mV/V pri ukupnom kumulativnom opterećenju.

**Oprez:** u slučaju neravnomerne raspodele opterećenja, pojedinačna merna ćelija ne sme biti opterećena iznad maksimalnog kapaciteta. Preopterećenje pojedinačnih mernih ćelija se ne može detektovati u izlaznom signalu.

Merne ćelije su električno povezane paralelno spajanjem žica iste boje u priključnom kablom. Za potrebe povezivanja, HBM u svom programu proizvoda ima ne samo standardnu priključnu kutiju (VKK 2) već i priključnu kutiju za **Napomena za zaštitu od eksplozije Ex-program** (VKE). Kablovi između mernih ćelija i priključne kutije treba da budu iste dužine.

Opširnije informacije se nalaze u **Uputstvu za upotrebu za VKK 2 i VKE**.

### 9.6 Zamena mernih ćelija

U zavisnosti od internih zahteva za tačnost merenja i tolerancije, HBM merne ćelije istog tipa mogu se zameniti bez ikakvih problema. U određenim slučajevima, ponovna kalibracija opreme za vaganje je neizbežna. Za dalje informacije videti odeljke 11.3.3 i 11.6.



## Mere zaštite električnog napajanja



### 10.1. Uvodne beleške

S obzirom da se **pozadinsko** elektromagnetno opterećenje povećava iz godine u godinu, važnije je nego ikada da se obezbedi da oprema za merenje bude otporna na smetnje. Mogući izvori smetnji su radio aparati, mobilni telefoni, magnetni ventili, **kontaktori**, releji, oprema za zavarivanje, oprema za lemljenje, dalekovodi itd.

Svi ovi izvori smetnji uzrokuju elektromagnetna polja koja induktivno ili kapacitivno dodaju napone u mernom kolu preko konektorskog kabla i kućišta instrumenta. Posledično, sami instrumenti mogu prenositi smetnje.

Elektromagnetna kompatibilnost (**EMK**), koja se odnosi i na zahtev za **otpornošću na elektromagnetne smetnje** i na **dozvoljene elektromagnetne smetnje (EMI)**, sve više će dobijati na značaju kako vreme bude odmicalo.

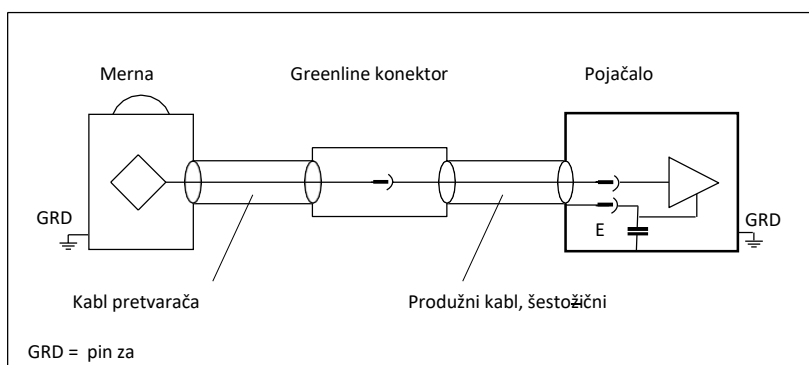
Zaštita od takvih smetnji postaje sve značajnija i zbog stalnih zahteva za većom rezolucijom mernog signala.

EMK problemi se u praksi otkrivaju kroz greške kao što su fluktuirajuće vrednosti podataka, neobjašnjivo aktiviranje graničnih prekidača, netačna merenja i ponekad nepopravljivi kvar mernog instrumenta.

Primena efektivnih mera EMK podrazumeva razmatranje mernog lanca, koji se sastoji od merne ćelije, kabla, priključne kutije, mernog pojačala i/ili uređaja za analizu. Merni lanac je potrebno sagledati u celosti.

#### 10.1.1 HBM-ov zaštitni dizajn

Zaštitni sloj kabla je formiran tako da je sam merni sistem potpuno zatvoren u Faradejev kavez. Zaštita kabla je glatko postavljena na kućište merne ćelije i proteže se preko kućišta konektora do kućišta pojačala. Ove mere smanjuju efekte elektromagnetnih smetnji na apsolutni minimum.



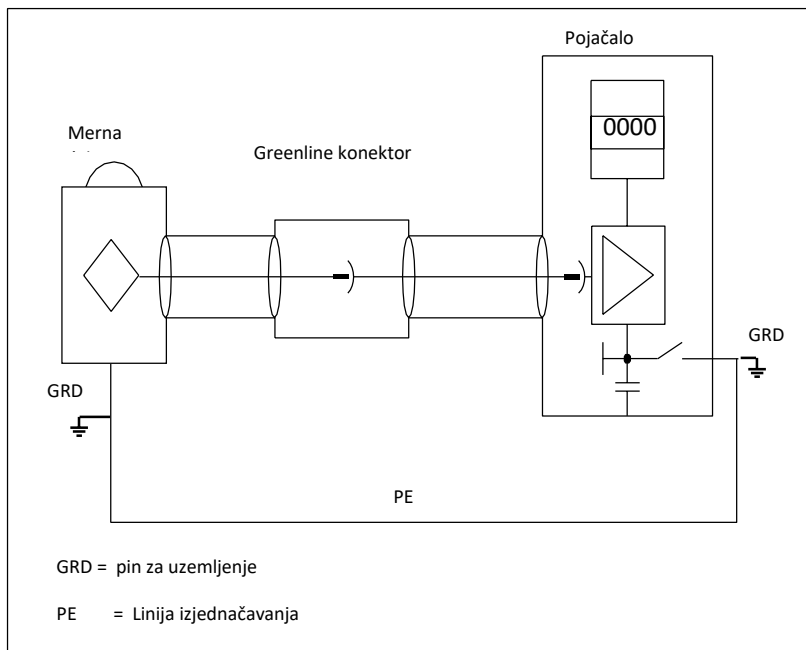
**Slika 10-1** Merna ćelija, priključni kabl pretvarača, produžni kabl, pojačalo

**Oznaka CE** se koristi za označavanje novih električnih komponenti koje su kompatibilne sa EMK. Merni instrumenti koji nose CE znak se stalno proveravaju u skladu sa važećim smernicama u HBM-ovoj laboratoriji za ispitivanje elektromagnetne kompatibilnosti i bezbednosnog inženjeringa akreditovanog od strane nemačkog instituta DAE (Deutsche Akkreditierungsanstalt Elektrotechnik). Pošto su merne ćelije i spojni elementi pasivne komponente koje same po sebi nisu obuhvaćene EMK smernicama, svi standardni proizvodi međusobno povezani sa uređajima za analizu podležu EMK testiranju u skladu sa evropskim standardom EN 45501 za vage. Ove pasivne komponente stoga nose napomenu o ovom EN. Na ovaj način su HBM-ove merne ćelije međusobno povezane sa priključnim elementima i mernim pojačalima ili uređajima za analizu, zaštićene su od elektromagnetnih smetnji u skladu sa smernicom IEC 801 deo 1-6, klasa životne sredine 2 (otpornost na elektromagnetne smetnje) i u skladu sa smernicom VDE 871, klasa granične vrednosti B, za uređaje koji ne prenose elektromagnetne smetnje (EMI).

Za efikasnu zaštitu EMK, važno je razmotriti sledeće:

- svi delovi lanca moraju biti smešteni u zatvoreno kućište kompatibilno sa zahtevima EMK
- svi prelazi zaštitnog kućišta moraju imati produženu, zatvorenu vezu
- zaštitno kućište ni u jednom trenutku ne sme da ulazi u uređaj ili instrument
- uzemljenje signala, zemlja i zaštitno kućište moraju biti potpuno odvojeni
- kada postoje razlike potencijala u mernom sistemu, mora se postaviti vod za izjednačavanje; standardna vrednost je visoko fleksibilna upletena žica, poprečnog preseka  $10\text{mm}^2$
- uverite se da neutralni provodnik za radni napon nije uzemljen u **nizvodnim** uređajima
- jake mrežne smetnje moraju biti smanjene uz pomoć filtera povezanih **na linijskoj strani**; kola mernih instrumenata i opreme pod naponom, kao što su kontaktori, **tiristorske** kontrole, itd. treba da budu što je moguće više odvojena
- nikada ne postavljajte merne kablove pored kablova za napajanje; minimalno rastojanje treba da bude 50cm; čak i sa ovim razmakom, i dalje je preporučljivo osigurati da su merni kablovi zaštićeni od megnetnih polja, na primer postavljanjem u čelične vodove

Napomena: Korišćenjem HBM-ovih mernih ćelija koje su u skladu sa HBM-ovim dizajnom zaštite, uz upotrebu razvodnih kutija VKK2 ili VKK1-4, mogu se proizvesti aplikacije kompatibilne sa EMK koje se protežu sve do mernog pojačala.



**Slika 10-2** EMK zaštita na mernom lancu korišćenjem pomoćne linije za izjednačavanje potencijala

### 10.1.2 Uzemljenje

Postoje određeni izuzetni slučajevi uzemljenja i zaštitnog uzemljenja koje EN 45501 ne obuhvata. Pošto su u slučaju ožičenja usklađenog sa EMK, uzemljenje signala i zaštitno kućište odvojeni, kućište može biti povezano sa zemljom na više od jedne tačke, na primer preko merne ćelije (metalno kućište) i pojačivača (njegovo kućište je povezano sa zaštitnim kolom).

Da bi se sprečili neželjeni efekti, uzemljenje signala i uzemljenje ili zaštitno kućište u HBM-ovim uređajima se drže odvojeno. Ako uprkos tome i dalje postoji šum od 50 Hz, preporučljivo je osigurati da su uređaji ili merne ćelije izolovani što je više moguće i da je merni lanac uzemljen samo u jednoj tački.

Ako je potrebno, takođe je moguće napraviti galvansku vezu između kućišta i mernog uzemljenja uz pomoć odgovarajućeg prekidača na zadnjoj strani uređaja. Veza ove vrste može ublažiti smetnje od brujanja u ovim retkim slučajevima.

Takođe je neophodno, nasuprot onome što je redovna praksa, nikada ne vršiti uzemljenje na radiator grejanja, vodovodnu cev ili slično. Uprkos činjenici da su danas mnogi vodovodni sistemi napravljeni od plastike, a ne od metala, ako je metalni provodnik povezan na ovaj način, on obično deluje kao antena za prikupljanje dodatnih smetnji. Za izjednačavanje potencijala bolje je koristiti zaštitno kolo mreže ili poseban vod potencijala uzemljenja koji se takođe koristi u zgradama.

### 10.1.3 Sažetak

Nažalost, ne postoji opšte rešenje za EMK probleme. Svaki slučaj se mora tretirati u skladu sa specifičnim okolnostima. Međutim, sistem povezivanja usaglašen sa EMK značajno smanjuje verovatnoću problema.

## 10.2 Zaštita od eksplozije

### 10.2.1 Opšte beleške o regulaciji konstrukcije

Potrebno je preduzeti dodatne mere zaštite kako bi se izbegla eksplozija pri radu električnih uređaja u oblastima gde eksplozija zapravo predstavlja rizik. Oni podležu pravnim i administrativnim zahtevima svake zemlje. Tabela 10.1 daje sažeti pregled građevinskih propisa koji se trenutno primenjuju u određenim zemljama.

Zemlja	Građevinski propisi
A	ÖVE 165
B	ARAB, AREI (Član 105 do 113)
CDN	CSA Std. C22.1 i C 22.5
CH	SEV 1015
D	DIN VDE 0165
F	NFC 12-300/320
GB	BS 5345: 4. deo: 1997
S	SEN 2108.. (.).69)
USA	ANSI/ISA-rp 12.6-1987 /NEC 504-11...NEC 504-50

**Tabela 1** Pregled građevinskih propisa koji se trenutno primenjuju u određenim zemljama

### 10.2.2 Podela na oblasti

Mere za izbegavanje eksplozije moraju biti stepenovane u skladu sa verovatnoćom nastanka eksplozivne atmosfere. U tu svrhu DIN VDE 0165 predviđa niz različitih oblasti:

#### 1. U slučaju zapaljivih gasova, para ili magle:

- oblast 0 pokriva lokacije u kojima je opasna, eksplozivna atmosfera prisutna trajno ili dugoročno
- oblast 1 pokriva lokacije na kojima je verovatno da će se povremeno pojaviti opasna, eksplozivna atmosfera
- oblast 2 pokriva lokacije na kojima je verovatno da će se opasna, eksplozivna atmosfera javiti samo retko i onda samo na kratko

#### 2. U slučaju zapaljive prašine:

- oblast 10 pokriva lokacije na kojima je opasna, eksplozivna atmosfera prisutna na dugotrajnoj ili čestoj osnovi
- oblast 11 pokriva lokacije na kojima je verovatno da će se povremeno, ali nakratko, pojaviti opasna, eksplozivna atmosfera kao rezultat mešanja naslaga prašine

Koja oblast je primenljiva mora se proceniti u svakom pojedinačnom slučaju. Pomoć o ovoj temi može se naći u sveobuhvatnoj zbirci primera koji se odnose na Ex-RL.

### 10.2.3 Podela električne opreme na grupe i temperaturene klase

Na isti način na koji se uzima u obzir potencijalno stvaranje eksplozivne atmosfere, tako se zapaljivost eksplozivnog materijala usled varnica i temperature koristi kao osnova za stepenovanje mera zaštite od opasnosti od požara. U tu svrhu definisane su temperaturene klase i klase eksplozije.

#### **Podela na grupe:**

Grupa I: električna oprema za rudarske radove u opasnosti od požarne vlage

Grupa II: električna oprema za sve prostore u kojima postoji opasnost od eksplozije, osim rudarskih radova u opasnosti od požarne vlage

Dalja podela Grupe II sa slovima od A do C je neophodna za tipove zaštite Intrinzične bezbednosti i Enkapsulacije otporne na pritisak

D u skladu sa minimalnim karakteristikama paljenja ili otpornosti na paljenje. Grupa II C je grupa sa najstrožim zahtevima i obuhvata sve gasove.

#### **Podela po temperaturi:**

Ako površinska temperatura nekog elementa opreme dostigne temperaturu paljenja okolne zapaljive atmosfere, može doći do paljenja. Zbog toga je oprema u Grupi II podeljena na temperaturene klase.

Temperaturene klase su primenljive na temperaturni opseg od 20 C do 40 C o kojoj nisu navedeni drugi podaci.

#### **Temperaturna klasa: Maksimalna površinska temperatura:**

T1	450 C
T2	300 C
T3	200 C
T4	135 C
T5	100 C
T6	85 C

**Tabela 2** Podela po temperaturnoj klasi

Temperaturna klasa T4 je ekonomski najvažnija grupa i odnosi se na sve gasove sa jednim ili dva izuzetka.

Koja se posebna klasa eksplozije i temperaturna klasa primenjuje na bilo koji zapaljivi gas ili paru može se naći iz tabela sadržanih u publikaciji na nemačkom jeziku pod nazivom „Indeks klasifikacije bezbednosnog inženjeringa za zapaljive gasove i paru“ od Naberta / Šena [8]. Izvod se može naći u Dodatku A DIN VDE 0165 [3].

Većina standardnih mernih ćelija u asortimanu proizvoda dostupnih od HBM Wägetechnik GmbH ispunjava uslove za izgradnju u oblasti 2 i oblasti 11. Može se zatražiti sertifikat proizvođača u tom smislu.

U zoni 1 je dozvoljeno koristiti samo uređaje koji su testirani i sertifikovani od strane Evropskog centra za testiranje. Moraju biti izrađeni u skladu sa jednim od harmonizovanih sistema za zaštitu od paljenja opisanih u standardima EN 50015 do EN 50028, koji će se smatrati istim standardima.

Sledeća objašnjenja su ograničena na sisteme za zaštitu od paljenja koji se koriste u asortimanu proizvoda HBM, a to su unutrašnja bezbednost i, inkapsulacija otporna na pritisak d i poboljšana bezbednost e.

#### 10.2.4 Intrinzična bezbednost "i"

Ovaj sistem zaštite od paljenja je najčešće korišćeni stepen zaštite u oblasti merenja i kontrole procesa. Zasniva se na činjenici da se koriste samo struje i naponi niskog nivoa.

Svaka veza sa ne-Ex zonom kod koje postoji opasnost od eksplozije treba da se izvodi samo pomoću odgovarajuće električne opreme. U principu, ovo podrazumeva Zener barijere, ali može uključiti i pojačala sa intrinzično bezbednim izlazom. Ex-oznaka ovih povezanih uređaja je prikazana u uglastim zgradama [ ].

Zener barijere ograničavaju napon prisutan u kolu uz pomoć dodatnih Zener dioda. Ako je Zener napon prekoračen u slučaju kvara, sigurnosni osigurač priključen na linijskoj strani pregoreva i prekida strujno kolo.

Struja koja cirkuliše u kolu ograničena je otporom. Ovaj otpor se mora dodati otporu priključnog kabla. To uzrokuje primetno smanjenje osetljivosti kada se poveže jedna ili više mernih ćelija. Međutim, moderna pojačala mogu da kompenzuju ovaj pad napona kada su merne ćelije povezane šestožičnom tehnologijom ili korekcijom pobuđenim naponom. Generalno treba pretpostaviti da će doći do smanjena osetljivosti, a samim tim i do izvesnog gubitka tačnosti. Važno je poštovati specifikacije proizvođača u pogledu maksimalnog dozvoljenog otpora kabla.

Uopšteno govoreći, tačno je da u Ek opsegu mora postojati dobro izjednačavanje potencijala. Kada se koriste Zener barijere, one moraju biti uključene u izjednačavanje potencijala.

Tip zaštite u svrhu bezbednosti se oslanja na ograničavanje snage u bezbednom kolu. Moraju biti ispunjeni sledeći uslovi:

Prateća električna oprema, kao što je Zener barijera:		Intrinzično bezbedna električna oprema kao što su merne ćelije i kabl:	
Maksimalni mogući napon	$U_0$	$\leq$	$U_i$ Maksimalni dozvoljeni napon

Maksimalna moguća struja	$I_0$	$\leq$	$I_i$	Maksimalno dozvoljena struja
Maksimalna moguća snaga	$P_0$	$\leq$	$P_i$	Maksimalna dozvoljena snaga
Spojiva induktivnost	$L_0$	$\geq$	$L_i$	Maksimalna interna induktivnost <sup>1</sup>
Poveziva kapacitivnost	$C_0$	$\geq$	$C_i$	Maksimalna interna kapacitivnost <sup>1</sup>

1. Mora se uvek uzeti u obzir induktivnost i kapacitet kabla.

**Tabela 3** Uslovi za tip zaštite 'intrinzična bezbednost'

Ove specifikacije se nalaze na identifikacionoj pločici ili u sertifikatu o usaglašenosti.

Intrinzično bezbedna kola moraju se držati odvojeno od intrinzično nebezbednih kola prilikom instalacije. Intrinzično bezbedna kola moraju biti identifikovana etiketom ili obojena svetlo plavom bojom.

#### 10.2.5 Zaštita od previsokog pritiska "d"

Sa ovim sistemom za zaštitu od paljenja, delovi koji mogu zapaliti eksplozivnu atmosferu smešteni su u kućište. Ovo kućište je tako čvrsto konstruisano da može da izdrži pritisak unutrašnje eksplozije i spreči njeno širenje u okolnu atmosferu. Ako kućište nije gasno nepropusno, sve praznine moraju biti dimenzionisane prema standardu EN 50018. Ne smeju se menjati, jer u slučaju unutrašnje eksplozije njihove površine moraju da hlade vrući gas dok izlazi. Zazori se moraju periodično proveravati na naslage ili rđu u redovnim intervalima.

HBM takođe isporučuje širok spektar mernih ćelija za ovaj stepen zaštite. Prednost u poređenju sa intrinzičnom bezbednošću je i to što nema smanjenja tačnosti, što je posebno važno za aplikacije koje se mogu proveriti.

#### 10.2.6 Povećana bezbednost "e"

Oprema u okviru sistema za zaštitu od pekomernog pritiska mora biti povezana uz pomoć konektorskih kutija u protivpožarnom sistemu radi povećane bezbednosti. Ove kutije se prepoznaju po velikim otvorima za vazduh i izvodima za višak gasova i tečnosti. Njihovi ulazi i izlazi su dodatno osigurani od odvrtnja, a ulazni dovodi su dodatno osigurani. Mora se poštovati određeni minimalni poprečni presek.

#### 10.2.7 Literatura o zaštiti od eksplozije

Tema zaštite od eksplozije često zahteva detaljno konsultovanje sa literaturom. Sledeća lista referenci sadrži odabir značajnih publikacija na tu temu i data je ovde radi olakšane pretrage.

[1] Nacrt standarda EN 1127-1

[2] EN 60079-14, 1997 Električna oprema za područja u opasnosti od eksplozije gasa, Deo 14: Električna oprema u oblastima gde postoji opasnost od eksplozije (osim rudarskih radova)

[3] DIN VDE 0165/2.91 Električna oprema u područjima u kojima postoji opasnost od eksplozije

[4] DIN EN 50014, VDE 01700/0171 Deo 1 Električna oprema za područja u kojima postoji rizik od eksplozije, opšte odredbe

[5] DIN EN 50018, VDE 0170/0171 Deo 5 Električna oprema za područja u kojima postoji rizik od eksplozije, enkapsulacija otporna na pritisak „d“

[6] DIN EN 50019, VDE 0170/0171 Deo 6 Električna oprema za područja u kojima postoji rizik od eksplozije, poboljšana bezbednost „e“

[7] DIN EN 50020, VDE 0170/0171 Deo 7 Električna oprema za područja u kojima postoji rizik od eksplozije, intrinzična bezbednost

[8] Indeks klasifikacije bezbednosnog inženjerstva za zapaljive gasove i paru, autori Nabert i Šen, 2. prošireno izdanje, Berlin 1963 sa 5. dodatkom

[9] Jeiter/Notlichs: Komentar- zaštita od eksplozije na ExVo i ElexV, Erich Schmidt Verlag

### 10.3 Zaštita od groma

#### 10.3.1 Uvodne beleške

Olujni oblaci sadrže veliku količinu naelektrisanja koje generiše električno polje iznad zemlje i čak jedan iznad drugog. Kada se ova snaga iznenada sruči na zemlju, to nazivamo udarom groma. Širom sveta, grom udara zemlju 100 puta svakog sekunda. Grom je jedan od najmoćnijih izvora ometanja električnog polja. Udari imaju napon u megavoltima i praćeni su strujom od preko 100 kiloampera.

Opšte govoreći, posoje dva načina na koje grom utiče na sisteme vagarske tehnologije:

- Direktnim udarom u instalaciju, uz izuzetno veliku struju praćenu velikim viškom napona
- Izrazito nestabilnim magnetnim poljem blizu udara groma, koje je izazvano velikom snagom oslobođene struje

Ova promenljiva magnetska polja mogu generisati jake struje i napone u strujnim kolima bilo koje obližnje vagarske opreme. U nepovoljnim uslovima doći će do velikog viška napona, uprkos tome što uređaji imaju ugrađenu opremu za zaštitu od previsokog napona. Najveća šteta na sistemima vagarske opreme uzrokovana je upravo na ovaj način.

Vrsta štete koja može biti naneta varira od kvara na jednoj funkciji uređaja do potpunog uništenja vagarskih komponenti kao što su merne ćelije bazirane na mernim trakama, otpornici za balansiranje i električna kola.

#### 10.3.2 Mere zaštite

”Spoljne mere” za odbranu od groma se upotrebljavaju da bi se izbegla velika šteta od požara na zgradama ili mehaničko razaranje. DIN VDE 0185 pominje sve elemente zaštite koje treba instalirati na spoljašnjost zgrade da bi se presreli udari groma i sproveli do zemlje.



## **Izjednačavanje potencijala za zaštitu od groma**

”Unutrašnje mere” za zaštitu od elektromagnetnog uticaja groma na unutrašnjost instalacije moraju biti preduzete da bi se takvi uticaji neutralisali. Akcenat treba staviti na izjednačavanje potencijala kao metod zaštite od groma, da bi se smanjila velika razlika u potencijalu koju izaziva struja izazvana gromom.

Za efikasnu zaštitu od groma, svi ulazi i izlazi u instalaciju moraju biti deo takve šeme izjednačavanja potencijala. Ovo takođe mora uključiti sve kablove/dovode na mernoj opremi.

## **HBM-ov zaštitni dizajn**

HBM-ov dizajn daje veliki doprinos efikasnoj zaštiti od groma. Zaštita HBM-ovih kablova je glatko postavljena na spojevima u oba pravca između elektronike i merne ćelije. Ona u velikoj meri sprečava pojavu opasnih razlika u potencijalu između pojedinačnih komponenti koji su posledica indukcije izazvane direktnim udarom groma.



### 11.1 Neki važni aspekti

Za električno merenje mehaničkih većina, pre svega mase, konstruiše se merni lanac pomoću merne ćelije, pojačala zajedno sa generatorom i uređajem za prikaz ili analizu. Da bi se izvršila merenja sa ovom konfiguracijom, moraju se poštovati određene neophodne procedure u vezi sa podešavanjem i balansiranjem sistema.

To uključuje **kalibraciju** i **rekalibraciju** opreme za vaganje, a ove procedure su važne komponente u uspešnoj implementaciji mernog lanca. Proces počinje prilagođavanjem mernog pojačala i merne ćelije izborom odgovarajućeg režima rada, što je obično puno mosno kolo; nastavlja sa podešavanjem pobuđenog napona, balansiranjem nule i/ili tariranjem; a završava se postavljanjem indikatora prikaza sa ciframa u odgovarajućem opsegu za količinu koja se meri.

Radi lakšeg razumevanja, evo kratkog objašnjenja pojmova koji su uključeni:

#### ***Prilagođavanje ili balansiranje***

Prilagođavanje uključuje postavljanje mernog lanca (tj. uređaja za merenje u celini) na takav način da se svako odstupanje merenja svede na minimum. Postupak trajno menja ponašanje mernog lanca. Uglavnom, takva podešavanja se vrše na mernom pojačalu ili elektronicu za merenje. Ovaj postupak se često pomalo netačno naziva kalibracijom.

#### ***Podešavanje***

Prilikom balansiranja mernog lanca, karakteristična kriva mernog pojačala / elektronike za merenje se menja tako da se prikazuje rezultat odgovarajuće, celobrojne višestruke fizičke količine.

Primer: merna ćelija za maksimalni kapacitet od 5 kg prikazuje 5000 pri maksimalnom kapacitetu.

#### ***Kalibracija ili etaloniranje***

Kalibracija podrazumeva određivanje mernih odstupanja u instrumentu (uređaju za vaganje) bez promene podešavanja mernog lanca u celini. Kalibracija upoređivanjem sa standardnim

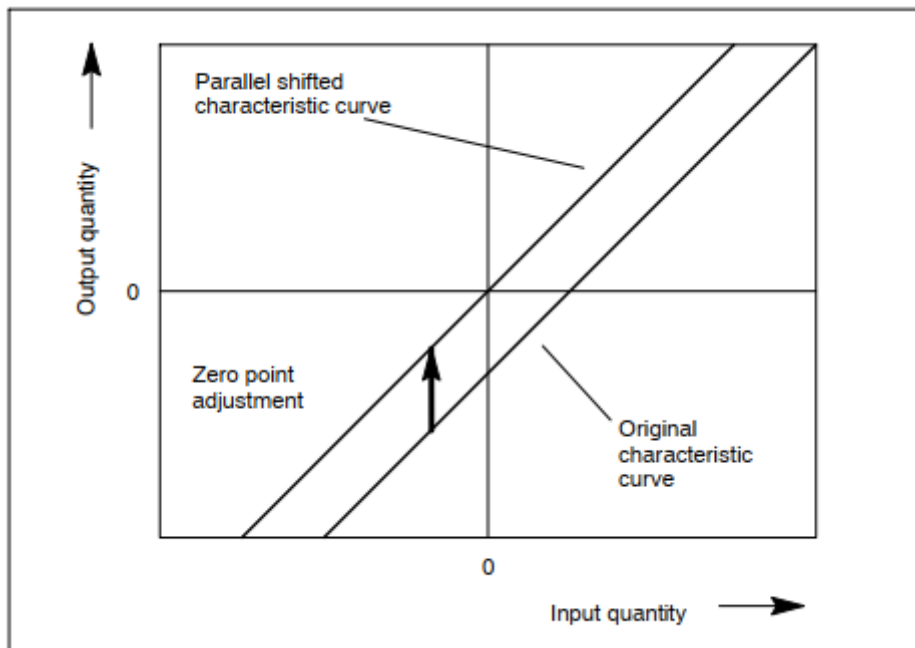
uređajima za koje se zna da su tačniji se takođe ponekad naziva etaloniranje sa referentnim etalonima.

### Verifikacija

Verifikacija obuhvata zvanično utvrđivanje i dokumentovanje odstupanja u rezultatu merenja vaga od prave vrednosti. Pokriva testove/postupak kalibracije koji moraju biti sprovedeni u skladu sa propisima o verifikaciji od strane imenovane organizacije (Inspektorat za mere i težine ili ovlašćeni proizvođač). Ako je vaga u skladu sa propisima, zvanični postupak takođe određuje period u kome se može očekivati da uređaj pouzdano funkcioniše sa navedenom tačnošću.

### 11.2 Balansiranje

U većini slučajeva, prvi korak je izvođenje nulte ravnoteže. Balansiranje nule proizilazi iz zahteva da kada pretvarač (tj. merna ćelija) nije pod opterećenjem, odnosno kada je statičan i prazan, na displeju takođe treba da se očitava nula. Ovo se postiže podešavanjem nulte ravnoteže ili korišćenjem funkcije nulte ravnoteže da dovede do paralelnog pomeranja karakteristične krive pojačala.



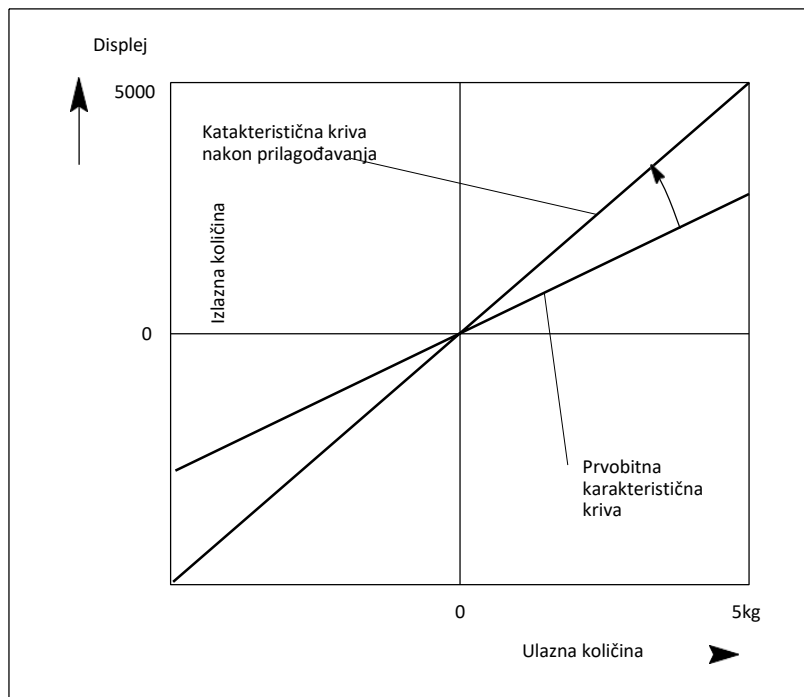
Slika 11-1 Paralelno pomeranje karakteristične krive tokom nulte ravnoteže

Karakteristična kriva pojačala je grafički prikaz koherentnosti između ulaznog i izlaznog napona:

$$UA = f(UE)$$

Nakon nulte ravnoteže, karakteristična kriva prolazi kroz nultu tačku. Ekran koji je potreban pri maksimalnom kapacitetu može se podesiti promenom nagiba ove linije.

Promena pojačanja se odnosi na stvarno podešavanje pojačala. Oba ova koraka zajedno, nulta ravnoteža i podešavanje, poznati su kao balansiranje mernog lanca.



**Slika 11-2** Promena nagiba karakteristične krive tokom prilagođavanja

Postoje tri glavna načina na koje se može izvršiti balansiranje za različite kombinacije mernih ćelija i uređaja:

- simulacijom signala na mernoj ćeliji
- učitavanjem jedne, nekoliko ili svih mernih ćelija sa realnim opterećenjem
- korišćenjem posebnih kola i kalibracionih signala

Nije svaka od ovih metoda moguća ili upotrebljiva u praksi za svaku kombinaciju opreme. Preporučljivo je balansirati merne ćelije i ostale uređaje sa stvarnim opterećenjem (tegovi, voda itd.) kad god je to moguće. Takođe je preporučljivo da proverite balansiranje kada se završi, kako biste bili sigurni da su merne ćelije ispravno postavljene.

### 11.2.1 Balansiranje direktnim opterećenjem

U principu, pozicioniranje definisanih mernih ćelija je najbolji metod za balansiranje, ali ponekad jednostavno nije praktičan. U stvari, jedan od najčešćih razloga zašto se ovaj metod ne koristi je taj što je nepotrebno tačan; napor uključen u pripremu tegova visoke preciznosti je finansijski veoma zahtevan. S druge strane, u slučaju vaga koje zahtevaju verifikaciju prema zvaničnim specifikacijama, ovo je propisani oblik kalibracije.

Tokom kalibracije vaga se puni referentnim tegovima. Ukupna dodana težina treba da iznosi maksimalan kapacitet i/ili radno opterećenje vage.

U konačnoj analizi, tačnost ove metode kalibracije je određena preciznošću referentnih tegova. Napunjene i izmerene vreće peska, ili tečnosti koja je odmerena preko dovoljno tačnih mernih uređaja, smatraju se prikladnim u praksi. Dodavanje ili uklanjanje malih tegova reda veličine 0,1% maksimalnog kapaciteta mora biti registrovano bez histereze. Ako to nije slučaj, mora se proveriti da li uređaj ima premosnice trenja.

#### **Sekvenca:**

1. Nulta ravnoteža
2. Uvođenje poznatog opterećenja u/na vagu nakon nulte ravnoteže
3. Postavite merno pojačalo/elektroniku za merenje na odgovarajućem displeju

Iako ova metoda balansiranja na prvi pogled izgleda veoma jednostavna, nažalost ne može se uvek koristiti u praksi jer:

- mora biti dostupno odgovarajuće opterećenje, što može biti problematično u slučaju uređaja veoma velikog kapaciteta kao što je merna ćelija od 100 t
- tačnost kalibracije zavisi od preciznosti korišćenih referentnih tegova. Zahtev visoke preciznosti posebno se ne može ispuniti u praksi bez odgovarajućeg velikog napora. Iz tog razloga merne ćelije su kalibrisane od strane proizvođača uz pomoć opreme za ispitivanje visoke preciznosti. Izveštaj o ispitivanju za dotičnu mernu ćeliju uključuje njena odstupanja od idealne vrednosti.

Međutim, ako se balansiranje zaista može izvršiti korišćenjem direktnog opterećenja, ovo predstavlja odlučujuću prednost za korisnika: svi efekti smetnji i greške usled uvođenja sile ili podešavanja konkretne merne ćelije se lako utvrđuju.

**Slika 11-3** Balansiranje direktnim opterećenjem

Primer: Izvršite nultu ravnotežu, unesite opterećenje od 5 kg, podesite displej na 5000

#### **Praktični saveti:**

Napomena: ovaj oblik kalibracije na terenu u koji se uvode poznata opterećenja ne samo da nudi značajne prednosti u odnosu na druge metode, već je u mnogim slučajevima zapravo i propisana metoda.

Dostupna mala opterećenja se mogu koristiti za određivanje broja mernih tačaka, a uvođenje opterećenja će obezbediti poređenje cilja sa stvarnim u numeričkom ili grafičkom obliku. Ako uređaj ne pokazuje kompenzaciju karakteristične krive, vrednost pune skale prikazana pri 100% opterećenju može se podesiti apsolutno pre ili posle krajnje vrednosti uzimajući u obzir najbolje ponašanje karakteristične krive.

Poseban slučaj nastaje pri kalibraciji silosa ili drugih kontejnera sa velikim kapacitetom skladištenja, ako je nedovoljno kalibracionih tegova ili je površina za nošenje premala za maksimalno kalibraciono opterećenje. U slučajevima kao što su ovi, potrebno je opterećenje izvršiti postepeno:

1. napunite uređaj tegovima poznate mase  
zabeležite rezultate merenja  
uklonite težinu
2. napunite posudu ekvivalentnom masom materijala za punjenje, sve dok se ne dostigne prikazana vrednost navedena za tačku 1
3. vratite tegove kao dodatak zapisu rezultata merenja  
uklonite težinu
4. napunite posudu ekvivalentnom masom dok se ne dostigne prikazana vrednost navedena u tački 3
5. ponavljajte postupke 1. i 2. dok se ne dostigne maksimalni kapacitet

Kada se odredi maksimalni kapacitet, karakteristična kriva se može korigovati ponovnim podešavanjem mernog opsega.

### **11.2.2 Balansiranje uz pomoć kalibratora**

Balansiranje uz pomoć kalibracionog instrumenta je najčešće korišćena metoda u praksi i takođe postiže najbolje rezultate. Kalibracioni instrumenti sa stopama greške manjim od 0,2% do 0,0005% su trenutno najsavremeniji. Kombinovanjem kalibracije mernih ćelija sa podacima i/ili izveštajem dobijenim tokom kalibracije omogućava se konstruisanje mernih lanaca visokog kvaliteta.

Kalibracioni instrument koji se koristi umesto merne ćelije može da generiše i podesi definisane signale. Ovi signali simuliraju neusklađenosti merne trake koja se javljaju u mernoj ćeliji ili u nekoliko kola merne ćelije kao rezultat definisanog opterećenja. Kolo jednostavnog instrumenta za kalibraciju koristi princip šant otpornika za generisanje različitih neusklađenosti mosta sa celim brojem.

Pošto se ova neusklađenost dešavaju u ugrađenom Vitstonovom mostu, instrument za kalibraciju je povezan umesto uobičajene merne ćelije.

S druge strane, pošto može postojati razlika između nultog signala iz kalibracionog instrumenta i onog koji proizvodi merna ćelija, nulta tačka instrumenta za kalibraciju mora prvo da se izbalansira. Zatim se generiše definisani signal / SG most neusklađenosti i merno pojačalo se podešava.

Najjednostavnije, balansiranje se može izvršiti na mernim ćelijama sa standardizovanom osetljivošću (1. Primer), ali nema problema ni sa proizvoljnim vrednostima karakteristika (2. Primer). Kod svih mernih ćelija, nominalna osetljivost ima toleranciju koja zavisi od kvaliteta same merne ćelije. Ako je potreban viši nivo tačnosti kalibracije, precizna osetljivost se mora naći iz izveštaja o ispitivanju za datu mernu ćeliju.

U HBM-u, dobro razvijena tehnologija za proizvodnju mernih ćelija omogućava proizvodnju mernih ćelija istog tipa sa tako visokim stepenom ponovljivosti njihovih metroloških svojstava

da se širok spektar tipova mernih ćelija može isporučiti čak i bez izveštaja o ispitivanju. U takvim slučajevima informacije o osetljivosti mogu se dobiti iz lista sa podacima ili iz uputstava operatera.

#### **1. primer:**

Merna ćelija Z6FC3 / 100 kg = 2 mV / V, kalibracioni signal 2 mV / V Podesite indikator na 100.00

#### **2. primer:**

Merna ćelija HLCAC3 / 550 kg = 1.94 mV/V, kalibracioni signal 2 mV/V Konverzija 550kg :  
 $1.94 \text{ mV} / \text{V} = X \text{ kg} : 2 \text{ mV} / \text{V} \quad X = 567.01 \text{ kg}$  Podesite indikator na 567.01

Korišćenje kalibracionog instrumenta za balansiranje:

1. povežite instrument za kalibraciju umesto uobičajenih mernih ćelija na bazi mernih traka
2. uradite balansiranje nulte tačke
3. odredite neusklađenost
4. podesite indikator na odgovarajuću vrednost
5. ako je moguće, koristite instrument za kalibraciju da prođete kroz karakterističnu krivu u, recimo 10% koraka i proverite vrednosti na ekranu
6. povežite mernu ćeliju na bazi merne trake i još jednom izbalansirajte nultu tačku

### **11.2.3 Balansiranje uz pomoć kalibracionog signala ugrađenog u instrument**

Mnoga merna pojačala pružaju opciju za generisanje standardizovanog internog signala, kao što je 1 mV/V na ulazu pojačala. Ovo se može uraditi ili kao dodatak postojećem mernom signalu ili kao referenca na nultu tačku, ili se čak može konvertovati u drugi definisani merni opseg. U vezi sa tim su važne dve tačke:

- efekti kablova se ni na koji način ne uzimaju u obzir
- osim kod procesorskih pojačala, tačnost kalibracionog signala obično nije naročito visoka, u najboljem slučaju 0,1%, pa čak i do 1%.

Iz ovoga proizilaze dva važna zaključka:

- kada su kablovi prilično dugački, ovaj metod se može koristiti samo u kombinaciji sa šestožičnim kolom
- u praksi se signal često može koristiti samo za proveru pojačala. Nakon kalibracije, interni kalibracioni signal se koristi za generisanje neusklađenosti pojačala i beleži se

njegova vrednost. Pod uslovom da se ova vrednost ne promeni kada se postupak ponovi, podešavanja mernog instrumenta su takođe nepromenjena.

**Napomena:** Balansiranje se vrši na isti način kao kada se koristi instrument za kalibraciju; generišite neusklađenost i podesite ekran u skladu sa tim.

U slučaju mernih ćelija povezanih paralelno u četvorožičnoj tehnologiji, mora se uzeti u obzir otpor kabla.

Kada se kalibriše uz pomoć kalibracionog instrumenta ili kalibracionog signala ugrađenog u instrument, parazitske sile ili pogrešno opterećenje kao što su bočne sile na mernoj ćeliji se zanemaruju.

### 11.3 Uticaj na kabl tokom balansiranja

#### 11.3.1 Otpor kabla

Sledeće tačke su veoma blisko povezane sa odeljcima 9.5.2 i 9.5.3 i ograničene su uglavnom na merne ćelije u četvorožičnoj tehnologiji.

Otpor u napojnom kabl u izaziva pad napona. Obim gubitka zavisi od otpora kabla koji je i sam proizvod dužina i preseka kabla. Shodno tome, merna ćelija ili instrument za kalibraciju dobija niži napon od onog koji napaja generator. Međutim, pošto je ulazni merni signal pojačala visoke impedanse, do pada napona dolazi samo u napojnom kabl u, slika 9.12.

#### 3. primer:

Kalibratconi instrument =  $35\Omega$  sa signalom za kalibraciju od  $2\text{ mV} / \text{V}$ ,

- balansiranje pojačala sa direktno povezanim kalibracionim instrumentom na displej od 1000 pri  $2\text{ mV} / \text{V}$
- korišćenjem kabla dužine 50 metara  $2 \times 2 \times 0.14\text{mm}^2$  između pojačala i instrumenta za kalibraciju
- displej prikazuje samo 965 za ekvivalentu neusklađenost pri  $2\text{mV} / \text{V}$

#### 11.3.2 Otpor kabla u zavisnosti od temperature

Otpor kabla nije konstantna količina, već se menja sa temperaturom

$\alpha = 0.004/\text{K}$ . To znači da električni otpor kabla raste sa povećanjem temperature.

Smetnje zbog temperaturnih efekata stoga nisu pokrivene jednostavnom kalibracijom. Međutim, efekat se može proceniti proračunom; ako je prevelik, može se potpuno eliminisati upotrebom odgovarajućih kola, kao što je šestožično kolo.



#### 4. primer:

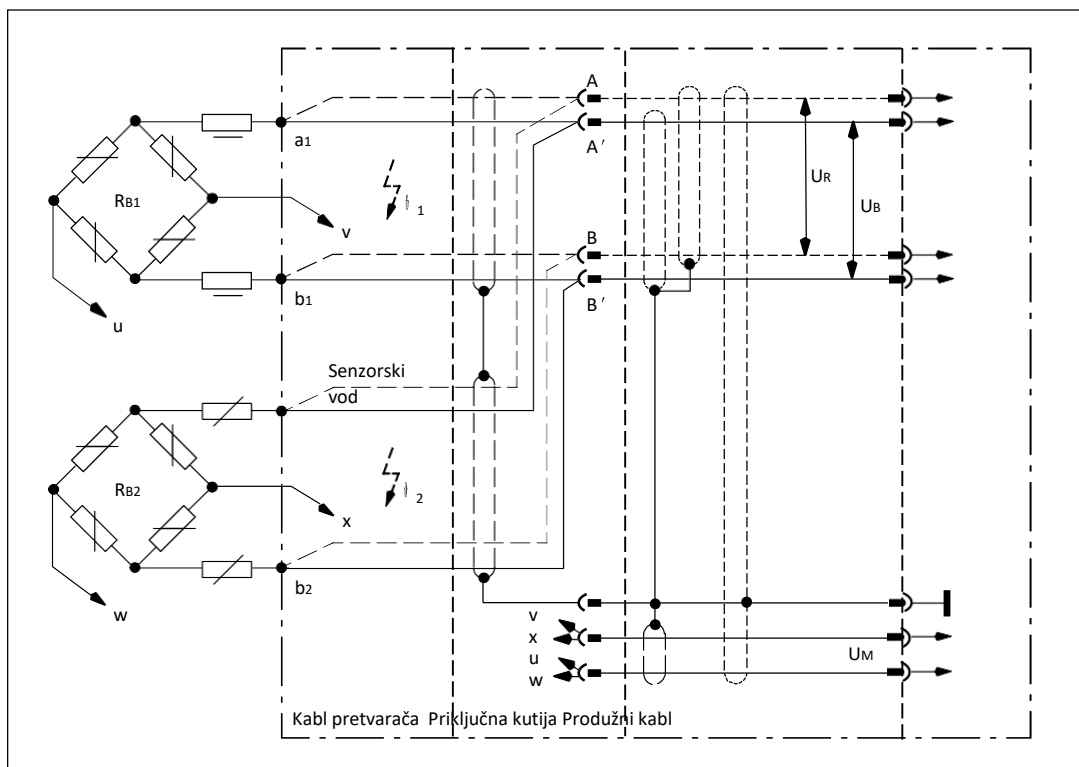
Kabl od 50 metara  $2 \times 2 \times 0.14 \text{ mm}^2$ , otpor mosta  $350\Omega$ , temperaturni opseg od  $-10 \text{ C}$  do  $+40 \text{ C}$

Promena u otporu kabla  $R_k$  se izračunava kao  $\Delta R_k$

To znači da promena gubitka u zavisnosti od temperature prelazi 0,6%. Ovaj efekat interferencije uopšte nije prihvatljiv kada se koriste merne ćelije sa kumulativnom greškom od 0,1% ili manje. Prilično velike temperaturne fluktuacije i kablovi na dužoj strani onemogućavaju merenje visoke preciznosti sa ovom vrstom kola. Opet, šestožična tehnologija je jedino dobro rešenje.

#### 11.3.3 Unutrašnji otpor kada su merne ćelije paralelno povezane

Ponekad se podaci ne mogu uspešno dobiti upotrebom opreme za aplikacije vaganja koje koriste samo jednu mernu ćeliju. U tom slučaju je uobičajeno da se paralelno poveže nekoliko mernih ćelija, možda čak tri ili četiri, i prikaže kombinovani signal na pojačalu ili elektronicu za merenje.



Slika 11-4 Paralelno povezivanje mernih ćelija

Po zakonima fizike, ćelije za merenje napreznja se tretiraju kao električni otpornici<sup>®</sup>.

U skladu su jednačinom 11.1, ukupni otpor  $R_{tot}$  usled paralelne veze izvodi se na sledeći način:

$$R_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_i}}$$

## Jednačina 11.1

### 5. primer:

Ako su 3 merne ćelije povezane paralelno sa otporom mosta od 350Ω svaka, rezultujući unutrašnji otpor se može izvesti u skladu sa jednačinom 11.1 na sledeći način:

$$R_{ges} = \frac{1}{3 \frac{1}{350}} = 116\Omega$$

Ako se za kalibraciju koristi kalibracioni instrument sa 350Ω umesto 3 paralelno spojene merne ćelije, onda se u slučaju priključnog kabla od 50 metara 2 k 2 k 0,14 mm<sup>2</sup> na elektroniku za analizu, rezultujući signal displeja povećava za oko 6%.

Ovo je zbog činjenice da je "visoki" otpor od 350Ω prema formuli

$$I = U_b/R_{ges}$$

proizvodi mali protok struje i samim tim mali gubitak. Ako se merne ćelije povezane paralelno zatim ponovo povežu nakon kalibracije, unutrašnji otpor je manji. Dok se jačina struje i gubitak signala povećavaju, ekran zapravo radi nepravilno. Kao rezultat toga, indikator se više ne slaže jer su vrednosti koje prikazuje suviše niske. U takvim slučajevima preporučljivo je koristiti kalibracioni instrument sa 120Ω.

#### 11.3.4 Upotreba različitih kablova

Pad napona u napojnom kablju dovodi do gubitka, koji zavisi ne samo od otpora/dužine i poprečnog preseka kabla, već i od jačine struje koja teče kroz kabl. Jačina struje je funkcija otpora opterećenja i zavisi da li se koristi samo jedna merna ćelija ili više njih.

Produžni kablovi moraju biti zaštićeni materijalom niske kapacitivnosti. Ako je merna ćelija već u fabrici opremljena prilično dugačkim kablom, ona će već biti potpuno kalibrisana. Kada koristite produžetke kablova, uverite se da je veza savršena, sa najmanjim mogućim otporom kontakta i dobrom izolacijom. HBM-ovi kablovi i utični konektori su u skladu sa ovim zahtevima.

Ako je takođe potrebna posebna izolacija od vlage, to se može postići korišćenjem KVM spojnice kablova sa zalemljenim priključcima unutar izliveno zaptivke, ili upotrebom VKK2 kablovske priključne kutije sa navojnim spojevima unutar kućišta odlivenog pod pritiskom.

Šestožična kola se koriste da bi se kompenzovali efekti otpora koji zavisi od temperature koji proizilaze iz dugih kablova.

S druge strane, ako se četvorožilni kabl produži, ceo merni lanac se mora ponovo kalibrisati.

U ovom slučaju, temperaturni efekti u produžnom kablju se ne ispravljaju.

#### 11.4 Balansiranje digitalnih pojačala

Ovi uređaji imaju sopstvenu „unutrašnju inteligenciju“ i nude brojne prednosti za kalibraciju: uobičajeno šestožilno kolo ispravlja sve efekte kablova, bilo za pojačala jednosmernog napona ili za pojačala noseće frekvencije.

Autokalibracija redovno proverava ispravno funkcionisanje i prati balans analognih komponenti u pojačalu.

Balansiranje je znatno pojednostavljeno s obzirom na mogućnost unosa potrebne karakteristične krive, tj. nulte tačke i krajnje vrednosti ili opsega merenja.

Razlika između krajnje vrednosti i mernog opsega je izuzetno važna. Da li se balansiranje može ili zaista mora izvršiti zavisi od toga koji je tip podešavanja moguć.

Balansiranje menja karakterističnu krivu pojačala. Sama karakteristična kriva je prava linija nedvosmisleno definisana ili dvema tačkama ili jednom tačkom i nagibom.

Ako je pojačalu potrebno da se unesu dve tačke, prvo se mora postaviti nulta tačka, a zatim krajnja vrednost ili još jedna vrednost na karakterističnoj krivoj. Međutim, ako se merni opseg može podesiti na digitalnom displeju mernog instrumenta, sekvenca podešavanja je nevažna i nezavisna od nulte tačke. Na primer, opseg merenja od 2 mV/V može se prvo podesiti, a nulta tačka drugi. U ovom slučaju, promena nulte tačke nema uticaja ni na karakterističnu krivu ni na izlazni signal.

Konvencionalna analogna pojačala ne funkcionišu na ovaj način, osim ako se nulti signal sa merne ćelije ne potisne u svrhu kalibracije.

#### 11.5 Sažetak

U zavisnosti od instrumenta i merne ćelije, mogu se koristiti različite metode za balansiranje mernog lanca.

Opšte govoreći, potrebno je pratiti sledeću proceduru:

1. izaberite tip mosta i pobuđeni napon
2. uravnotežite nultu tačku
3. generišite neusklađenost na mernoj ćeliji bez pomoći šestožilnog kola, ili na mestu instalacije uz pomoć kalibracionog signala
4. podesite odgovarajuću vrednost prikaza ili, ako koristite šestožilno kolo:
  1. izaberite tip mosta i pobuđeni napon
  2. podesite potrebnu vrednost prikaza
  3. podesite nultu tačku i krajnju vrednost ili nultu tačku i merni opseg na pojačalu.

Kalibracioni signal potreban za neusklađenost treba da bude pribl. 50% do 100% nominalnog signala ili mernog signala. Sledeće tačke imaju za cilj da odgovore na pitanje kako najbolje podesiti ekran sa brojkama u odgovarajućem opsegu:

najviši mogući pobuđeni napon kako bi se dobio najbolji mogući odnos signala/šuma.

**Opres:** Poštujte maksimalnu dozvoljenu vrednost pobuđenog napona kao što je prikazano u tehničkom listu; previsok pobuđeni napon dovodi do povećanog lokalnog zagrevanja i moguće do grešaka u merenju ili oštećenja prilikom primene merne trake.

- izlazni napon iz mernog pojačala treba da bude što veći, prekidač mernog opsega na najmanjem mogućem opsegu merenja omogućava potpunu kontrolu pojačala
- na kraju promenite podešavanje displeja tako da se za mernu ćeliju sa recimo 5 kg, na displeju pri maksimalnom kapacitetu pojavljuje vrednost 5000

Odstupanja od ovoga mogu biti od pomoći ako je predviđeno istovremeno prikazivanje analognog signala iz mernog pojačala na ploteru ili ponovnu obradu signala u PLC-u: u oba slučaja je preporučljivo da se ekran podesi na 10.000, da bi se očitao izlazni napon u V / 10 V ili procentima / 10.000 = 100% direktno.

#### 11.6 Zamena mernih ćelija – ponovljena kalibracija

Specifikacije koje definiše proizvođač značajno pojednostavljaju ponovnu kalibraciju opreme za vaganje. Jedna ili više mernih ćelija istog tipa mogu se zameniti bez problema ako imaju identična metrološka svojstva.

**Sledeće se odnosi na vage koje ne zahtevaju verifikaciju u odnosu na zvanične specifikacije:**

Zamena neispravne merne ćelije ne zahteva ponovno balansiranje mernog pojačala/elektronike za vaganje jer će osetljivost zamene biti izbalansirana u fabrici, pod uslovom da je merna ćelija istog tipa sa identičnim tehničkim podacima i istim maksimalnim kapacitetom, osetljivost, klasa tačnosti itd.

Međutim, ako je merni lanac balansiran pomoću tegova za pozicioniranje, ova vrsta postupka balansiranja će se morati ponoviti kada se merne ćelije zamene. Ako je korekcija ugla izvršena u slučaju vaga sa paralelno povezanim mernim ćelijama, onda će se na sličan način ovaj postupak korekcije ugla morati ponovo sprovesti u potpunosti.

**Sledeće se odnosi na vage koje zahtevaju verifikaciju u odnosu na zvanične specifikacije:**

Vaga koja zahteva verifikaciju **uvek se mora ponovo kalibrisati** i ponovo prihvatiti kada su merne ćelije zamenjene.

### 12.1 Uvodne beleške

Tačnost merenja električnih ili elektromehaničkih uređaja za vaganje je kombinacija preciznosti korišćenih mernih ćelija, strukture samog uređaja za merenje i uslova pod kojima se oprema koristi. Uslovi upotrebe obično imaju posebno značajan uticaj na tačnost, iako ih je često nemoguće tačno definisati. S obzirom na ovu činjenicu, karakteristika poznata kao **minimalni verifikacioni podeok** za merne ćelije uvedena je za uređaje za merenje koji zahtevaju verifikaciju u odnosu na zvanične specifikacije.

Kada se merne ćelije na bazi mernih traka koriste u svrhu pronalaženja mase predmeta, odlučujući faktor je sila vaganja. Pošto lokalno ubrzanje usled gravitacije čini suštinski deo merenja, veoma visoki nivoi tačnosti mogu čak zahtevati da se uzmu u obzir odstupanja od standardnog gravitacionog ubrzanja. Težina se može meriti sa veoma velikom tačnošću korišćenjem mernih ćelija na bazi mernih traka, pri čemu se nesigurnost ne izražava u procentima već u ppm (milioniti deo) u ekstremnim slučajevima. Međutim, za većinu aplikacija to nije neophodno. Netačnost standardne merne ćelije je znatno manja od 1%.

Kriterijum izbora za merne ćelije poznat kao **klasa tačnosti** se danas koristi samo za merne ćelije ugrađene u aplikacije koje ne zahtevaju verifikaciju u odnosu na zvanične specifikacije. S druge strane, merne ćelije odobrene za **upotrebu sa aplikacijama koje zahtevaju verifikaciju u odnosu na zvanične specifikacije** se sve više koriste iz najrazličitijih razloga, čak i u opremi koja ne zahteva takvu verifikaciju. Od posebnog značaja je izraz  $V_{min}$ , koji predstavlja najmanji dozvoljeni verifikacioni podeok (**minimalni verifikacioni podeok**) koji izražava tačnost kao funkciju maksimalnog kapaciteta.

Ceo merni lanac, koji se sastoji od mernih ćelija zajedno sa tehničkom strukturom kao što je tačka uvođenja opterećenja i sve linije ulaza i izlaza, podvrgava se kritičnom testiranju pod opterećenjem, kada se sve prisutne greške pojavljuju kada se prikaže karakteristična kriva. Stručno lice može proceniti uzrok na osnovu ovog prikaza karakteristične krive i blagovremeno preduzeti korektivne mere.

Merne ćelije zajedno sa kablovima i opremom za analizu obično daju linearne, ponovljive rezultate merenja, a sva odstupanja od njih su određena tolerancijama, pogledajte HBM-ova tehnička uputstva. Ako bilo koji aspekt kalibracije pokazuje neprihvatljiva odstupanja, uzroci se moraju istražiti i ispraviti. Skoro uvek se ispostavi da su ovi uzroci mehaničke prirode. Trenje,

parazitske sile, naginjanje, samostalni napon, izobličenje, termičko naprezanje i vibracije su početne varijable poremećaja koje se ni u kom slučaju ne smeju smatrati konstantama.

**Korekciju karakteristične krive** na izlaznoj strani opreme za analizu treba preduzeti samo sa najvećim oprezom. Ovo uključuje čak i takozvane greške u uglovima, koje su rezultat naginjanja. U skoro svakom slučaju potrebna karakteristična kriva je najbolji prolaz prave linije u odnosu na nultu tačku.

## 12.2 Odabrane karakteristične veličine

Na tačnost mernih ćelija i elektronskih komponenti može uticati niz varijabli, a one su navedene u odgovarajućim tehničkim listovima ili uputstvima za upotrebu. Podaci se obično izražavaju u procentima u odnosu na nominalnu osetljivost ili određenu temperaturnu razliku.

### **Odabrane karakteristične veličine mernih ćelija:**

- Rezolucija mernog signala

Rezoluciju mernog signala karakteriše statički prikaz, drugim rečima: poslednja cifra prikazana na digitalnom displeju miruje

- Ponovljivost

Ponovljivost definiše sposobnost mernog instrumenta da isporuči izuzetno slične vrednosti za izlaznu količinu pod sledećim uslovima:

isti posmatrač

određeni metod merenja

veliki broj ponavljanja u kratkim intervalima sa identičnom postavka merne ćelije

- Reproducibilnost ili uporedivost

Reproducibilnost ili uporedivost definiše sposobnost mernog instrumenta da isporuči izuzetno slične vrednosti za izlaznu količinu pod sledećim uslovima:

različiti posmatrač i različiti uslovi ispitivanja, merni instrumenti, lokacije, postavke, laboratorije itd.

- Odstupanja kalibracije od izlaznog raspona

Odstupanje od karakteristične krive (nelinearnost i histereza)

Ovo je obično poznato kao nelinearnost. Karakteriše odnos između merene količine i mernog signala kada postoji odstupanje od linearnog trenda u odsustvu bilo kakvog spoljašnjeg uticaja

- **Uticaj temperature na ravnotežu nule  $TK_0$**

Odstupanje izmerene vrednosti za mernu ćeliju u stanju bez opterećenja (nulta tačka) usled temperaturnih efekata

- **Uticaj temperature na osetljivost  $TK_c$**

Odstupanje izmerene vrednosti kada je osetljivost, odnosno Longsov modul materijala ćelije za opterećenje, pod uticajem temperaturnih efekata

- Greška puzanja

Greška puzanja se javlja kada se izmerena vrednost očita ili ponovo obradi pre nego što se postigne ciljna vrednost koja se samopodešava

- Greška histereze (histereza)

Ovo karakteriše razliku u izmerenoj vrednosti pri rastućem i opadajućem opterećenju

#### **Odabrane karakteristične veličine elektronike:**

- Nelinearnost
- Dugotrajno odstupanje

Zavisno od elektronskih komponenti, sa i bez autokalibracije

- Uticaj temperature na nultu tačku i osetljivost

U zavisnosti od uređaja, treba napraviti razliku između sledećeg:

uticaj na analognu vrednost

uticaj na digitalnu vrednost

uticaj na autokalibraciju

- Fluktuacije radnog napona

Uticaj na nultu tačku i osetljivost

### 12.3 Uticaj konfiguracije opreme i okruženja na preciznost

Ne samo merne ćelije, kao centralni elementi, već praktično svaki deo opreme za merenje, ima uticaj na tačnost uređaja za merenje, uključujući čak i način vaganja (statičko, povremeno, šarže), broj mernih ćelija koje se koriste, mehanička struktura i okolina uređaja za merenje, vibracije zgrade itd.

Sada bi trebalo da bude očigledno zašto tačnost uređaja za vaganje nije previše lako definisati. S obzirom na veliki broj uticaja, često se može proceniti ili izraziti samo teorijski.

Drugačija je situacija u slučaju proverljivih vaga namenjenih za vaganje robe. Kod njih se javljaju:

- a) efekti u zavisnosti od broja korišćenih ćelija koje mere opterećenje
- b) uticaj pribora za montažu
- c) efekti koji proizilaze iz tipa procesa vaganja

Vaganje se može izvršiti na različite načine:

- Statičko merenje

Nema relativnog pomeranja između vaganja i tačke unošenja tereta tokom vaganja, kao kod vaganja kontejnera, praćenja visine punjenja itd.

- Dinamičko vaganje

Relativno kretanje između vagane robe i tačke unošenja tereta tokom vaganja

Postoje dve različite vrste dinamičkog vaganja:

- Kontinuirano vaganje

Težina neprekidnog toka vaga se određuje bez ikakve sistematske podele, kao u slučaju trake za vagu

- Intermitentno vaganje (spazmodično vaganje)

Svako pojedinačno vaganje uključuje delimičnu količinu koja je sama po sebi potpuna i odvojena od ukupne količine, kao u slučaju dozatora

- d) efekti konstitucije vaganja robe, npr. tečnosti, rasuti materijali
- e) uticaj mehaničke strukture
- f) efekti okoline i uslova korišćenja, kao što su vremenske prilike, vibracije zgrada

#### 12.4 Određivanje preciznosti vagarskog uređaja

- a) Na osnovu postojećih tehničkih podataka
- b) Sprovođenjem električne kalibracije

Uglavnom samo delimična kalibracija električnog dela uređaja za vaganje.

Ovo ne uzima u obzir efekte mehaničke konstrukcije i uslova okoline ili upotrebe.

- c) Uz pomoć preciznih referentnih težina



## 12.5 Poboljšanje preciznosti vagarskog uređaja

Poboljšanja najčešće zavise od tehnologije koja se koristi u procesu vaganja i od mesta ugradnje. Ako je **ciklično tariranje** dostupno, pomeranja nulte tačke zbog kontaminacije i/ili temperaturnog odstupanja mogu se kontinuirano korigovati. S druge strane, dugotrajni postupci merenja kao što je praćenje visine punjenja nisu mogući. Međutim, poboljšanje se može postići korišćenjem elektronike za merenje autokalibracijom.

## 12.6 Rezolucija mernog signala

Postoje fizička ograničenja za maksimalnu moguću rezoluciju zbog efekata napona toplotnog šuma i kretanja elektrona. U statičkim signalima iznosi oko 1.000.000 delova. Kada se posmatra sa geometrijske tačke gledišta, ova cifra se može prikazati na sledeći način: kada je merna ćelija maksimalnog kapaciteta, merna traka menja svoju dužinu za oko 0,1%. Dakle, ako se opterećenje promeni za jedan podeok, standardna merna traka dužine mreže od 3mm menja svoju dužinu samo  $3 \cdot 10^{-12}$  m. Ovo predstavlja 2% prečnika najmanjeg atoma, helijuma. Nije iznenađujuće, stoga, da kretanje atoma i elektrona postavlja granicu višoj rezoluciji.

Međutim, rezolucije koje se mogu koristiti u praksi određene su uslovima okoline u kojoj se nalazi uređaj za merenje. Primer ilustruje ograničenja rezolucije ometajućih efekata:

Cilj je izmeriti masu od 100 kg sa tačnošću od +/- 0,1 g/100 mg, što predstavlja rezoluciju od 1.000.000 delova. Idealan proizvod koji se koristi je veoma kvalitetna merna ćelija, bez uticaja koji izazivaju greške, u klasi tačnosti 0,02. Promena temperature od samo 1K znači nesigurnost od oko +/-20 delova. U našem primeru ovo iznosi moguću grešku od +/-2 g.

Čak i veći uticaji koji stvaraju greške nikada se ne mogu potpuno eliminisati. Dakle, iz razloga praktičnosti, uobičajeno je raditi sa realističnim rezolucijama do 20.000 delova, a povremeno i do 50.000 delova.

Ne postoji način da se izbegne činjenica da se greške merenja moraju detaljno analizirati.

Takođe je važno da se u ovu analizu uključi konfiguracija pojačala, jer je odnos između rezolucije i klase tačnosti takođe važan faktor. HBM ima širok spektar odgovarajućih proizvoda koji mogu pružiti rešenje.

U slučaju aplikacija koje zahtevaju verifikaciju, pravila i propisi kao što je **Zakon o verifikaciji** ograničavaju maksimalni ppm koji se može koristiti u opsegu merenja kao funkciju određene aplikacije. Tipično se koristi 1000 delova, 3000 delova i 6000 delova.

**Granice rezolucije merne ćelije** određene su:

- fizičkim principom senzora
- bukom koja se emituje iz otpornika merne trake

**Granice rezolucije mernog pojačala** određene su:

- širinom propusnog opsega pojačala
- šumom koji se emituje iz ulaznog pojačala

- postupkom digitalizacije

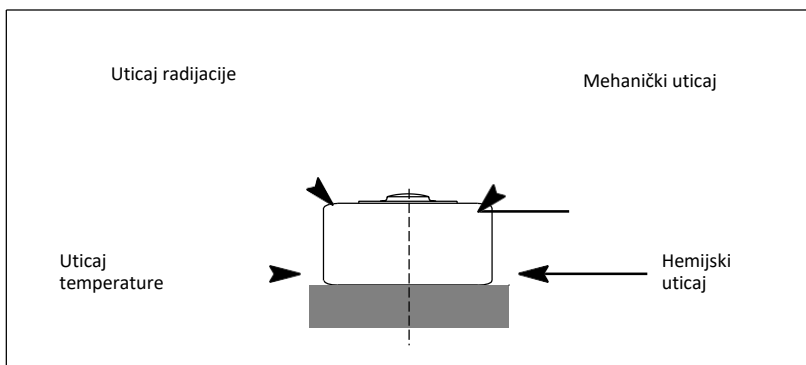
**Granice rezolucije usled spoljašnjih uticaja** određene su:

- mehaničkim oscilacijama, na primer zbog nadgradnje na vage
- zvukom mreže i elektromagnetnim poljima smetnji

### 13.1 Uvodne beleške

Uticao varijabli poremećaja treba uzeti u obzir od najranije faze u projektovanju opreme za vaganje. Kasnije se pokaže da je zaštita mernih ćelija od štetnih efekata mnogo skuplja od uzimanja u obzir ovih pitanja tokom faze planiranja. Mnogi različiti efekti interferencije mogu se javiti prilikom merenja mernim ćelijama. U ovom poglavlju će biti dato nekoliko primera, zajedno sa predloženim korektivnim merama.

Primetićete da su neke od tačaka koje su ovde pomenute takođe obrađene u prethodnim poglavljima. Međutim, s obzirom na fundamentalni značaj teme, one će se bez oklevanja ponavljati gde god je to prikladno.



Slika 13-1 Potencijalni uticao smetnji

**Mehanički uticaji** su najznačajniji.

**Hemijski uticaji** mogu oštetiti merne ćelije ili merne trake, zbog vlage ili napada korozivnih supstanci. Jedno moguće rešenje je korišćenje hermetički zatvorenih mernih ćelija. Dodatne mere mogu biti potrebne za zaštitu merne ćelije, kao što je nanošenje odgovarajućeg sloja boje.

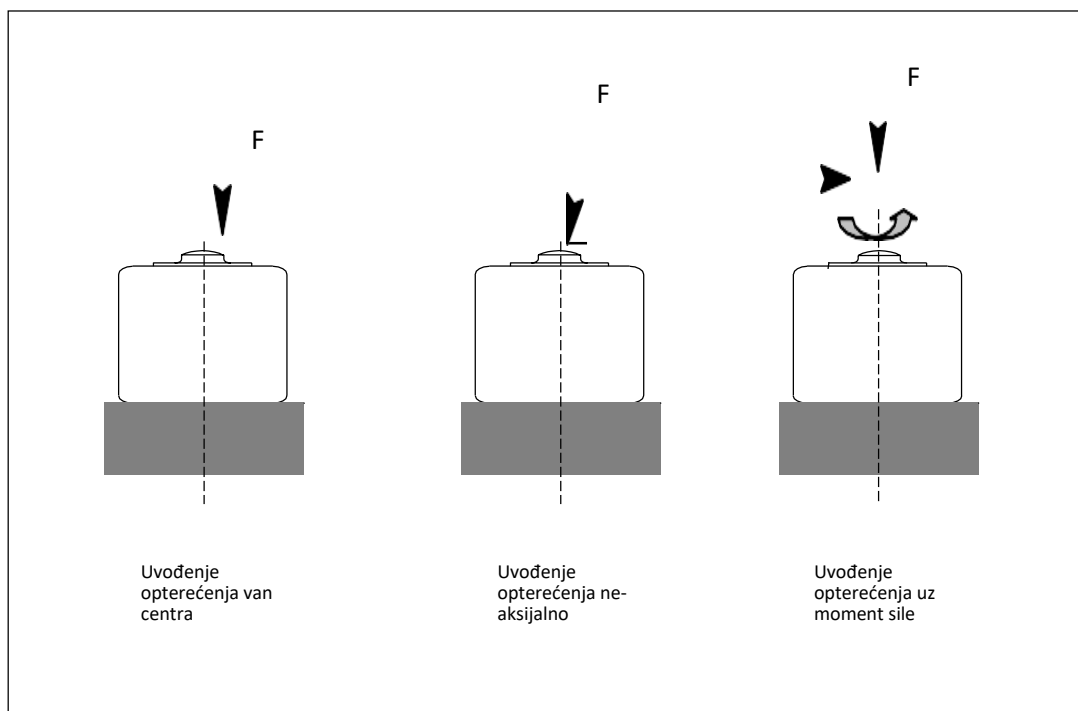
**Toplotni uticaji** koji deluju neravnomerno na mernu ćeliju mogu da promene rezultat merenja. Ako se neujednačene temperature okoline ne mogu sprečiti, merne ćelije moraju biti zaštićene izolacionim omotačem. Postepene, ujednačene promene temperature imaju mali ili nikakav uticao na rezultat merenja, pošto većina mernih ćelija uključuje elemente za kompenzaciju ove vrste temperaturnih varijacija. U slučaju mernih ćelija kalibrisanih u četvorožilnom kolu, originalni kabl za mernu ćeliju mora imati istu temperaturu kao i sama merna ćelija, inače će

doći do grešaka u merenju. Za merne ćelije u šestožilnom kolu, efekat temperature kabla se koriguje elektronikom u mernom instrumentu.

## 13.2 Uticaj mehaničke interferencije

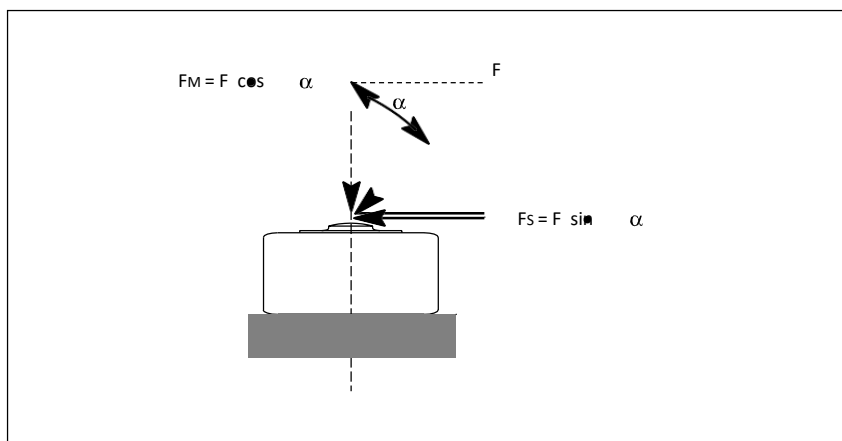
### 13.2.1 Uvođenje opterećenja

Nepravilno uvođenje opterećenja, kao što je uvođenje van centra ili ne-aksijalno, ili superpozicija sile interferencije, mogu dovesti do pogrešnih rezultata merenja. Ako primenjene bočne sile ili momenti prelaze dozvoljene vrednosti, sam merni element se takođe može oštetiti. Neaksijalna sila se može analizirati na komponentu u pravcu merenja i bočnu komponentu.



Slika 13-2 Nepravilno uvođenje opterećenja

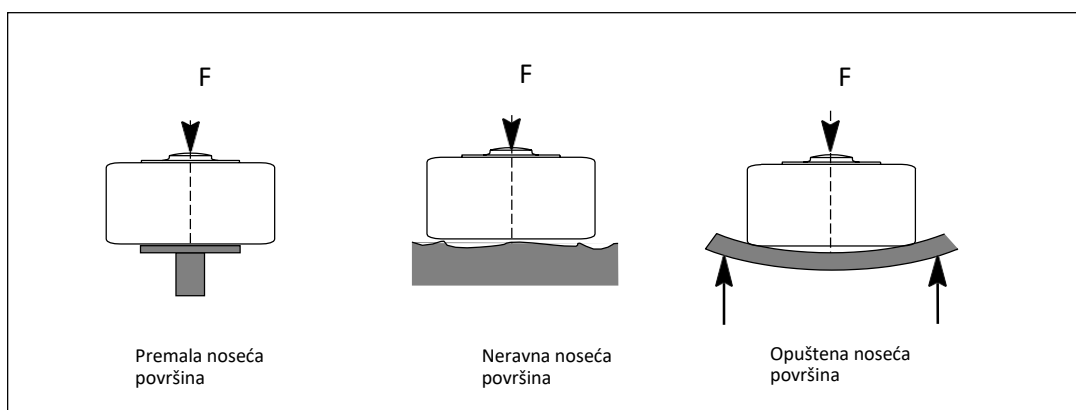
Na slici 13.3 prikazane su komponente i formule za njihovo izračunavanje. Iz navedenih vrednosti se vidi da se za ugao od 5 stepeni u odnosu na smer merenja još uvek primenjuje oko 99,6% opterećenja, ali bočna sila čini čak 8,7 % od ukupne vrednosti. Bočna sila ove jačine primenjena kada je merenje blizu maksimalnog kapaciteta je dovoljna da uništi određene tipove mernih ćelija. Na primer, granica statičkog bočnog opterećenja za merne ćelije opterećenja sa opružnim elementima u obliku stuba može biti čak 10% maksimalnog kapaciteta. Druge vrste mogu biti mnogo manje osetljive. Na primer, većina opružnih elemenata sa dvostrukom gredom ima relativno, statičko ograničenje bočnog opterećenja između 50 i 200%.



**Slika 13-3** Delovanje opterećenja na mernu ćeliju pod uglom

### 13.2.2 Nepravilna noseća površina

Oštećena noseća površina takođe može dovesti do grešaka u merenju ili uništenja mernih ćelija. Svaka merna ćelija mora da stoji sa svojom donjom površinom u potpunosti na potpunoj površini ako se želi izbeći lokalno preopterećenje. Noseća površina koja se savija pod opterećenjem takođe menja rezultat merenja.

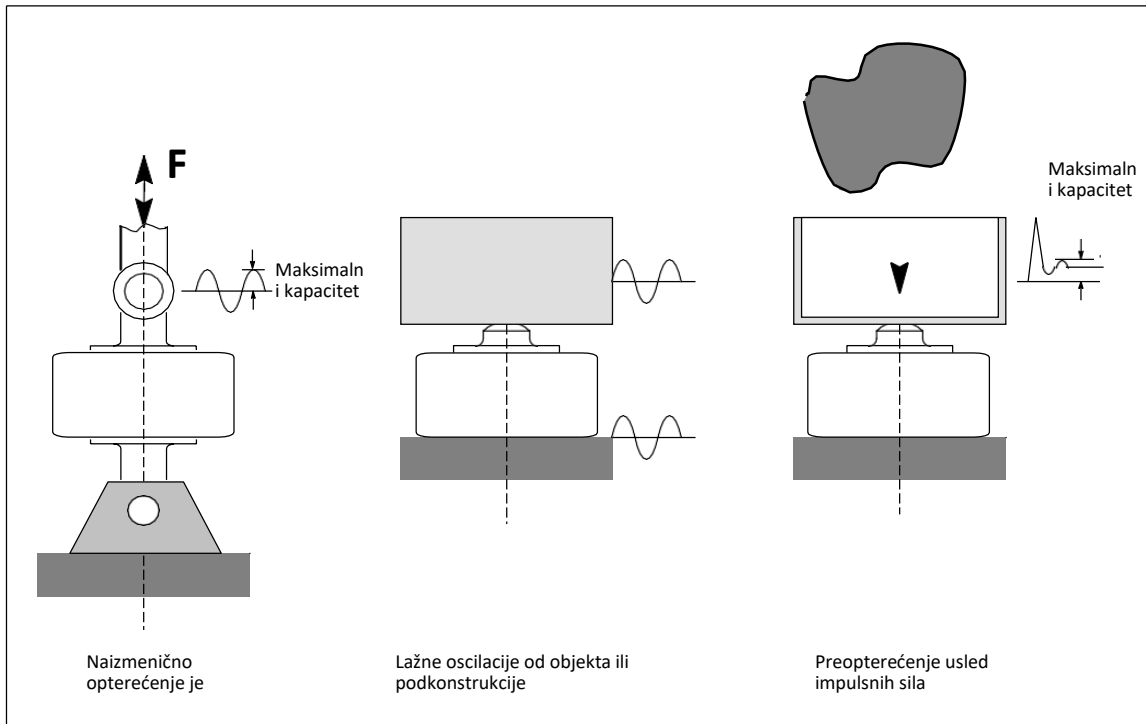


**Slika 13-4** Oštećena noseća površina

### 13.2.3 Vibrirajuće opterećenje

U slučaju vibracionog opterećenja, mora se uzeti u obzir maksimalni održavani opseg vibracija. Slika 13.5. pokazuje održavanu vibraciju između pozitivnog i negativnog maksimalnog kapaciteta koja bi po pravilu dovela do uništenja merne ćelije.

Lažne oscilacije koje unose konstrukcija ili podkonstrukcija obično ne predstavljaju rizik za mernu ćeliju ako su relativno male u poređenju sa opterećenjem. Međutim, lažne oscilacije ove vrste mogu značajno ometati merenje ili ga čak učiniti nemogućim.



Slika 13-5 Uticaj dinamičke interferencije

### 13.2.4 Padajuća masa

Veoma je uobičajeno da se potcenjuje efekat padajuće mase na jednu ili više mernih ćelija.

**Eksperiment u sledećem primeru razjašnjava situaciju:**

Čelična kugla ( $m = 135 \text{ g}$ ) pada sa visine  $h = 30 \text{ cm}$  na dugme za opterećenje merne ćelije (maksimalni kapacitet  $1000 \text{ kg}$ ).

Rezultat se može izračunati približno prema formuli:

$$m_{\text{Bill}} \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} F \cdot s$$

Gde je:

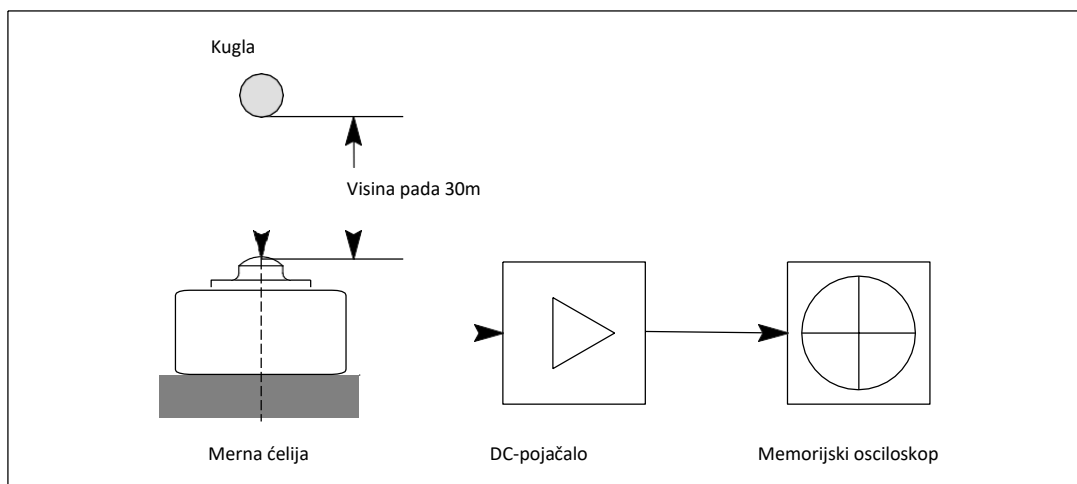
$g$  = ubrzanje usled gravitacije

$h = 0,3 \text{ m}$  (Visina pada)

$s = 0,001 \text{ m}$  (zaustavni put, pretpostavljeni otklon opruge merne ćelije pri maksimalnom kapacitetu)

Ovo daje  $F = 7946 \text{ N}$ .

Ova sila je ista kao i sila vaganja za masu od  $810 \text{ kg}$ .



**Slika 13-6** Primer impulsnog opterećenja primenjenog na mernu ćeliju pomoću padajuće mase

U praksi bi se dobio nešto niži rezultat, pošto elastičnost čelične kugle i radne površine ispod merne ćelije rezultiraju većom vrednošću zaustavnog puta  $s$ .

Primer potpuno jasno pokazuje da merna ćelija može biti veoma brzo preopterećena i slomljena usled pada mase na pod. Takođe, da bi se izbegla mogućnost oštećenja tokom transporta, merne ćelije moraju biti na odgovarajući način upakovane pre otpreme. Za normalan rad može biti korisno postaviti kompresibilnu podlošku između platforme za vagu i dugmeta za punjenje na mernoj ćeliji. Ovu funkciju obavljaju na primer elastomerne noseće platforme opisane u odeljku 4.2.

### 13.2.5 Parazitska opterećenja

Celokupno opterećenje namenjeno za vaganje mora biti primljen pomoću definisanih nosača i nijedan deo sile vaganja ne sme biti preusmeren na drugo mesto parazitskim opterećenjem, jer bi to dovelo do grešaka u merenju.

U slučaju vaga za kontejnere, međutim, tehnološka razmatranja često čine neophodnim da se dodaju komponente koje uspostavljaju mehaničku vezu između kontejnera i ostatka strukture, na primer:

- priključci za napajanje u vidu cevovoda za punjenje i pražnjenje kontejnera
- pomoćni vodovi za napajanje ili komprimovani vazduh
- komponente šipke za pričvršćivanje kontejnera u horizontalnom pravcu
- priključci za zagrevanje ili hlađenje kontejnera

Parazitska opterećenja koja stvaraju ove mehaničke veze treba da budu svedena na apsolutni minimum. Neizbežna preostala opterećenja moraju biti konstantna i ponovljiva u svom efektu. Kontaminacija, oksidacija (rđa) ili led na pokretnim delovima šipke mogu da pojačaju efekat parazitskih opterećenja.

Parazitska opterećenja su neretko zavisna od temperature. Ako se cevi zagreju, mogu izazvati toplotna naprezanja koja imitiraju sile vaganja.

Što se tiče važnosti ovog aspekta za tačnost sistema vaganja, bilo bi korisno ponovo se osvrnuti na temu rasporeda priključaka za napajanje za kontejnere kako je opisano u odeljku 7.3.

Kao i kod parazitskih opterećenja u vezi sa komponentama, parazitska trenja su još jedna mogućnost. To znači da ako je razmak između posude koja se važe i ostatka konstrukcije premali, blagi nagib zbog visine punjenja može dovesti do kontakta posude sa konstrukcijom. Previše otvora na šipkama za držanje može dozvoliti da se isti efekat desi u slučaju sila vetra. Još jednom, posledica takvih parazitskih trenja bi bila netačno merenje.

#### 13.2.6 Pomoćni motori

Ako motori (npr. impeleri) utiču na sadržaj posude tokom merenja, ova vrsta opreme zajedno sa svojom pogonskom jedinicom mora biti čvrsto pričvršćena za posudu koja se važe. Na taj način se izbegavaju spoljne sile i momenti sile koji bi inače delovali na nju. Ako je predviđeno da se izvrši vaganje dok ova oprema radi, sve tačke oslonca moraju biti opremljene mernim ćelijama. Dobijeni zbir kompenzuje neravnomernu raspodelu opterećenja na tačkama oslonca usled fluktuirajućih nivoa tečnosti. **Niskopropusni filter** u mernoj elektronici dovršava konfiguraciju.

### 13.3 Uticaj vremena

#### 13.3.1 Temperatura

Merne ćelije moraju biti izložene samo dozvoljenim temperaturama. Ako se ne može uvek garantovati ispravan temperaturni opseg, merne ćelije moraju biti toplotno izolovane ili ako je potrebno opremljene opremom za hlađenje ili grejanje.

Specifikacije u listovima podataka HBM-a za merne ćelije navode njihove **nominalne i radne temperature opsege**. U okviru nominalnog temperaturnog opsega pojedinačne i kumulativne greške navedene u tehničkom listu nikada se ne prekoračuju. Opseg radne temperature definiše temperaturne granice između kojih je merna ćelija u principu sposobna da radi bez oštećenja. Međutim, određene greške mogu premašiti specifikaciju tehničkog lista. **Opseg temperature skladištenja** je takođe prikazan u tehničkom listu.

Kao što je već opisano, merne ćelije kompenzuju za efekat temperaturnih varijacija na ponašanje njihove nulte tačke i osetljivost (obično u opsegu od -10 do +40 C). Ova kompenzacija gubi svoj efekat na mernu ćeliju u prisustvu oštrog temperaturnog gradijenta (> 5 K/h) ili neujednačenog toplotnog zračenja (prostorni temperaturni gradijent). Situacija je uzrokovana naprežanjem materijala zbog neujednačenih temperaturnih uslova unutar merne ćelije. To uzrokuje grešku merenja koja u najgorim slučajevima može dostići procentualni opseg u dvocifrenom obliku.



Veruje se da Jangsov modul materijala opružnog elementa zavisi od temperature uprkos sofisticiranom rukovanju materijalima, pokazujući još jedan aspekt često međusobno povezanih procedura balansiranja za postizanje viših nivoa tačnosti merne ćelije.

Toplotno širenje se uvek može očekivati na otvorenom, na primer kada posuda prima sunčevo zračenje na jednoj strani. Ipak, jednostrano toplotno zračenje može da se javi i kada je oprema u zgradi.

Toplotno širenje dovodi do promena u horizontalnim dimenzijama posude. Bočne sile od određenog značaja u odnosu na tačke uvođenja opterećenja na merne ćelije mogu nastati u osloncima ako konfiguracija uključuje više od jednog čvrstog ležaja. Ako ekspanzija u posudi dovede do velikih deformacija u komponentama šipke i priključcima za napajanje, mogu se očekivati greške u merenju. U najgorem slučaju, merna ćelija može biti trajno oštećena.

Stope posude su u većini slučajeva napravljene od nekaljenog čelika. Promene temperature stvaraju dodatna naprezanja materijala. Neadekvatna kompenzacija za ove efekte će dati lažna očitavanja koju downstream elektronika može da ispravi matematičkim sredstvima samo u ograničenoj meri.

Kompenzacija greške za temperaturne efekte ili za različite uslove mehaničkog opterećenja (kao što je neravnomerno raspoređena masa u posudi koja se važe) je često samo realna mogućnost ako sve stope posude imaju merne ćelije u svojim nosačima.

### 13.3.2 Sneg i led

Većina mernih ćelija i prateći dodaci su ili pocinkovani ili napravljeni od legure nerđajućeg čelika, tako da je pretvarač otporan na ove posebne vremenske uticaje.

Uređaji za vaganje napravljeni na otvorenom ipak treba da budu zaštićeni od vremenskih uticaja kao što su kiša, снег, led, vetar i brze promene temperature. Nagomilavanje leda može dovesti do značajne greške zbog parazitskih sila.

U slučaju opreme koja ne dozvoljava ciklično tariranje kao deo procesa vaganja, nagomilani снег ili voda na vrhu kontejnera dovešće direktno do greške u merenju. **Tariranje** nije moguće u takvim slučajevima osim ako se posuda može potpuno isprazniti ili ako se doda definisana težina punjenja.

### 13.3.3 Vetar

**Sile vetra** takođe mogu uticati na rezultate merenja ako postoje sile koje deluju vertikalno i direktno na merenje. Horizontalne sile vetra će najverovatnije uticati na rezultate merenja ako centar gravitacije vetrozaštitnog pojasa posude nije na istoj visini kao tačke oslonca na mernim ćelijama. Ovaj efekat je primetno jači kada svaka tačka oslonca nije opremljena mernom ćelijom.

Prilikom planiranja postavljanja posude na otvorenom treba primeniti odredbe DIN 1055 deo 4 /18914 koja se odnosi na kružni silose tankih zidova.

## Procena opterećenja sile vetra

Procenjeno opterećenje sile vetra na posude opremljene modulima za merenje težine za potrebe vaganja može se izračunati na sledeći način.

### Bočne sile

S obzirom na bočnu silu koja deluje na držače, ukupan otpor vetra je odlučujući faktor. Sastoji se od otpora trenja i otpora:

$$F_w = c_w \cdot \rho \cdot \frac{v_0^2}{2} \cdot A_p$$

$C_w$  = konstanta otpora (pogledajte relevantne tabele)

$\rho$  = gustina atmosfere (kg/m<sup>3</sup>)

$v_0$  = brzina vetra (m/s)

$A_p$  = projektovana površina

### Primer: Uspravni cilindrični silos

Visina silosa: 17m

Prečnik silosa: 5m  $c_w = 0.71$

Brzina vetra 12: 50m/s

$F_w$

= 90525 kgm/s<sup>2</sup>

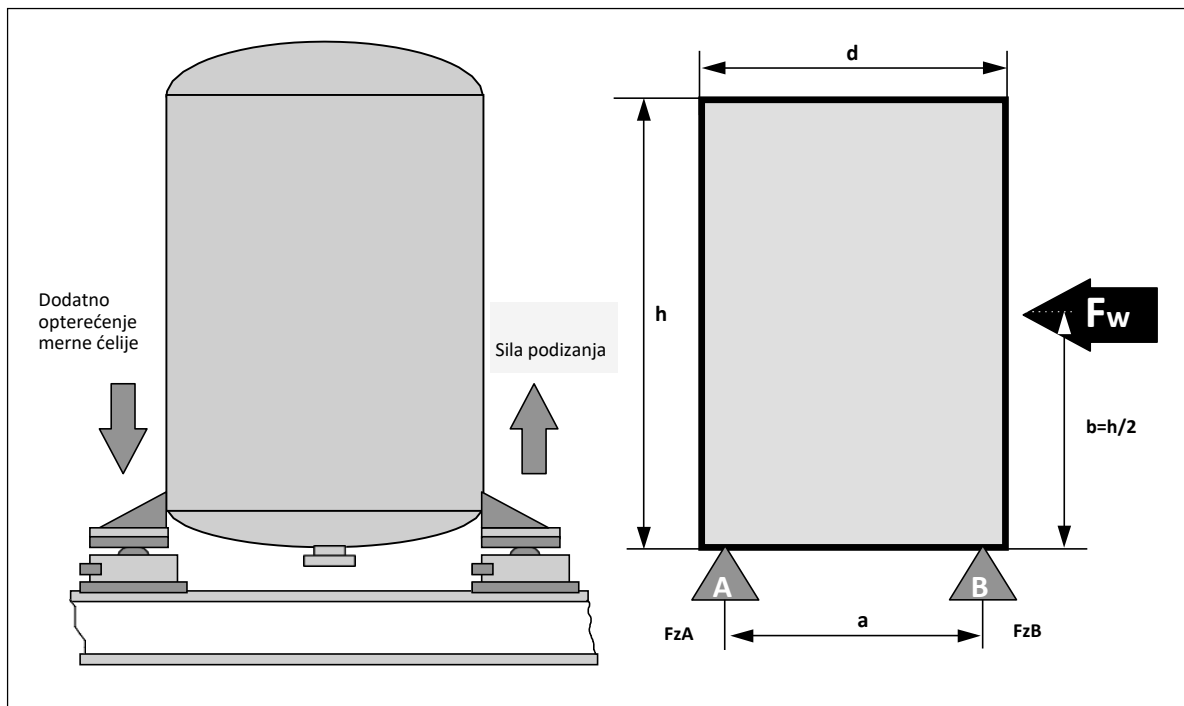
= 90525 N vetra deluje na držač.

Pošto pravac sile vetra, kao i konfiguracija i broj modula u predmetnoj primeni u ovom trenutku nisu poznati, važno je da, radi bezbednosti, šipka za držanje modula ima kapacitet da izdrži punu silu vetra.

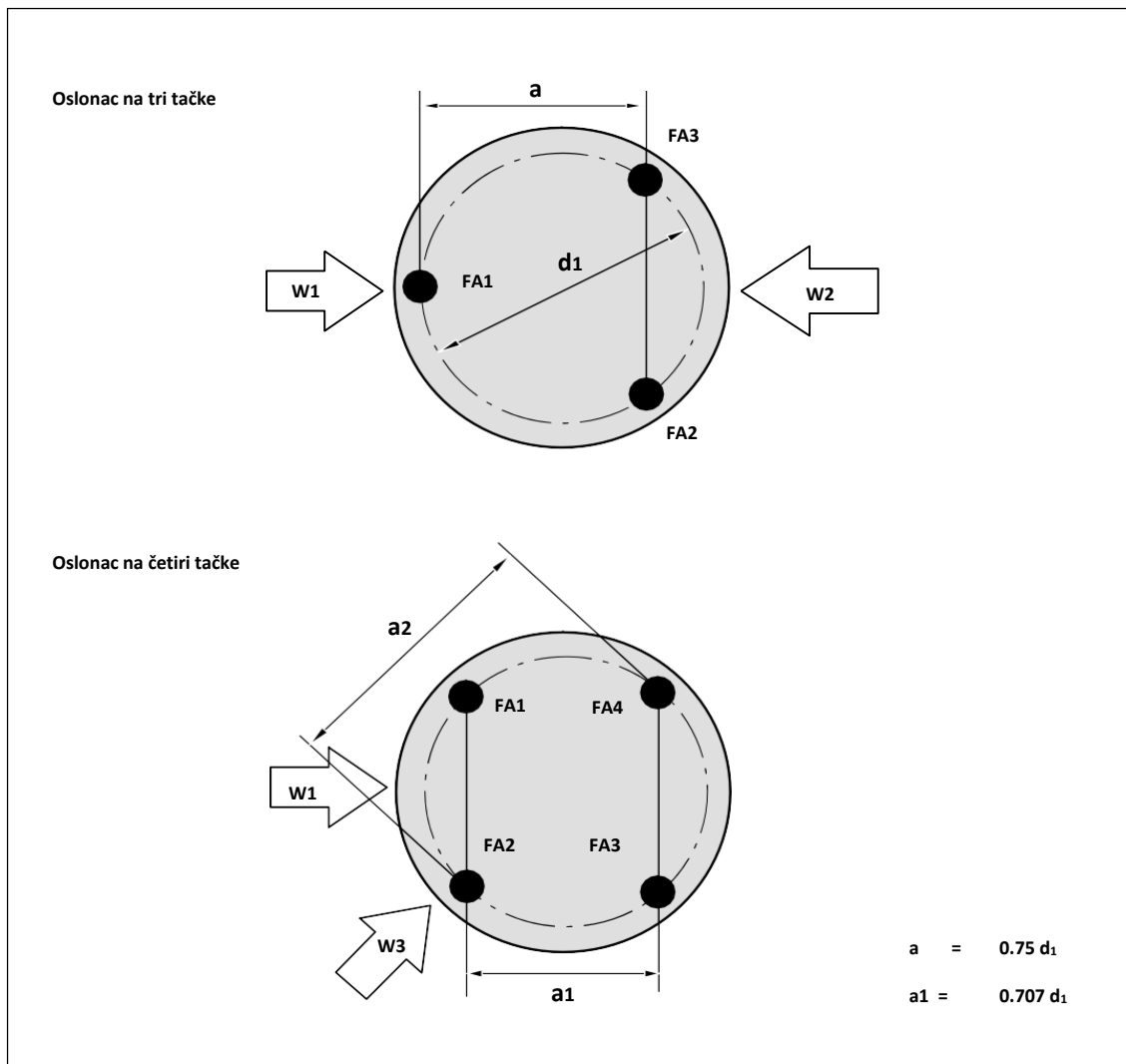
### Sile podizanja

Ova bočna sila takođe može izazvati podizanje posude sa tačaka oslonca.

Moduli za vaganje koje isporučuje HBM već imaju ugradne šipke i štitnike od podizanja koji su odgovarajuće dimenzionisani da prihvate bočne sile i sile dizanja. One se ili sastoje od jedne ili dve šipke sa navojem (C16 modul) ili su već ugrađene (C2A modul).



Slika 13-7 Proračun sile podizanja



Slika 13-8 Razlika između oslonca na tri i četiri tačke

**Primer proračuna:**

$W = 93 \text{ kN}$ ;  $h = 17\text{m}$ ;  $b = 8.5\text{m}$ ;  $d_1 = 5\text{m}$

**Oslonac na tri tačke**

FW1: Sila vetra iz pravca W1

FW2: Sila vetra iz pravca W2

**Oslonac na četiri tačke**

FW1: Sila vetra iz pravca W1

FW3: Sila vetra iz pravca W3

Kao što se lako može videti sa slike 13.7, bočna sila usled opterećenja vetrom izaziva ne samo silu podizanja, već i dodatno opterećenje u smeru merenja na mernoj ćeliji koja se nalazi na strani koja je udaljena od vetra. Ovo dodatno opterećenje je iste veličine kao i sila podizanja.

**Napomena:** Ovo dodatno opterećenje se dodaje na taru i neto opterećenje posude. Zbog toga je važno proveriti da li će dozvoljeno granično opterećenje merne ćelije biti prekoračeno.



### 14.1 Uvodne beleške

Povećana globalizacija tržišta i ekonomskih odnosa unutar Evropske Unije zahteva usklađivanje ne samo terminologije, već i standarda, pravilnika i uputstava.

Ovo poglavlje objašnjava neke od termina i izraza koji se često koriste u ovoj brošuri.

- **Klasa tačnosti**  
Klasa tačnosti specifikovana za HBM merne ćelije znači da je najveća pojedinačna greška na izlaznom signalu merne ćelije, izražena u procentima, ispod vrednosti označene klasom tačnosti pri čemu karakteristična tolerancija neće biti uzeta u obzir. Klase tačnosti mernih ćelija se dele u Klasu A, B, C i D sa odgovarajućim ograničenjima za grešku. (Pogledati sliku 14-1)  
Ove klase tačnosti se pripisuju klasi tačnosti vage I, II, III i IIII.
- **Podešavanje**  
Podešavanje označava postavljanje mernog lanca (odnosno vagarskog uređaja u celini) na takav način da se merna devijacija drži na minimumu. To znači da procedura trajno menja ponašanje mernog lanca. U osnovi, takva podešavanja se rade na mernom pojačalu ili vagarskoj elektronici. Ova procedura se često pomalo pogrešno naziva kalibracijom.
- **Pojačalo**  
Pojačalo (koje takođe zovemo merno pojačalo) je komponenta kod koje je su ulazna i izlazna komponenta fizički identične, a vrednost ulazne veličine je uvećana (odnosno pojačana); elektronski, radi se o pojačalu snage koje sa više energije predaje signal koji korespondira sa izmerenom veličinom.
- **Balansiranje**  
vidi Podešavanje
- **Opterećenje savijanjem**  
Savijanje je promena oblika (ispupčenje ili u ugibanje) na gredi ili šipci (opružnom elementu) koja je pod opterećenjem sa jedne strane ili je oslonjena sa obe strane zbog opterećenja. Za zadati presek, dužinu i silu, pomeranje (promena oblika) je obrnuto proporcionalno modulu elastičnosti materijala i otpornom momentu poprečnog preseka.

Savijanje daje pozitivno opterećenje sa jedne strane podloge koja se savija (oprnužnog elementa), a negativno opterećenje sa suprotne strane. U slučaju potpuno simetričnog poprečnog preseka, pozitivno i negativno opterećenje imaju iste vrednosti.

- **Opterećenje pri lomu (Slika 14-2)**

Opterećenje koje će dovesti do pucanja je maksimalno opterećenje kojim se može opteretiti merna ćelija u određenom smeru pre nego što je mehanička šteta neizbežna.

- **Kalibrisanje**

Pogledajte 'Kalibracija'

- **Kalibracija**

Kalibracija je određivanje mernog odstupanja na instrumentu (vagarskom uređaju) bez promene mernog u celini. Kalibracija koja se vrši poređenjem sa 'standardnim uređajima' koji su poznati kao precizniji se takođe ponekad naziva Referencom.

- **Teg za kalibraciju**

Teg za kalibraciju (koji se ponekad zove i teg za baždarenje) je teg koji se upotrebljava da bi se podesio otklon vage. Ona se primenjuje na vagarskoj opremi koja koristi ravnotežu sila za prilagođavanje gravitacionom polju na mestu instalacije.

- **Oznaka CE**

Oznaka CE se sastoji od slova CE i pokazuje da je proizvod koji nosi ovu oznaku u skladu sa svim relevantnim pravilnicima Evropske Unije. Oznaka znači da je privatno ili pravno lice koje je odobrilo uređaj ili dalo da se on odobri zadovoljan što je isti u potpunosti usklađen sa svim pravilima i standardima Evropske Unije i da je prošao proceduru provere usklađenosti određenu pravilnicima i zakonima.

- **Provera ćoškova vage**

Sistematičnom promenom pozicije tereta na tasu vage moguće je proveriti da li se na ekranu vage prikazuje ista vrednost koja je nezavisna od raspodele tereta na tasu.

- **Puzanje**

Opružni materijali razvijaju spontano naprezanje kao reakciju na inkrementalno opterećenje. Pod stalnim opterećenjem materijal polako nastavlja da razvija naprezanje u pravcu opterećenja i počinje da puzi. Ovo svojstvo je tačno opisano kao naknadni efekat elastičnog materijala za koji dizajn geometrije merača deformacije može skoro u potpunosti da kompenzuje, tako da je svaka preostala greška puzanja veoma mala.

- **Greška puzanja**

U mernim ćelijama, greška koja je rezultat puzanja opisuje se izrazom  $d_{cr}$  za puzanje pod opterećenjem, u odnosu na nominalnu osetljivost u procentima tokom perioda od 30 minuta.

Greška puzanja je maksimalna promena izlaznog signala iz merne ćelije u okviru ovog određenog perioda, u poređenju sa vrednošću koja se pojavljuje kada se opterećenje brzo promeni za iznos jednak maksimalnom opterećenju (brzo znači u roku od maksimalno 5s).

- **Mrtvo opterećenje –  $D_{min}$  (Slika 14-2)**

Mrtvo opterećenje je delimično opterećenje koje deluje na mernu ćeliju u određenom smeru merenja ne uzimajući u obzir vaganu robu. Mrtvo opterećenje je samo rezultat mrtvog tereta, pribora za montažu itd.

- **Mrtav teret**

Mrtav teret označava sopstvenu težinu komponenti u mernoj ćeliji, isključujući pribor za montažu i tako dalje; deluje u određenom smeru merenja na merni element merne ćelije (opružni element).

- **Ugib pri maksimalnom opterećenju –  $S_{nom}$**

Ugib pri maksimalnom opterećenju je ugib opruge na spoljnim tačkama uvođenja opterećenja na mernim ćelijama u smeru merenja relativno jedna u odnosu jedna na drugu, pod dejstvom promene opterećenja u intenzitetu maksimalnog kapaciteta.

- **Stepen zaštite IP**

Stepen zaštite određuje do koje mere je merna ćelija zaštićena od prodora prašine i vode (testirano prema DIN VDE 0470-1 ili 60529).

- **Verifikacioni podeok  $v$**

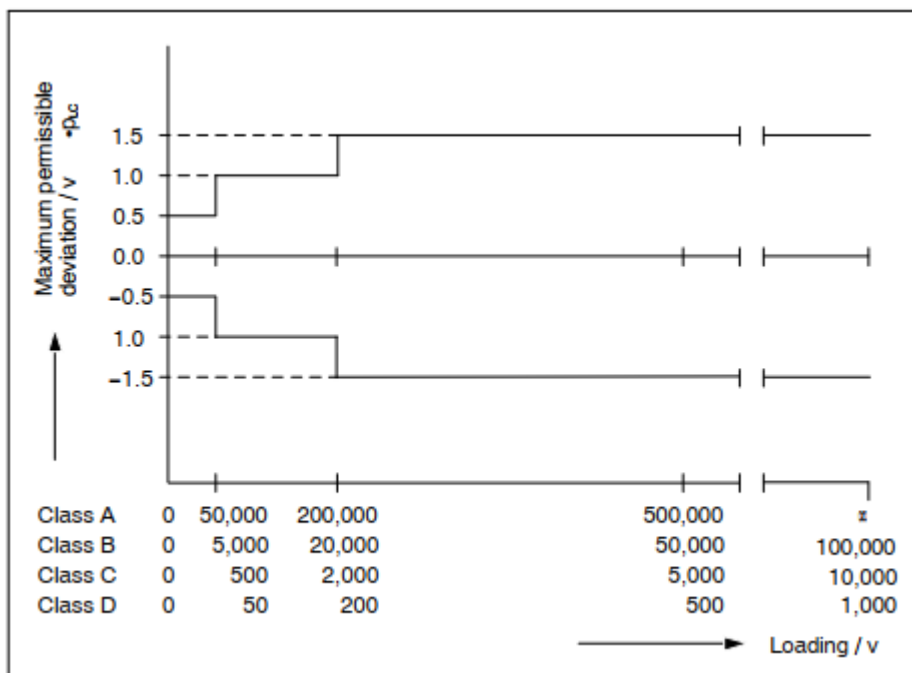
Verifikacioni podeok za mernu ćeliju je količnik dobijen deljenjem mernog opsega brojem deljenja. Ovaj rezultat se izražava kao jedinica mase (npr. kg).

- **Elektromagnetna kompatibilnost (EMK)**

Elektromagnetna kompatibilnost je sposobnost električnog ili elektronskog uređaja da funkcioniše na zadovoljavajući način u elektronskom okruženju, a da istovremeno ne izaziva elektromagnetne smetnje koje bi bile neprihvatljive za druge uređaje koji koegzistiraju u tom okruženju. Otpornost na smetnje u mernim ćelijama i elektronici za analizu regulisana je standardom DIN EN 45501.

- **Granice greške (Slika 14-1)**

Granice greške, ili najveće dozvoljene greške, su dogovorene maksimalne vrednosti za odstupanja koja ostaju unutar relevantnog mernog opsega.



Slika 14-1 Granice grešaka kod mernih ćelija



Opterećenje u  $v$ , najveće dozvoljeno odstupanje u frakciji greške  $v_{p_{LC}}$  ( $p_{LC}$  je informacija od proizvođača o udelu grešaka koji je dodeljen mernoj ćeliji tako da je granica greške u skladu sa zakonom o metrologiji (0,3 do 0,8). U nedostatku informacija treba koristiti 0,7.)

- **Napon napajanja, nominalni opseg  $B_U$**   
Nominalni opseg napona napajanja označava opseg napona unutar kojeg se merna ćelija radi u okviru svojih granica greške.
- **Parazitska opterećenja**  
Parazitske sile su posledica delimično potrebnih mehaničkih veza između posude za vaganje i nosećeg okvira (cevi, mešalice). Ove parazitske sile mogu prouzrokovati da se deo sile vaganja odvoji od definisanog nosača i može dovesti do grešaka u merenju.
- **Bruto opterećenje**  
Bruto opterećenje ili bruto težina je masa vagane robe (neto opterećenje) plus posuda za vagu, kontejner ili pakovanje (tara težina).
- **Hukov zakon**  
Hukov zakon označava oblast dijagrama napon-deformacija unutar koje se materijal ponaša elastično. Svaka deformacija koja se javlja je reverzibilna, tako da se materijal vraća u prvobitne dimenzije kada se ukloni opterećenje koje izaziva deformaciju.
- **Histereza**  
Pogledaj 'Greška histereze'
- **Greška histereze  $d_{hv}$  (Slika 14-2)**  
Greška histereze (ponekad se naziva opseg inverzije) odnosi se na razliku između izlaznih signala dobijenih povećanjem i smanjenjem opterećenja u jednakim koracima unutar nominalnog mernog opsega, u odnosu na osetljivost  $C$ . Razlika se obično izražava kao najveća stvarna vrednost.
- **Otpornost na elektromagnetne smetnje**  
Otpornost na elektromagnetne smetnje je svojstvo električnog ili elektronskog uređaja da radi bez smetnji, odnosno na predviđeni način, pod uticajem varijabli elektromagnetnih smetnji.  
Elektromagnetne smetnje (EMI) su funkcionalno oštećenje uređaja zbog varijabli elektromagnetnih smetnji. Otpornost na elektromagnetne smetnje je svojstvo električnog ili elektronskog uređaja da odgovori na promenljive smetnje ili energiju elektromagnetnih smetnji.
- **Otpornost na udar**  
Otpornost na udar se odnosi na dozvoljeni napon kome merna ćelija može biti izložena u uslovima bez opterećenja podvrgavanjem mehaničkim udarima, bez nepovratnog izazivanja prekoračenja granica greške. Prilikom ispitivanja prema DIN IEC 68, deo 2-27, normalno je da se navede stepen uticaja koji se koristi (broj i trajanje udara, itd.).
- **Ulazni otpor pri referentnoj temperaturi –  $R_{LC}$**   
Ulazni otpor je električni otpor izmeren na referentnoj temperaturi na ulaznim terminalima pretvarača, uključujući standardni kabl za napajanje.

- **Otpor izolacije  $R_{is}$**   
Otpor izolacije je električni otpor između unutrašnjeg ožičenja merne ćelije i provodnih komponenti njenog kućišta kada se primeni napon prilikom testiranja.
- **Bočna sila**  
Bočna sila se odnosi na komponentu sile koja deluje na mernu ćeliju u pravcu koji nije okomit na navedeni pravac merenja. Bočne sile mogu ne samo da izazovu greške u merenju, već mogu i da oštete mernu ćeliju. Dozvoljene bočne sile su definisane u HBM tehničkim listovima kao relativno, statičko ograničenje **bočnog opterećenja**.
- **Dozvoljeno bočno opterećenje –  $E_{Iq}$**   
Statička, relativna, bočna granica opterećenja je opterećenje u odnosu na maksimalnu nosivost koja je okomita na smer merenja koji je naveden za merne ćelije, i do kojeg ne dolazi do nepovratnih mehaničkih i električnih promena, čak i kada je merna ćelija istovremeno maksimalno opterećena.
- **Zakon o verifikaciji**  
Zvanični skraćeni naziv za zakon o verifikaciji i metodama merenja u Saveznoj Republici Nemačkoj. Njime se, između ostalog, reguliše zahtev za verifikaciju mernih instrumenata, kao i prethodno upakovanih proizvoda, javnih vaga i odgovornosti inspektorata.
- **Šipke: zaštita od bočnih sila**  
Pokretni oslonci za sprečavanje horizontalnih sila tokom vaganja posuda omogućavaju da se posuda (posuda za vagu) kreće horizontalno; iz tog razloga posuda mora da se drži u horizontalnom pravcu. Osnovni cilj je da šipke praktično ne prenose sile na posudu za merenje u vertikalnom smeru (**parazitske sile**), ali da budu dovoljno jake u horizontalnom pravcu da apsorbuju vršne horizontalne sile (kao što su sile vetra, sile mešanja).
- **Zaštita od bočnih sila (Slika 14-2)**  
Karakteristična kriva merne ćelije je grafički prikaz funkcionalne veze između ulazne veličine opterećenja  $E$  i izlazne veličine  $S$  (analogni električni signal) na mernoj ćeliji. U međuvremenu, pretpostavlja se da svi ostali parametri u sistemu ostaju konstantni.
- **Merne ćelije**  
Merne ćelije su konverteri mernih veličina koji pretvaraju opterećenje koje deluje na njih u analogni ili digitalni električni signal. Ova konverzija koristi opružni element koji se deformiše pod uticajem opterećenja koje se meri, a ova deformacija se zatim detektuje i hvata uz pomoć **merača naprezanja**.
- **Opterećenje  $E$**   
Opterećenje merne ćelije se odnosi na masu  $m$  koja deluje na ovu mernu ćeliju u njenom smeru merenja kao zavisna sila vaganja uzimajući u obzir lokalno ubrzanje usled gravitacije i njen pridruženi impuls.
- **Dozvoljeno dinamičko opterećenje**  
Dozvoljeno dinamičko opterećenje pretvarača je navedeno kao maksimalni dozvoljeni opseg vibracija opterećenja u smeru merenja. Opseg vibracije je razlika između najvećeg preopterećenja i najmanjeg podopterećenja koji se javlja tokom 107 ciklusa vibracije bez negativnog uticaja na sposobnost merenja merne ćelije (prema DIN 50100).

- **Dugotrajna stabilnost**  
Dugotrajna stabilnost je karakteristika dugoročnog ponašanja pretvarača (tj. merne ćelije), kao što je starenje ili pomeranje, kada su svi drugi granični uslovi i uslovi rada konstantni. Niti je moguće uticati ili ispraviti dugotrajnu stabilnost pretvarača pomoću elektronskog uređaja povezanog na strani opterećenja. Među kriterijumima kvaliteta za dugotrajnu stabilnost su testovi otpornosti na vlagu regulisani standardima; ovi testovi obuhvataju i statičke i dinamičke cikluse koji proveravaju otpornost na vlagu i temperaturu.
- **Niskopropusni filter**  
Niskopropusni filter je električno kolo koje slobodno propušta naizmeničnu struju u određenom (tj. niskom) frekventnom opsegu (propusni opseg) i blokira struju na drugim frekvencijama (zaustavni opseg). Niskopropusni filter blokira svu struju sa frekvencijom većom od specificirane granične frekvencije.
- **Maksimalni kapacitet (maksimalno opterećenje)  $E_{max}$  (Slika 14-2)**  
Maksimalni kapacitet predstavlja gornju granicu mernog opsega. U zavisnosti od tipa merne ćelije, maksimalni kapacitet može biti tenzilno ili kompresivno opterećenje. Garantovane granice greške nisu prekoračene unutar mernog opsega. Za potrebe kalibracije, maksimalni kapacitet je izražen u jedinicama mase (npr. kg).
- **Signal maksimalnog opterećenja  $S_{max}$  (Slika 14-2)**  
Signal maksimalnog opterećenja je izlazni signal koji merna ćelija isporučuje kada ima maksimalni kapacitet  $E_{max}$ .
- **Pravac merenja**  
Proizvođač definiše pravac merenja merne ćelije specificirajući osu merenja i smer delovanja u odnosu na dizajn i konstrukciju merne ćelije.
- **Odstupanje merenja**  
Cilj svakog merenja je da se utvrdi prava vrednost merene veličine. Međutim, svaki rezultat merenja je drugačiji: nesavršenost vaganog predmeta ili mernih instrumenata, uticaji okoline i promene tokom vremena uzrok su takvih grešaka. Odstupanja merenja uvek se moraju uzeti u obzir. Pravi se razlika između sistematskih odstupanja i slučajnih odstupanja.
- **Merni opseg B (Slika 14-2)**  
Opseg merenja je opseg opterećenja za koji se zahteva da merna odstupanja merne ćelije ostanu unutar definisanih granica greške. Opseg merenja je definisan u smislu početne i krajnje vrednosti. Razlika između ove dve vrednosti je nominalni merni opseg izražen kao merni opseg  $B_{max} = E_{max} - E_{min}$
- **Minimalno mrtvo opterećenje  $E_{min}$  (Slika 14-2)**  
Minimalno mrtvo opterećenje označava najniže opterećenje merne ćelije u navedenom smeru merenja (npr. sa mrtvim opterećenjem i priborom za montažu) iznad kojeg su ispunjene granice greške.
- **Minimalni verifikacioni podeok  $v_{min}$**   
Minimalni verifikacioni podeok je najmanji verifikacioni podeok u mernoj ćeliji za koji su ispunjene definisane granice greške.
- **Vaga sa više opsega**

Vaga sa više opsega je vaga sa različitim rasponima vaganja, od kojih svaki počinje od nule. Svaki opseg vaganja ima sopstveni verifikacioni podeok sa definisanim minimalnim i maksimalnim specifikacijama opterećenja i u nekim slučajevima različitim nivoima tačnosti.

- **Prirodna frekvencija  $f_e$**

Prirodna frekvencija  $F$  je ona koja karakteriše trend periodične prirodne vibracije tokom vremena. Ona je jednaka recipročnoj vrednosti perioda  $T$  vibracije ( $f=1/T$ ) i obično se navodi u hercima ( $1\text{Hz}=1/\text{s}$  = jedan ciklus vibracije u sekundi). Prirodna frekvencija merne ćelije se odnosi na frekvenciju kojom merna ćelija bez pribora za ugradnju vibrira ili osciluje duž linije svoje merne ose nakon kratkog, iznenadnog pobuđivanja.

- **Neto opterećenje**

Neto opterećenje (u stvari, neto težina) je težina vagane robe umanjena za težinu bilo koje ambalaže ili kontejnera ili transportnog sredstva (tara težina).

- **Nominalni opseg napona napajanja**

Nominalni opseg napona napajanja je opseg unutar kojeg merna ćelija može da radi tokom praktične primene i unutar kojeg se i dalje ispunjavaju sve tehničke specifikacije i specifikacije greške.

- **Nominalna osetljivost  $C_n$**

U mernoj ćeliji, karakteristična nominalna vrednost za osetljivost  $C$ .

- **Nominalni temperaturni opseg  $B_T$**

Nominalni temperaturni opseg je opseg unutar kojeg merne ćelije mogu da rade tokom praktične primene i unutar kojih one nastavljaju da ispunjavaju svoje tehničke specifikacije i specifikacije grešaka.

- **Nelinearnost  $d_{Lin}$**

Nelinearnost je najveće odstupanje nominalne karakteristike od specificirane referentne krive sa povećanjem opterećenja u odnosu na osetljivost  $C$ . Razlika se obično izražava kao najveća stvarna vrednost.

- **OIML**

Skraćenica za Organisation Internationale de Métrologie Légale. Ova međunarodna organizacija za zakonsku metrologiju teži standardizaciji zakonske metrologije, uključujući propise o verifikaciji u pojedinačnim zemljama. U tom cilju objavljuje međunarodne preporuke za pojedinačne merne instrumente (OIML preporuke).

- **Izlazni otpor pri referentnoj temperaturi**

Izlazni otpor je električni otpor izmeren pri referentnoj temperaturi na izlaznim terminalima merne ćelije uključujući standardni kabl za napajanje.

- **Izlazni signal  $S$  (Slika 14-2)**

Izlazni signal je neelektrično izmerena količina signala  $S$ , koju isporučuje izlaz merne ćelije, u koju se pretvara opterećenje  $E$ . Fizička jedinica signala zavisi od principa rada pojedine merne ćelije (npr.  $\text{mV/V}$ ;  $\text{mV/mA}$ ;  $\text{mA}$ ;  $\text{Hz}$ , itd.).

- **PTB**

Skraćenica za Physikalisch-Technische Bundesanstalt. Ovaj Savezni Nemački institut koji se bavi fizičkim i tehničkim predmetima nalazi se u Braunšvagu i Berlinu.

- **Rekalibracija**  
Merne ćelije ponekad moraju biti ponovo kalibrisane da bi se proverila njihova metrološka svojstva i podešavanje nulte tačke, na primer kako bi se poništio uticaj dugoročnih efekata. Kalibracija znači određivanje koherentnosti između merene veličine i prikaza koji pokazuje merni instrument.
- **Referentna temperatura**  
Referentna temperatura je temperatura okoline na koju se odnose tehnički podaci na mernim ćelijama ako temperaturni opseg nije definisan.
- **Otpornost na promenu temperature**  
Otpornost na temperaturne promene se odnosi na dozvoljeni napon kome merna ćelija može biti izložena usled iznenadne promene temperature vazduha, a da ne izazove nepovratno prekoračenje granica greške. Prilikom testiranja prema DIN IEC 68, deo 2-14, normalno je da se navede stepen delovanja koji se koristi (gornja i donja temperatura, broj ciklusa, itd.).
- **Granica bezbednog opterećenja  $E_l$  (Slika 14-2)**  
Granica bezbednog opterećenja je maksimalno bezbedno opterećenje primenjeno u smeru merenja određenom za mernu ćeliju i predstavlja gornju granicu opsega maksimalnog opterećenja. Ako je granica bezbednog opterećenja prekoračena, sposobnost merenja merne ćelije je trajno oštećena.
- **Osetljivost C (Slika 14-2)**  
Za HBM-ove merne ćelije, osetljivost C se izvodi iz razlike u izlaznim signalima sa pretvarača pri maksimalnom opterećenju i bez opterećenja. Za HBM merne ćelije donja granica mernog opsega se određuje pomoću pretvarača bez opterećenja. Fizička jedinica je tipično tipa mV/V.
- **Opseg osetljivosti  $B_c$**   
Opseg osetljivosti je specifikacija tolerancije za maksimalno dozvoljeno odstupanje stvarne osetljivosti merne ćelije od nominalne osetljivosti pri isporuci. Opseg osetljivosti je definisan u odnosu na nominalnu osetljivost.
- **Radno opterećenje  $E_u$  (Slika 14-2)**  
Radno opterećenje je opterećenje koje se primenjuje u smeru merenja određenom za pretvarač i predstavlja gornju granicu opsega maksimalnog opterećenja. Obavezne granice greške za merni opseg mogu zapravo biti prekoračene unutar radnog opsega.
- **Opseg radne temperature  $B_{TU}$**   
Opseg radne temperature je opseg temperature okoline u okviru kojeg merne ćelije mogu da rade bez izazivanja trajnih promena u njihovim mernim svojstvima. Navedene granice greške mogu zapravo biti prekoračene unutar opsega radne temperature.
- **Podešavanje**  
Kada se balansira merni lanac (merna ćelija/kabl/pojačalo) karakteristična kriva mernog pojačala/elektronike za merenje se menja tako da se prikazuje rezultat odgovarajuće, celobrojne višestruke fizičke veličine. (Primer: merna ćelija za 5 kg, indikator maksimalnog kapaciteta 5000 pri maksimalnom opterećenju)
- **Temperaturni opseg skladištenja  $B_{TI}$**

Temperaturni opseg skladištenja je temperaturni opseg okoline pri kome se merne ćelije mogu čuvati bez bilo kakvog mehaničkog ili električnog opterećenja bez izazivanja trajnih promena u njihovim mernim karakteristikama.

- **Deformacija**

Deformacija je definisana kao količnik promene dužine  $D_1$  i referentne dužine  $l_0$ . Tehnički termin deformacija se koristi kao generički termin za proces izduženja (tenzilno) i kontrakcije (kompresivno); elongacija se naziva pozitivna deformacija a kontrakcija (kompresija) je poznata kao negativna deformacija.

- **Merna traka**

Merna traka je merni element, obično u obliku petlje električnog otpornika u obliku trake; kada je ugrađen u pretvarač, montira se na fleksibilni pozadinski materijal. Kada sila (kao što je sila vaganja) deluje na fleksibilni materijal podloge u kontaktu sa mernom trakom, rezultujuća distorzija materijala podloge stvara proporcionalnu promenu u električnom otporu merne trake. U okviru opsega elastičnosti, veličina mehaničke distorzije ostaje proporcionalna primenjenoj mehaničkoj veličini, tako da je i ovde promena otpora u traci u električno merljivoj proporciji sa ulaznom količinom.

- **Održivi nivo oscilovanja**

Održivi nivo oscilovanja je amplituda pri kojoj sistem koji je sposoban da vibrira periodično reaguje na periodično pobuđivanje od spolja nakon prolaznog fenomena.

- **Tara**

Težina tare se odnosi na masu bilo koje ambalaže, posude ili transporta koji se koristi sa robom za merenje.

- **Tariranje**

Tariranje znači kompenzaciju **težine tare** sa ili bez podešavanja **tare opterećenja**. U kolokvijalnom jeziku, tariranje se često pogrešno koristi u značenju nuliranje.

- **Uticaj temperature na osetljivost  $TK_c$**

Uticaj temperature na osetljivost je promena stvarne osetljivosti u odnosu na nominalnu osetljivost nakon promene temperature od 10K. Izražava se kao maksimalni temperaturni efekat na 10K u opsegu nominalne temperature.

- **Uticaj temperature na ravnotežu nule  $TK_{so}$**

Uticaj temperature na nultu ravnotežu je promena u odnosu na nominalnu osetljivost u izlaznom signalu iz merne ćelije pod uslovima bez opterećenja nakon promene temperature od 10 K. Izražava se kao maksimalni temperaturni efekat na 10 K pri nominalnoj temperaturi.

- **Uvijanje**

Uvijanje je sila koja se primenjuje kada se šipka koja je čvrsto stegnuta na jednom kraju uvrne oko sopstvene ose. Ugao kroz koji se okreće dati poprečni presek šipke povećava se sa rastojanjem od tačke stezanja. Ovaj ugao uvijanja je direktno proporcionalan obrtnom momentu koji stvara uvijanje. Granični obrtni momenat ili maksimalni obrtni moment  $M_t$  je često specificiran za merne ćelije, i predstavlja maksimalno opterećenje uvijanja koje se može primeniti na mernu ćeliju oko ose paralelne sa osom merenja, bez nepovratnog izazivanja prekoračenja granica greške.

- **Proverljivost**

Merni instrument ili pomoćno sredstvo za merenje (vaga ili teg) se može proveriti ako je generalno prihvaćeno za nacionalnu verifikaciju ili početnu verifikaciju EU i ako je u skladu sa propisima o verifikaciji ili je njegov način izrade primljen na verifikaciju od strane nadležnih inspektorata i njegov završetak ispunjava posebne uslove prihvatanja takvih inspektorata.

- **Verifikacija**

Verifikacija obuhvata zvanično utvrđivanje i dokumentovanje odstupanja u rezultatu merenja vage od stvarne vrednosti. Uključuje testove koje mora da sprovede imenovana organizacija (npr. Inspektorat za vage i tegove) u skladu sa propisima o verifikaciji, zajedno sa postupkom kalibracije. Čak i ako je vaga usaglašena sa propisima, službenom procedurom se utvrđuje period u kome se može očekivati da uređaj pouzdano funkcioniše sa navedenom tačnošću.

- **Zahtevi za verifikaciju, konfiguracije vaganja koje zahtevaju verifikaciju u odnosu na zvanične specifikacije**

Prema Zakonu o verifikaciji, određene vrste opreme (uključujući vage i tegove) podležu zvaničnoj verifikaciji ako se koriste ili drže u pripravnosti za upotrebu u komercijalnim ili službenim poslovima ili u oblasti medicine i proizvodnje i ispitivanja farmaceutskih supstanci.

- **Otpornost na vibracije**

Otpornost na vibracije se odnosi na dozvoljeni napon koji može biti nametnut mernoj ćeliji pod uslovima bez opterećenja, podvrgavanjem sinusoidnim oscilatornim kretanjima, bez nepovratnog izazivanja prekoračenja granica greške. Prilikom testiranja prema DIN IEC 68 Deo 2-6 normalno je da se navede stepen dejstva koji se koristi (opseg frekvencije, amplituda vibracije, trajanje naprezanja).

- **Vagarske konfiguracije koje ne zahtevaju verifikaciju u odnosu na zvanične specifikacije**

Konfiguracije vage ili vage koje ne zahtevaju verifikaciju u odnosu na zvanične specifikacije su one koje ne podležu zahtevu verifikacije utvrđenim Zakonom o verifikaciji. Ovo takođe uključuje konfiguracije vaganja koje se koriste u internim aplikacijama, kontroli procesa, osiguranju kvaliteta (osim provere vage u skladu sa narudžbom upakovanih proizvoda) ili u istraživanju i razvoju.

- **Vitstonov most**

Vitstonov most je električno kolo koje omogućava da se relativne promene otpora indukovane u mernoj traci uglavnom veličine od  $10^{-4}\Omega$  do  $10^{-2}\Omega$  mere sa veoma visokim stepenom tačnosti.

- **Sile usled delovanja vetra**

Vertikalne komponente sile vetra mogu značajno uticati na rezultate merenja, jer su uključene na merenje u celini. Horizontalne sile vetra utiču na rezultate merenja ako centar gravitacije vetrobrana posude nije na istoj visini kao tačke oslonca na mernim ćelijama i ako nisu sve tačke oslonca opremljene mernim ćelijama.

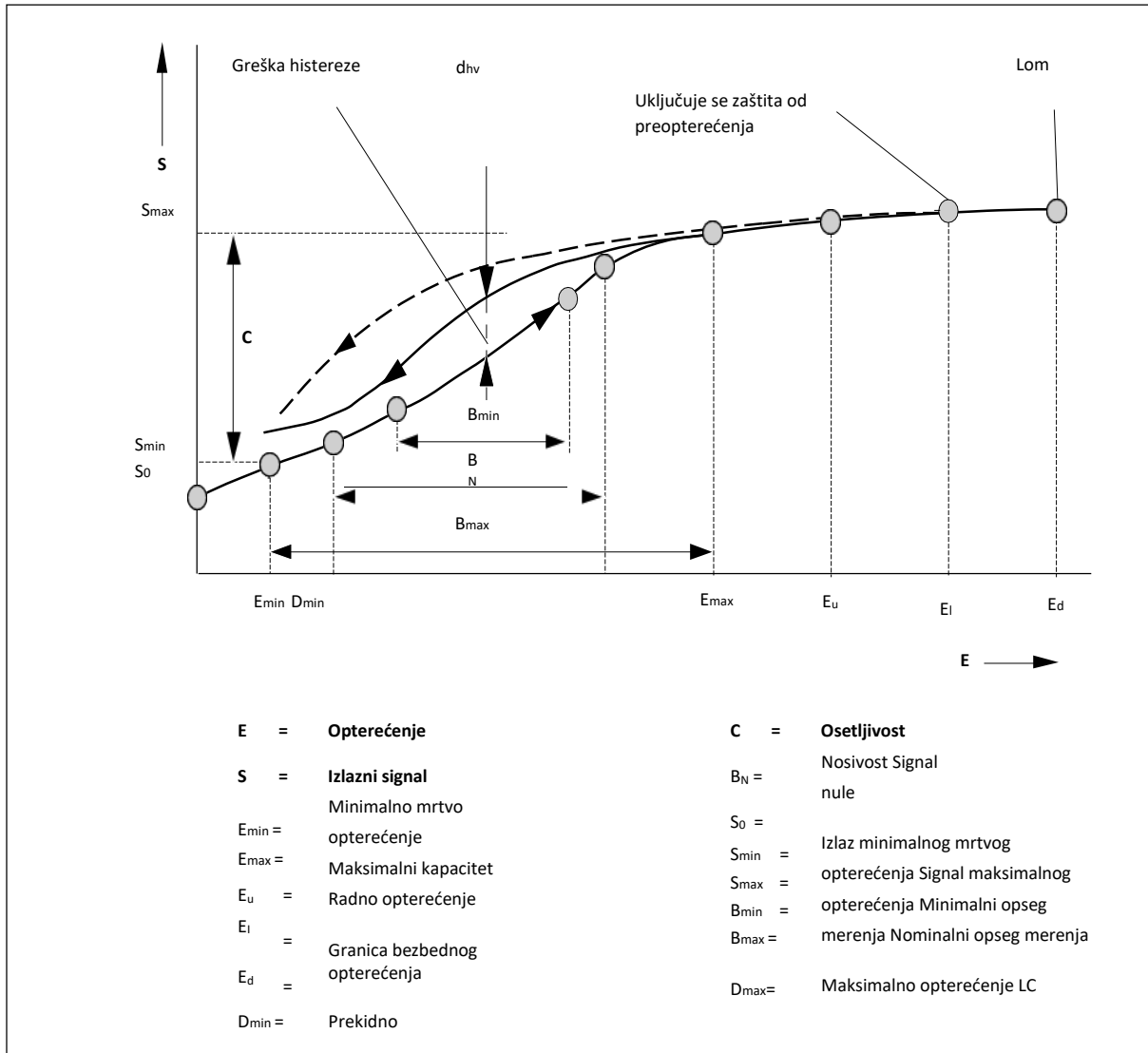
- **Stabilnost nule**

Stabilnost nule je sposobnost vage da uvek zauzme nultu poziciju kada nije pod opterećenjem, uključujući i kada je upravo bila pod opterećenjem. Mera kvaliteta

stabilnosti nule je da li ona ostaje konstantna bez obzira na promene temperature pod uslovima bez opterećenja.

- **Signal nule  $S_0$  (Slika 14-2)**

Signal nule označava izlazni signal iz merne ćelije, u odnosu na nominalnu osetljivost  $C_N$  na određenom mestu ugradnje, pod uslovima bez opterećenja (čak i bez pribora za montažu).



**Slika 14-2** Dijagram 2: karakteristična kriva merne ćelije