

# Mjerenje sile kompresije u tabletiranju

---

Vinčić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:194521>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Josip Vinčić  
ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Josip Vinčić

MJERENJE SILE KOMPRESIJE U TABLETIRANJU

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: Izv. prof. dr. sc. Gordana Matijašić

Članovi ispitnog povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Gordana Matijašić

Doc. dr. sc. Krunoslav Žižek

Izv. prof. dr. sc. Nenad Bolf

Zagreb, rujan 2016.

## SAŽETAK

U ovom radu obrađena je literatura potrebna za mjerenje sile kompresije u tabletiranju. Teoretski su obrađena svojstva, oblici i namjena tableta, postupak tabletiranja, značajke mjernih pretvornika, prijenos sila i mjerenje sile. Objasnjena je primjena rasteznih osjetila, te odabir položaja i vrste rasteznog osjetila, kao i njihovo spajanje u Wheatstoneov most. Istaknute su poteškoće koje se najčešće javljaju tijekom mjerenja sile kompresije.

## **ABSTRACT**

In this paper, the necessary literature for measuring compression force in tableting is reviewed. Process properties, forms and purpose of the tablets, tableting process, transducers, force distribution and measurement of force is explained through the paper. The application of extensional senses, selection of the position and type of extensional senses, as well as their connecting in a Wheatstone bridge is also explained. The most common problems are shown during measuring of the compression force.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI PREGLED .....	2
2.1. TABLETE – SVOJSTVA, OBLICI, NAMJENA .....	2
2.2. PROIZVODNJA TABLETA - TABLETIRANJE .....	4
2.2.1. POMOĆNE TVARI .....	4
2.2.2. UREĐAJI ZA TABLETIRANJE .....	5
2.2.2.1. Rotacijski strojevi .....	5
2.2.2.2. Ekscentarska tabletirka .....	6
2.2.3. POSTUPAK KOMPRIMIRANJA .....	7
2.2.3.1. Direktno komprimiranje .....	7
2.2.4. FAKTORI KOJI UTJEČU NA ČVRSTOĆU TABETE .....	9
2.3. MJERENJE .....	10
2.3.1. UMJERAVANJE .....	11
2.3.2. ULAZNE ZNAČAJKE MJERNIH PRETVORNIKA .....	11
2.3.3. IZLAZNE ZNAČAJKE MJERNIH PRETVORNIKA .....	12
2.3.4. PRIJENOSNE ZNAČAJKE MJERNIH PRETVORNIKA .....	13
2.3.5. IZVEDBENE ZNAČAJKE MJERNIH PRETVORNIKA .....	16
2.4. SILA .....	16
2.4.1. PRIJENOS SILE KROZ MASU ZA TABLETIRANJE .....	17
2.4.2. UTJECAJ PRIMJENJENE SILE NA RELATIVNI VOLUMEN .....	20
2.5.1. RASTEZNA OSJETILA .....	20
2.5.2. ODABIR POLOŽAJA I VRSTE RASTEZNIH OSJETILA .....	23
2.5.3. PRIČVRŠĆIVANJE RASTEZNOG OSJETILA .....	24
2.5.4. POVEZIVANJE RASTEZNIH OSJETILA U WHEATSTONEOV MOST .....	25
2.6. MJERENJE SILE KOMPRESIJE U TABLETIRANJU .....	28
3. ZAKLJUČAK .....	30
4. SIMBOLI .....	31
5. LITERATURA .....	33
ŽIVOTOPIS .....	34

# 1. UVOD

U ovom radu teorijski se obrađuje mjerenje sile kompresije u tabletiranju. Poznavanje ovih vrijednosti i njihovo optimiranje izuzetno je važno u procesu izrade tableta zahtijevane kvalitete. Tablete su najčešći čvrsti ljekoviti oblici, zbog mogućnosti točnog doziranja ljekovite tvari te mogućnosti njenog kontroliranog oslobađanja, jednostavnosti, odnosno ekonomičnosti industrijske proizvodnje, dobre stabilnosti pri čuvanju i skladištenju, mogućnosti prekrivanja neugodnih okusa, prihvatljivom načinu uzimanja za pacijente i dr.<sup>[1]</sup>

Tablete su čvrsti oblici ljekovitih tvari, a dobivaju se iz mase za tabletiranje. Masa za tabletiranje može sadržavati jednu ili više aktivnih tvari i pomoćne tvari. Tehnološki postupak dobivanja tableta se sastoji od niza postupaka kao što su sušenje, aglomeriranje, usitnjavanje i tabletiranje. Tabletiranje je postupak u kojem primjenom sile kompresije na masu za tabletiranje dobivamo tablete.<sup>[2]</sup>

Primjenjuju se dva tipa uređaja za tabletiranje, ekscentarske preše i rotacijski strojevi. U ovom radu će se koristiti ekscentarska tabletirka koja na masu koja se tabletira djeluje silom kompresije jednostrano i odjednom.<sup>[1]</sup>

Sila kompresije u tabletiranju utječe na neka svojstva tableta, npr. na relativni volumen tablete i poroznost, koje direktno utječu na druga svojstva uključujući i vrijeme aktivacije. U farmaceutskoj industriji svaka tableta mora biti jednake mase, jednake količine aktivne tvari i vremena aktivacije, odnosno dozvoljena su vrlo mala odstupanja. Poznavanje sile kompresije i njeno mjerenje je zbog toga od izuzetne važnosti.<sup>[1]</sup>

## 2. TEORIJSKI PREGLED

### 2.1. TABLETE – SVOJSTVA, OBLICI, NAMJENA

Tablete su čvrst oblici ljekovitih tvari koji sadrže jednu ili više ljekovitih tvari, a dobivaju se komprimiranjem prašaka, kristala ili granula. Masa za tabletiranje sadrži aktivnu tvar, a može sadržavati i pomoćne tvari za tabletiranje. Tablete mogu biti obložene tankim filmom u svrhu prekrivanja neugodnih okusa i mirisa kao i u svrhu zaštite aktivne tvari od utjecaja okoline.<sup>[2]</sup>

Tablete su najčešći oblik primjene ljekovitih tvari u čvrstom obliku zbog sljedećeg<sup>[2]</sup>:

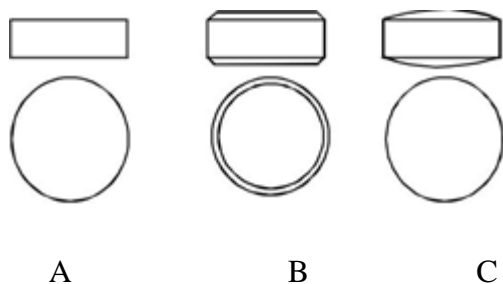
- jednostavno se koriste,
- pogodne su za skladištenje i transport,
- aktivna tvar može se precizno dozirati u tableti,
- aktivna tvar može biti u čvrstom ili kapljevitom stanju,
- proizvode se pomoću uređaja za tabletiranje u velikim količinama,
- ekonomična proizvodnja te
- mogućnost prekrivanja neugodnih okusa i mirisa.

Najčešće se koriste tri osnovna oblika tablete<sup>[1]</sup> (slika 1.):

A – ravna tableta

B – tableta sa oborenim rubovima

C – zaobljena tableta



Slika 1. Osnovni oblici tableta<sup>[1]</sup>



Ovisno o namjeni tablete se dijele na:

- *Tablettae perorales* su tablete namijenjene za peroralnu upotrebu (gutaju se s vodom). Nazivaju se i *Compressi perorales*, jer se proizvode komprimiranjem.<sup>[1]</sup>
- *Tablettae oralis* se koriste za liječenje bolesti usta, grla i gornjih dišnih puteva. Pri komprimiranju se koristi veliki pritisak jer aktivne tvari iz ovih tableta trebaju djelovati duže u ustima.<sup>[1]</sup>
- *Tablettae effervescentes* su šumeće tablete koje se koriste kada su aktivne tvari higroskopne i kada imaju neugodan ukus. Ova vrsta tableta se raspada u vodi uz oslobađanje CO<sub>2</sub>.<sup>[1]</sup>
- *Tablettae sublinguales (Lingualettae, Resorblettae)* su najčešće male, ovalne tablete, ravnih ili zaobljenih površina iz kojih se aktivna tvar apsorbira preko kože u ustima. Na ovaj način se primjenjuju lijekovi čije se aktivne tvari raspadaju ili se ne apsorbiraju u probavnom traktu.
- *Tablettae manducibilis (Dulciblettae)* su velike, zaobljene tablete ugodnog okusa za žvakanje.
- *Tablettae pro injectiones (Compressi parenterales)* su male, zaobljene tablete koje su potpuno topive u vodi (*Aqua pro injectiones*). Pomoćne tvari za tabletiranje u slučaju ove vrste tableta moraju biti sterilne, fiziološki neaktivne i topive u vodi.
- *Tablettae pro implantaciones (Implant tablettae, Pallette)* su male, pločaste, cilindrične tablete koje se operacijom stavljaju pod kožu i na taj način omogućuju djelovanje lijeka kroz duži period.
- *Tablettae pro oculis* su vrlo male tablete koje se moraju otapati u očnim tekućinama. Izrađuju se i pakiraju u sterilnim uvjetima.
- *Tablettae vaginalis (Vaginalettae)* su različitog oblika (okrugle, jajaste, štapićaste i bez oštih rubova), primjenjuju se direktno u vaginu i moraju postupno otpuštati aktivnu tvar u vaginalnim izlučevinama.
- *Mantel-tablete* se sastoje iz tabletne jezgre i omotača koji dovodi do produženog delovanja tabletne jezgre.
- Višeslojne tablete (*Multilayer tablets*) su tablete koje sadrže dva ili više slojeva granula komprimiranih u jednu tabletu.

Ovisno o namjeni izrađuju se razni oblici i dimenzije tableta, odnosno u njihovom oblikovanju primjenjuju se različite sile kompresije.

## 2.2. PROIZVODNJA TABLETA - TABLETIRANJE

Proizvodnja tableta sastoji se od mnogo pojedinačnih operacija, npr. usitnjavanja, prosijavanja, miješanja, granuliranja, sušenja i komprimiranja (tabletiranja).<sup>[1]</sup>

Tabletiranje je postupak izrade tableta od mase za tabletiranje u obliku čvrstih tvari, prašaka, kristala ili granula, primjenom sile kompresije. Za oblikovanje tablete od izuzetne je važnosti točnost doziranja aktivnih i pomoćnih tvari zbog propisanih visokih standarda. Granuliranjem aktivnih i pomoćnih tvari poboljšane su osobine tečenja kao i bolji omjer aktivnih i pomoćnih tvari.<sup>[3]</sup>

### 2.2.1. POMOĆNE TVARI

Pomoćne tvari znatno utječu na mehanička svojstva i oblikovanje tableta, a indiferentna su prema aktivnoj tvari. Karakteristike i uvjeti primjene neke tvari kao pomoćnog sredstva u tabletama je to da su kompatibilne s aktivnom tvari, kemijski stabilne, fiziološki neutralne, odnosno netoksične i neštetne.

Pomoćne tvari za tabletiranje su ovisno o namjeni podijeljene u više skupina:

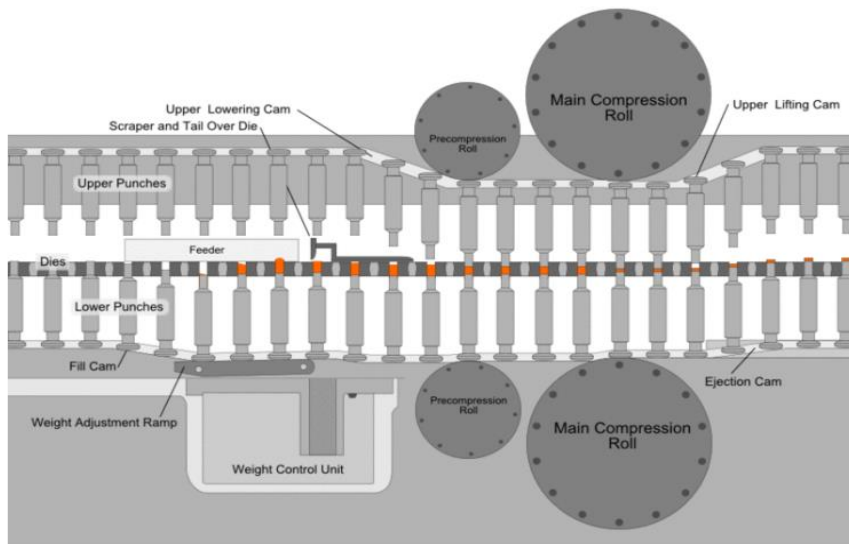
- a) Sredstva za dopunjavanje – dodaju se u masu za tabletiranje kako bi povećala masu tablete<sup>[2]</sup>
- b) Sredstva za vezivanje – dodaju se radi dobivanja granula boljih karakteristika<sup>[2]</sup>
- c) Sredstvo za raspadanje – pospješuju raspadanje tablete u dodiru s vodom ili drugim probavnim tekućinama<sup>[2]</sup>
- d) Sredstvo za klizanje – dodaje se kako bi se postiglo bolje klizanje mase za tabletiranje i pravilno punjenje, te omogućuju lakše izbacivanje tablete, smanjuju trenje na zidove matrice i klipove<sup>[1]</sup>
- e) Sredstva za apsorpciju – služe za apsorpciju eterskih ulja i vitamina<sup>[2]</sup>
- f) Sredstva za bojanje – primjenjuju se kako bi poboljšala izgled i omogućila razlikovanje tableta<sup>[1]</sup>
- g) Sredstva za korekciju mirisa i okusa<sup>[1]</sup>
- h) Antistatička sredstva – sprječavaju nastajanje statičkog elektriciteta koji u fazi sušenja može izazvati eksplozije<sup>[1]</sup>

- i) Lubrikanti – sprječavaju trenje između zida matrice i tablete za vrijeme njenog izbacivanja, a kao rezultat dobivamo glatku tabletu, bez ogrebotina<sup>[1]</sup>
- j) Sredstva za poliranje<sup>[1]</sup>

## 2.2.2. UREĐAJI ZA TABLETIRANJE

Uređaji za tabletiranje su uređaji u kojima dobivamo tablete, primjenjuje se postupak visokotlačne aglomeracije.<sup>[3]</sup> Postoje dva tipa uređaja za tabletiranje, ekscentarska tabletirka i rotacijski strojevi. Oba tipa imaju matricu i dva klipa, donji i gornji. Matrica je čelični disk sa cilindričnim otvorom, čiji promjer određuje promjer tablete. Klipovi su najčešće izrađeni od Cr-Ni čelika, promjer im je nešto manji od promjera matrice.<sup>[1]</sup>

### 2.2.2.1. Rotacijski strojevi



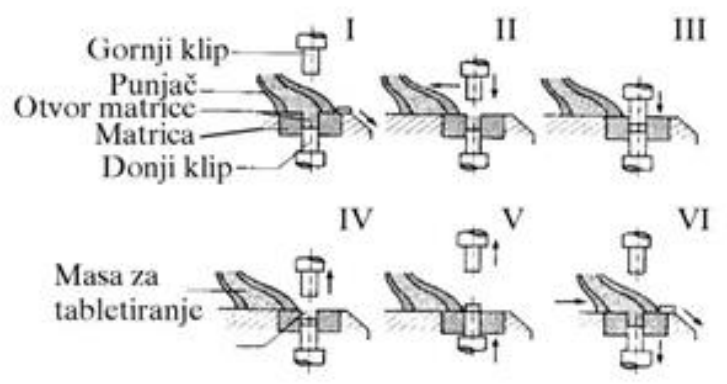
Slika 2. Rotacijski strojevi <sup>[3]</sup>

Rotacijski strojevi (slika 2.) za tabletiranje koriste se u industriji zbog velikog kapaciteta proizvodnje tableta od 400 000 do 1 000 000 tableta po satu. Sastoje se od rotirajućeg diska na kojem je raspoređen veliki broj matrica. Punjači su nepokretni. Klipovi

obostrano i jednoliko prenose sile kompresije, što rezultira jednolikom čvrstinom tablete s gornje i donje strane. <sup>[1]</sup>

### 2.2.2.2. Ekscentarska tabletirka

Ekscentarska tabletirka ili stroj s jednim parom klipova rjeđe se koristi u industriji, njihova primjena je veća u laboratorijima. Kod ove vrste uređaja punjač je pokretan, a matrica nepokretna. Donji klip služi za izbacivanje gotovih tableta i njegov položaj određuje dubinu punjenja u matrici koja određuje debljinu tablete. Sila kompresije se primjenjuje pomoću gornjeg klipa, dok donji ima ulogu „zida“. Ekscentarske preše ne daju jednaku tvrdoću tablete po visini, iz tih razloga i zbog manjeg kapaciteta proizvodnje nisu našle primjenu u industriji. <sup>[1]</sup>



Slika 3. Shematski prikazane faze jednog ciklusa u ekscentrskoj preši <sup>[1]</sup>

Na slici 3. su prikazane faze jednog ciklusa u ekscentrskoj preši <sup>[1]</sup>:

- I. Punjenje matrice
- II. Micanje punjača i kretanje gornjeg klipa prema dolje
- III. Kompresija
- IV. Kretanje gornjeg klipa prema gore
- V. Izbacivanje gotove tablete donjim klipom
- VI. Odlazak gotove tablete u spremnik i ponovo punjenje matrice

### 2.2.3. POSTUPAK KOMPRIMIRANJA

Tablete mogu biti komprimirane na dva načina <sup>[2]</sup>:

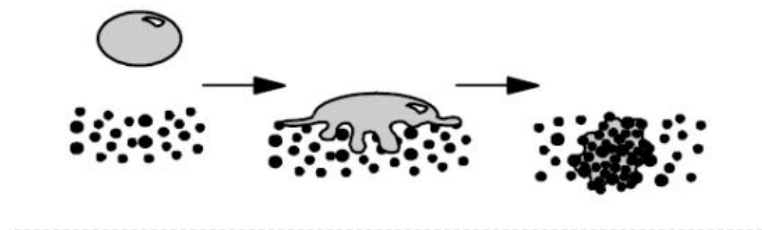
- direktnim komprimiranjem i
- komprimiranjem granula.

#### 2.2.3.1. Direktno komprimiranje

Direktno komprimiranje je komprimiranje bez dodatka pomoćnih tvari. Vrlo malo tvari se može direktno komprimirati. Tvari koje se mogu direktno komprimirati imaju kristalnu strukturu. Tablete dobivene ovim načinom se obično teško raspadaju, tako da se mora dodati sredstvo za raspadanje. <sup>[1]</sup>

#### 2.2.3.2. Komprimiranje granula

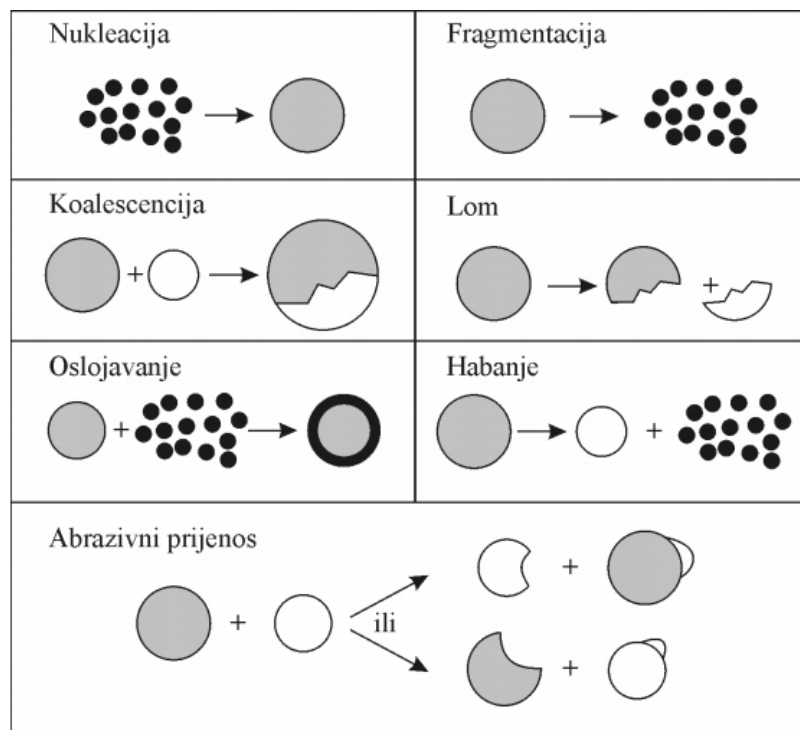
Budući da se malo tvari može direktnog komprimirati, najčešće se prije komprimiranja provodi granuliranje. Granuliranje je proces okrupnjavanja (aglomeriranja) u kojem se manje čestice vežu u veće aglomerate uzgibavanjem. U sustav čestica i granula dodaje se kapljevito vezivo te se dovođenjem energije pokreće kolektiv čestica i veziva. Granuliranjem se poboljšava tecivost prašaka, nasipna gustoća koja je važna kod skladištenja i stvaranje nesegregirajućih mješavina. <sup>[1]</sup>



Slika 4. Močenje i nukleacija primarnih čestica <sup>[3]</sup>

Nastajanje granula i njihova svojstva kao što su poroznost, čvrstoća i raspodjela veličina granula kontrolirano je sljedećim fazama <sup>[3]</sup>:

- I. Močenjem izvornih čestica – faza u kojoj se zrak između čestica zamjenjuje vezivom (slika 4.);
- II. Nukleacija – proces u kojem se čestice sjedinjuju i stvaraju primarne granule ili nukleuse;
- III. Rast granula – posljedica dva mehanizma: koalescencija (spajanje dviju ili više jezgara) i oslojavanje (aglomerati djeluju kao jezgre za novo dodane čestice);
- IV. Konsolidacija granula – faza u kojoj dolazi do povećanja gustoće granula tako da se istiskuje kapljevina iz granula dovođenjem energije;
- V. Lom granula – mehanizmi usitnjavanja: fragmentacija (lom primarnih granula do izvornih komponenata), lom (usitnjavanje granula na dva ili više dijela), habanje (smanjenje veličine granule gubitkom primarnih čestica s površine) i abrazivni prijenos (prilikom sudara dviju granula dolazi do prijenosa dijela granulirane mase s jedne na drugu granulu) (slika 5.).



Slika 5. Mehanizmi rasta i loma granula <sup>[3]</sup>

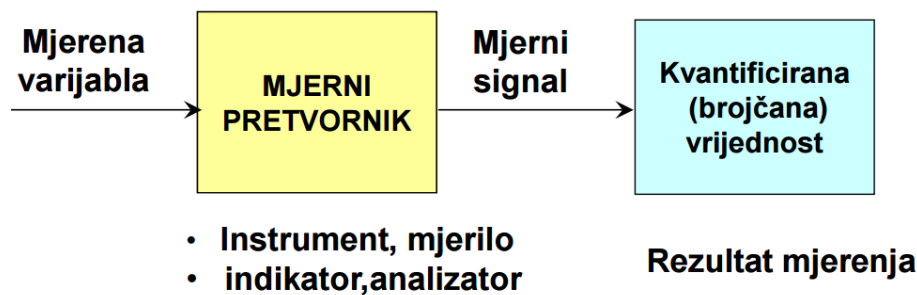
#### **2.2.4. FAKTORI KOJI UTJEČU NA ČVRSTOĆU TABETE**

Kod procesa proizvodnje tableta na čvrstoću tablete utječu <sup>[1]</sup>:

- primijenjeni pritisak,
- veličina čestica,
- lubrikanti i pomoćna sredstva za vezivanje,
- sadržaj vlage,
- sadržaj zraka u tableti.

## 2.3. MJERENJE

Za analiziranje sila kompresije u tabletiranju potrebno je općenito poznavanje mjerenja. Mjerenje je uspoređivanje određene kvalitete, pojave ili tvorevine s odabranom isto takvom usporednom kvalitetom, pojavom ili tvorevinom.<sup>[4]</sup> Kako bi se riješio problem subjektivnih mjerenja uveden je jedinstven sustav mjerenja koji osiguravaju mjerni etaloni. „Mjerni etalon stvarna je mjera, mjerilo, referentna tvar ili mjerni sustav namijenjen za određivanje, ostvarivanje, čuvanje ili obnavljanje jedinice ili jedne ili više vrijednosti kakve veličine kako bi mogli poslužiti kao referenca.“<sup>[5]</sup> U tehnici i znanosti pretvorba različitih kvaliteta tvari i energije u oblike koje je moguće pratiti od velike je važnosti. Temperatura, tlak i ostale mjerne veličine potrebno je prevesti u motrive oblike pomoću mjernih osjetila koji su dio mjernog pretvornika (slika 6.).<sup>[4]</sup> Svaki mjerni pretvornik ima ulazne, izlazne, prijenosne i izvedbene značajke.<sup>[6]</sup>



Slika 6. Pretvorba mjernih varijabla u motrive veličine<sup>[6]</sup>

Kod odabira mjernog pretvornika važno je odrediti potrebna svojstva mjernog pretvornika kao što su<sup>[6]</sup>:

- radno područje mjerne varijable,
- točnost,
- preciznost,
- osjetljivost,
- dinamika osjetila,
- cijena izrade i održavanja.



### **2.3.1. UMJERAVANJE**

Umjeravanje (baždarenje, kalibriranje) je eksperimentalno određivanje odnosa između vrijednosti pokazane mjerilom i pripadne poznate vrijednosti mjerene fizikalne veličine. <sup>[6]</sup>

Umjeravanju se pristupa u četiri koraka: <sup>[7]</sup>

1. Proučava se način djelovanja i izvedba pretvornika, pa se uz mjerenu veličinu određuju i druge moguće utjecajne (ulazne) veličine.

2. Određuje se koje od ulaznih veličina utječu bitno na rad pretvornika s gledišta predviđene primjene.

3. Izabire se oprema kojom će se odabrane ulazne veličine moći prema potrebi mijenjati unutar određenog područja ili održavati na stalnoj vrijednosti.

4. Tražena statička ovisnost izlazne od ulazne veličine dobije se održavanjem jednih ulaznih veličina na stalnoj vrijednosti i mijenjanjem vrijednosti drugih uz zapisivanje vrijednosti izlazne veličine.

### **2.3.2. ULAZNE ZNAČAJKE MJERNIH PRETVORNIKA**

Pod ulaznim značajkama mjernih pretvornika podrazumijevaju se mjerna varijabla, mjerno područje i mjerni opseg. <sup>[6]</sup>

Mjerna varijabla je ulazna veličina, tj. veličina koja se mjeri, a bitna je za stanje tvari i energije (temperatura, tlak, razina, vlažnost, sila,...). <sup>[6]</sup>

Mjerno područje je vrijednost mjerene varijable za koji se mjerni pretvornik može koristiti, a izražava se navođenjem najmanje i najveće vrijednosti mjerene varijable. <sup>[6]</sup>

Mjerni opseg je razlika najmanje i najveće vrijednosti mjerene varijable koja se mjernim uređajem može izmjeriti. <sup>[6]</sup>

### 2.3.3. IZLAZNE ZNAČAJKE MJERNIH PRETVORNIKA

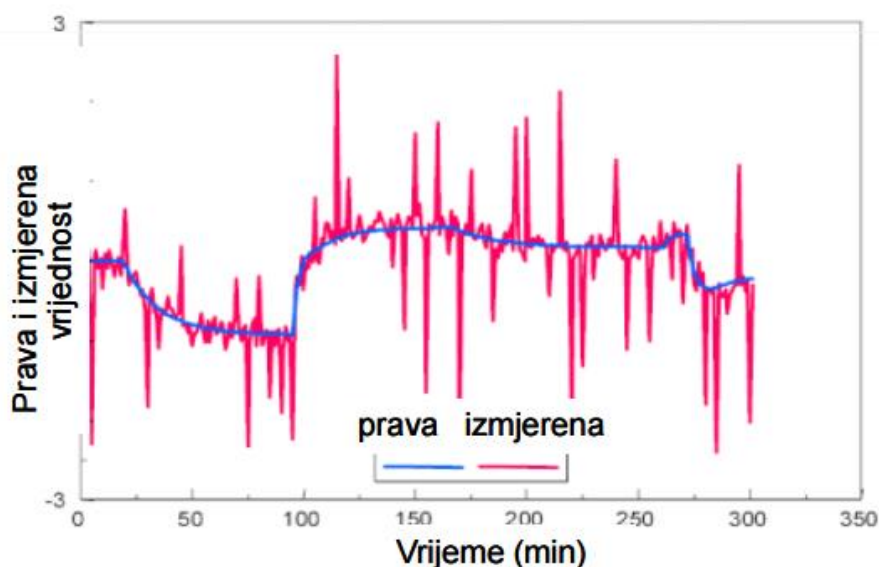
U izlazne značajke mjernih pretvornika ubrajamo mjerni signal, područje mjernog signala, vrstu mjernog signala i mjerni šum.<sup>[6]</sup>

Mjerni signal je veličina koja predstavlja mjerenu varijablu i funkcijski je povezana s njom.<sup>[6]</sup>

Područje mjernog signala je značajka određena standardima koji su međunarodno usklađeni (Strujni signal od 4 do 20 mA; Naponski signal od 1 do 5V; Pneumatski signal od 3 do 15 PSIG).<sup>[6]</sup>

Vrsta mjernog signala koja nam govori o tipu izlaznog signala. Razlikujemo više tipova izlaznih signala od toga su najčešći analogni, digitalni i pneumatski.<sup>[6]</sup>

Mjerni šum (slika 7.) je slučajno kolebanje mjerene varijable, a izvori šuma mogu biti unutarnji i vanjski. Pod unutarnjim izvorima mjernog šuma podrazumijevaju se sve smetnje nastale unutar elemenata koji prenose signal. U vanjske izvore ubrajaju se električni i magnetski fenomeni.<sup>[6]</sup>



Slika 7. Mjerni šum – stvarna i izmjerena vrijednost u ovisnosti o vremenu<sup>[6]</sup>

### 2.3.4. PRIJENOSNE ZNAČAJKE MJERNIH PRETVORNIKA

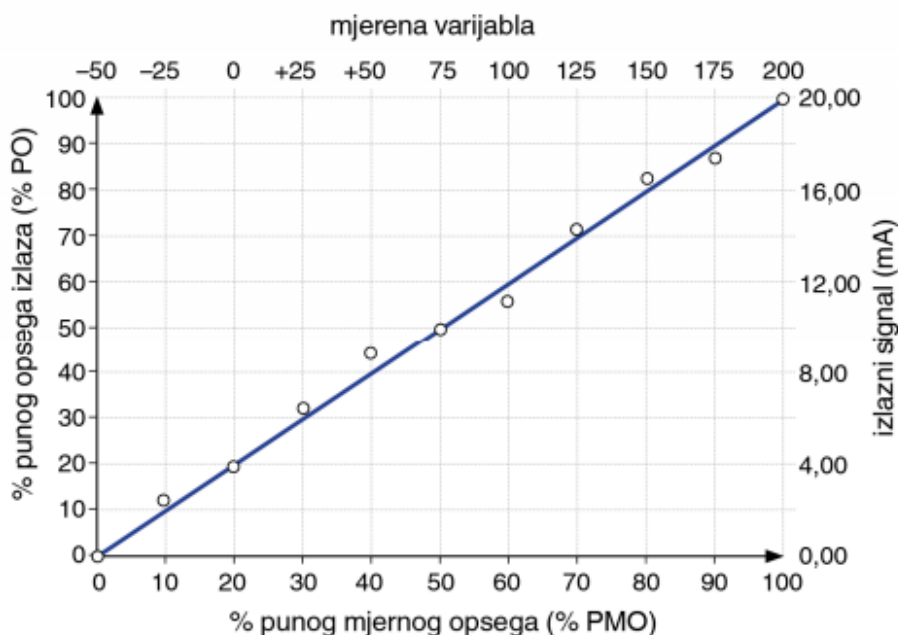
Statičke karakteristike, osjetljivost, mjerna pogreška, linearnost, ponovljivost, obnovljivost, klizanje i histereza su prijenosne značajke mjernih pretvornika. U dijagramima se najčešće primjenjuju standardizirane osi, apscisa u skali postotaka punog mjernog opsega (%PMO) ulaznih vrijednosti (1), a ordinata u skali postotaka punog opsega (%PO) vrijednosti izlaznih signala (2).<sup>[6]</sup>

$$\%PMO = \frac{X-X_{min}}{X_{max}-X_{min}} * 100 \quad [6] \quad (1)$$

$$\%PO = \frac{Y-Y_{min}}{Y_{max}-Y_{min}} * 100 \quad [6] \quad (2)$$

Statička karakteristika (slika 8.) je ovisnost mjernog signala ( $y$ ) o mjerenoj varijabli ( $x$ ), funkcijska ovisnost izlaza o ulazu se dobiva umjeravanjem (3).<sup>[6]</sup>

$$y = f(x) \quad [6] \quad (3)$$



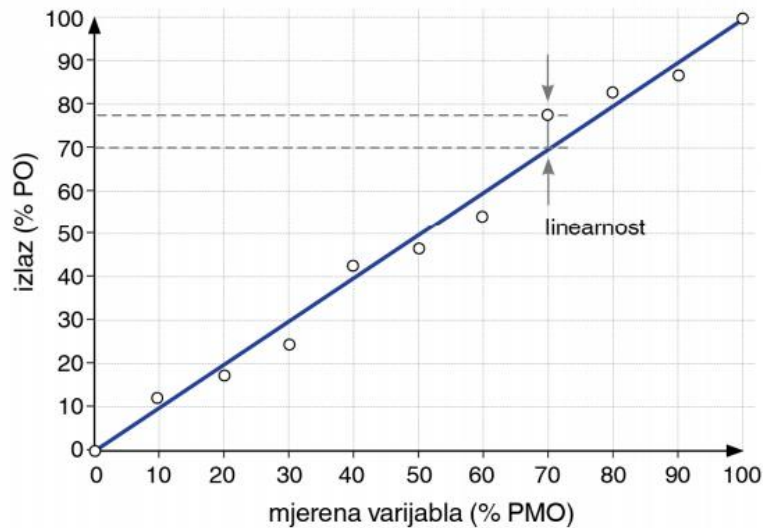
Slika 8. Linearna statička karakteristika mjernog pretvornika<sup>[6]</sup>

Osjetljivost mjernog pretvornika ( $S$ ) definirana je kao omjer promjene mjernog signala ( $dy$ ) o promjeni mjerene varijable ( $dx$ ) (4).<sup>[6]</sup>

$$S = dy/dx \quad [6] \quad (4)$$

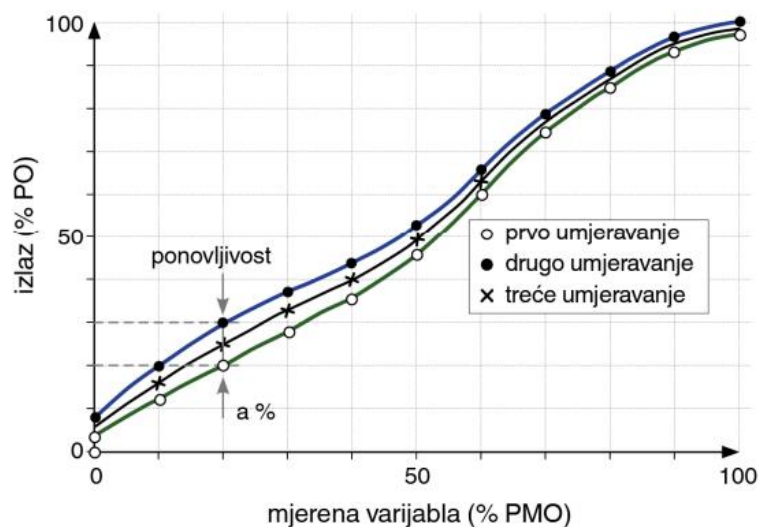
Mjerna pogreška je algebarska razlika između stvarne i teorijske vrijednosti.<sup>[6]</sup>

Linearnost je maksimalno odstupanje pojedinih mjerenja od pravca koji predstavlja statičku karakteristiku mjernog pretvornika. Određuje se tijekom postupka umjeravanja, a izražava se u postocima punog opsega. Ispisuje se maksimalno odstupanje pojedinih mjerenja u pozitivnom i negativnom smjeru od regresijskog pravca (slika 9.).<sup>[6]</sup>



Slika 9. Grafički prikaz prijenosne karakteristike – linearnost <sup>[6]</sup>

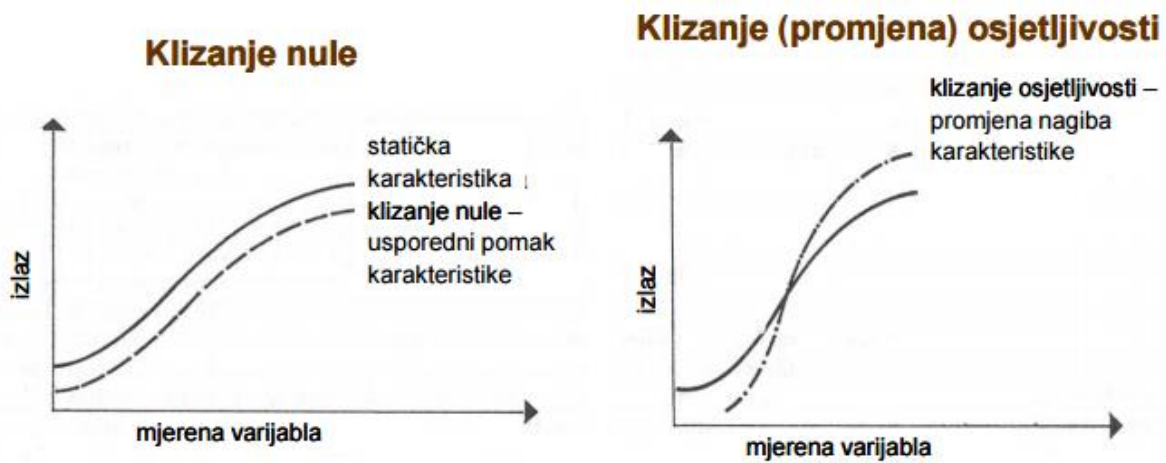
Ponovljivost je karakteristika mjernog pretvornika da pri jednakim radnim uvjetima daje jednake vrijednosti izlazne veličine za iste ulazne vrijednosti mjerene varijable uz uvjet da su mjerenja uzastopno ponovljena.<sup>[6]</sup>



Slika 10. Grafički prikaz prijenosne karakteristike – ponovljivost <sup>[6]</sup>

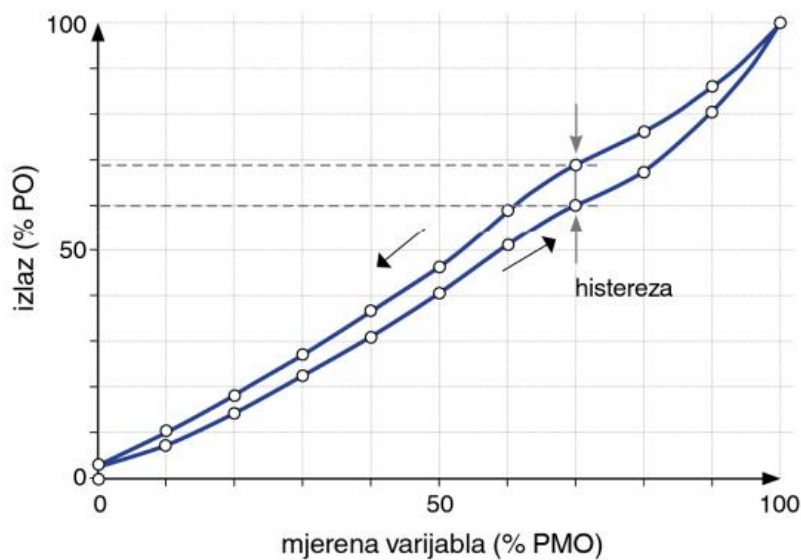
Obnovljivost je za razliku od ponovljivosti karakteristika mjernog pretvornika da daje jednake vrijednosti izlazne veličine pri različitim uvjetima okoline. <sup>[6]</sup>

Klizanje mjernih pretvornika je spora dugotrajna promjena karakteristike mjernog pretvornika, može se dogoditi ili klizanje nule ili klizanje osjetljivosti (promjena nagiba statičke karakteristike) (slike 11. i 12.).<sup>[6]</sup>



Slika 11. Grafički prikaz klizanja nule <sup>[6]</sup> Slika 12. Grafički prikaz klizanja osjetljivosti <sup>[6]</sup>

Histereza (slika 13.) je razlika u vrijednostima izlazne veličine za istu vrijednost mjerene varijable kad se mjerena varijabla mijenja tako da najprije raste, a zatim se smanjuje. <sup>[6]</sup>



Slika 13. Grafički prikaz prijenosne karakteristike – histereza <sup>[6]</sup>

### 2.3.5. IZVEDBENE ZNAČAJKE MJERNIH PRETVORNIKA

Vrlo su važne kod ugradnje i primjene mjernih pretvornika, a sadrže podatke o dimenziji, masi, podatke o ugradnji, položaju priključnica za električne spojeve, izvedbi spojeva, materijalu pretvornika, zaštiti od korozije i druge podatke. Također sadrže podatke pouzdanosti, opterećenosti, trajnosti i dinamici procesa. <sup>[6]</sup>

Pouzdanost je sposobnost mjernog pretvornika za rad pod deklariranim uvjetima u određenom vremenskom razdoblju. <sup>[6]</sup>

Opterećenost podrazumijeva dopustivo opterećenje, najveća dopustiva vrijednost mjerene veličine kojoj mjerni pretvornik može biti izložen, a da se trajno ne utječe na promjenu njegove statičke karakteristike. <sup>[6]</sup>

Trajnost ili životni vijek je najmanje vremensko razdoblje unutar kojeg se mjerni pretvornik može upotrebljavati ili skladištiti, a da se pri tom bitno ne promjene svojstva. Skladišni vijek je dopustivo trajanje skladištenja prije upotrebe, radni vijek podrazumijeva trajnost upotrebe pretvornika pri radnim uvjetima. <sup>[6]</sup>

## 2.4. SILA

Sila je veličina potrebna da bi se uzrokovala promjena stanja gibanja ili mirovanja. Kad sila djeluje na tijelo, ono se ubrzava u smjeru djelovanja te sile. Ako su sile u ravnoteži, tada one opterećuju tijelo i uzrok su deformacije, stezanja ili rastezanja tijela. <sup>[4]</sup>

Sila ima iznos i smjer, vektorska je veličina. Označava se simbolom  $F$ , a SI jedinica za silu je njutn čija je oznaka N, koja je definirana drugim Newtonovim zakonom gibanja (5) i (6).

$$F = \frac{dp}{dt} \quad (5)$$

$$F = m * a \quad (6)$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} * 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

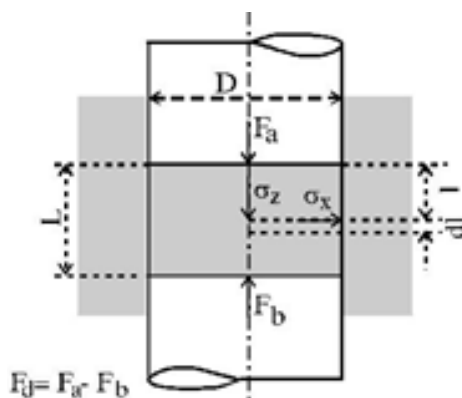
Četiri vrste fundamentalnih interakcija su:

- Gravitacijska sila
- Elektromagnetska sila
- Slaba nuklearna sila
- Jaka nuklearna sila

Gravitacijska i elektromagnetna sila primjećuju se na velikim udaljenostima, dok se slaba i jaka nuklearna sila opažaju na malim udaljenostima u razmjerima atomske jezgre. <sup>[7]</sup>

#### 2.4.1. PRIJENOS SILE KROZ MASU ZA TABLETIRANJE

Kod uređaja za tabletiranje s jednim parom klipova sila kompresije ( $F_a$ ) se primjenjuje preko gornjeg klipa. Sila djeluje na masu za tabletiranje koja stvara otpor, što rezultira da je sila donjeg, nepokretnog klipa ( $F_b$ ) uvijek manja od primijenjene sile ( $F_a > F_b$ ) (slika 14.). Iz tog razloga tableta nastala u uređaju za tabletiranje s jednim parom klipova nema jednoliku čvrstoću po visini, čvršća je s gornje strane gdje je primijenjena veća sila ( $F_a$ ).<sup>[1]</sup>



Slika 14. Prikaz sile tijekom tabletiranja <sup>[1]</sup>

$$F_a > F_b \quad (7)$$

$$\sum_n^1 F_i = 0 \quad (8)$$

$$F_a = F_b + F_d \quad (9)$$

$$F_d = \mu * F_x \quad (10)$$

U teoriji, poštujući zakon očuvanja količine gibanja (8) primijenjena sila kompresije putem gornjeg klipa ( $F_a$ ) mora biti u ravnoteži. Sila donjeg klipa je manja od sile gornjeg tako da ju moramo uravnotežiti pribrajanjem izgubljene sile u masi za tabletiranje u obliku trenja ( $F_d$ ) (9). Sila trenja ( $F_d$ ) nastaje između mase za tabletiranje i zida matrice koji pruža otpor formiranju tablete. Koeficijent trenja između mase za tabletiranje i zida matrice je  $\mu$ , onda vrijedi jednadžba (10) gdje je  $F_x$  sila okomita na zid matrice. <sup>[1]</sup>

Kod proizvodnje tableta masa za komprimiranje je konstantna za određeni proizvod odnos primijenjene sile ( $F_a$ ) i prijenosne sile ( $F_b$ ), odnosno primijenjeni pritisak ( $p_a$ ) i prijenosni pritisak ( $p_b$ ) je gotovo linearan. Kod uređaja s jednim parom klipova gdje dubina punjenja ovisi od proizvoda do proizvoda Shaxby i Evans dali su ovisnost (11). <sup>[1]</sup>

$$p_a = p_b * \exp \frac{4LK}{D} \quad (11)$$

Ovisnost (11) je potvrdio Unkel, i primijetio da se konstanta  $K$  može zamijeniti koeficijentom trenja proizvoda ( $\mu$ ) i veličinom  $\eta$  koja predstavlja odnos radijalnog i aksijalnog opterećenja u tableti. <sup>[1]</sup>

$$p_a = p_b * \exp \frac{4L\mu\eta}{D} \quad (12)$$

Logaritamsko opadanje primijenjene sile duž visine može se pokazati uzimanjem elementarnog dijela visine ( $dl$ ). Odnos između aksijalnog i radijalnog opterećenja je dan izrazom (13). <sup>[1]</sup>

$$\sigma_z = \eta * \sigma_x \quad (13)$$

Obzirom na vertikalnu ravnotežu elementarnog dijela dobiva se izraz (14). <sup>[1]</sup>

$$\sigma_x * \mu * \pi * D * dl = -d\sigma_z * \left(\frac{D^2}{4}\right) * \pi \quad (14)$$

Uvrštavanjem izraza (13) u izraz (14) dobiva se izraz (15) <sup>[1]</sup>:

$$\eta * \sigma_z * \mu * \pi * D * dl = -d\sigma_z * \left(\frac{D^2}{4}\right) * \pi \quad (15)$$

Daljnjim sređivanjem izraza dobiva se izraz (16) <sup>[1]</sup>:



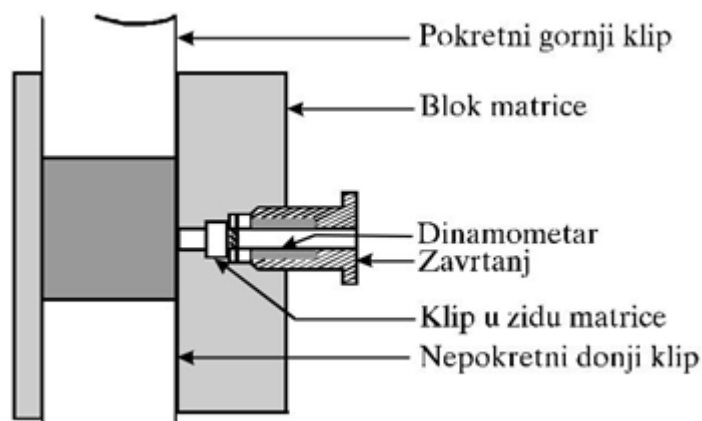
$$-\frac{d\sigma_z}{\sigma_z} = \left(\frac{dl}{D}\right) * 4 * \mu * \eta \quad (16)$$

Integriranjem izraza (16) dobiva se konačan izraz (18) <sup>[1]</sup>:

$$\int_{p_a}^{p_b} \frac{d\sigma_z}{\sigma_z} = -\frac{4*\mu*\eta}{D} * \int_0^L dl \quad (17)$$

$$\ln \frac{p_a}{p_b} = 4 * \mu * \eta * \frac{L}{D} \quad (18)$$

Korištenje jednadžbe je ograničeno zbog neophodnog poznavanja veličine  $\eta$ , iz tog razloga potrebno je poznavanje radijalne sile ( $F_x$ ) na stijenku matrice (slika 15.). Kako bi se to omogućilo zid matrice mora biti relativno tanak kako bismo mogli izmjeriti tu silu. Ukoliko imamo situaciju da je masa za tabletiranje nehomogena, visina punjenja velika i manji promjer matrice, dio tablete uz donji klip bit će slabije komprimiran, što se može vidjeti iz formule (18). <sup>[1]</sup>



Slika 15. Mjerenje radijalne sile na zid matrice <sup>[1]</sup>

Kod rotacijskih strojeva sila se primjenjuje jednako s gornjeg i s donjeg klipa tako da je najmanja gustoća tablete u središtu tablete. Za razliku od uređaja za tabletiranje rotacijski strojevi proizvode tablete s manjom razlikom u gustoći. Jednadžba (19) pokazuje promjenu visine punjenja tijekom komprimiranja gdje je  $l$  visina punjenja,  $F$  primjenjena sila,  $E$  koeficijent elastičnosti i  $A$  površina poprečnog presijeka. <sup>[1]</sup>

$$\Delta l = \frac{F * l}{E * A} \quad (19)$$

## 2.4.2. UTJECAJ PRIMJENJENE SILE NA RELATIVNI VOLUMEN

Komprimiranjem mase za tabletiranje povećava se gustoća na što nam najbolje može ukazati podatak o relativnom volumenu tablete ( $V_r$ ). Walker je relativni volumen tablete izrazio logaritamskom ovisnosti (20) gdje su C i K konstante. <sup>[1]</sup>

$$V_r = C - K * \log(p_a) \quad (20)$$

Poroznost ( $\varepsilon$ ) je volumen praznina u odnosu na ukupni volumen tablete (21), gdje je V volumen tablete, a  $V_s$  volumen punjenja <sup>[1]</sup>

$$\varepsilon = \frac{V - V_s}{V} \quad (21)$$

## 2.5. MJERENJE SILE

Pri mjerenju sile moguće je iskoristiti elastične deformacije, naprezanje i pomak koji su posljedica tijela izloženog djelovanju sile. Naprezanje i pomak ovise o obliku i načinu učvršćivanja tijela, zato su razvijena tijela različitih oblika kao osjetila sile. Tijela koja se koriste kao osjetila sile su gredice, dijafragme, prstenovi i stupci, a izvedeni su iz homogenih materijala kao što su čelik, fosforna bronca ili berilijeva bronca. <sup>[4]</sup>

Mjerenjem deformacije mjeri se sila koja ju je uzrokovala. Postoji više različitih postupaka mjerenja deformacija, npr. otpornička osjetila, mehaničke mjerne naprave i optički postupci. Svi navedeni postupci su našli primjenu u raznim granama tehnike. Najvažniji je postupak temeljen na promjeni otporničkih osjetila, rastezna osjetila. <sup>[4]</sup>

### 2.5.1. RASTEZNA OSJETILA

Rastezno osjetilo može biti žica ili listić vodljivog ili poluvodljivog materijala koje se učvršćuje na promatrano tijelo tako da se rasteže ili steže sukladno s tijelom, ako na tijelo djeluje sila. Promjena duljine uzrokuje mjerljivu promjenu otpora rasteznog osjetila, jer ono osjeća promjene naprezanja na osnovi vlastite deformacije. Načelo mjerenja može se tumačiti na primjeru žice opterećene silom. <sup>[4]</sup>

Neopterećena žica ima otpor  $R$  koji ovisi o njenom specifičnom otporu, duljini ( $l$ ) i poprečnom presjeku ( $A$ ) žice. <sup>[4]</sup>

$$R = \frac{\varrho * l}{A} \quad (22)$$

Kada žicu opteretimo silom dolazi do deformacije ( $\varepsilon$ ) koja mijenja otpor žice, pri čemu je  $\beta$  Poissonov koeficijent, a  $\gamma$  koeficijent promjene otpora u ovisnosti o naprežanju. <sup>[4]</sup>

$$l(\varepsilon) = l * (1 + \varepsilon) \quad (23)$$

$$A(\varepsilon) = A * (1 - \beta \varepsilon^2) \quad (24)$$

$$\varrho(\varepsilon) = \varrho * (1 + \gamma \varepsilon) \quad (25)$$

Tako da opterećena žica ima otpor  $R(\varepsilon)$  <sup>[4]</sup>:

$$R(\varepsilon) = \frac{\varrho(\varepsilon) * l(\varepsilon)}{A(\varepsilon)} \quad (26)$$

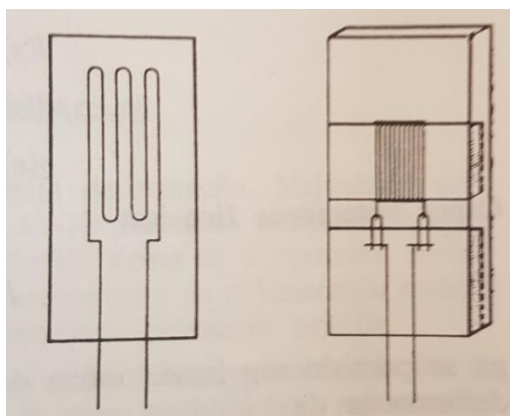
Osjetljivost rasteznog osjetila ( $s$ ) je omjer relativne promjene otpora i deformacije pa se dobiva izraz <sup>[4]</sup>:

$$s = \frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dl}{l}} = 1 + 2\beta + \gamma \quad (27)$$

Za otpore većine metala izloženih elastičnoj deformaciji približna osjetljivost na deformaciju iznosi oko 2. Samo nekoliko metala ima stalnu osjetljivost u svom elastičnom i plastičnom području. <sup>[4]</sup>

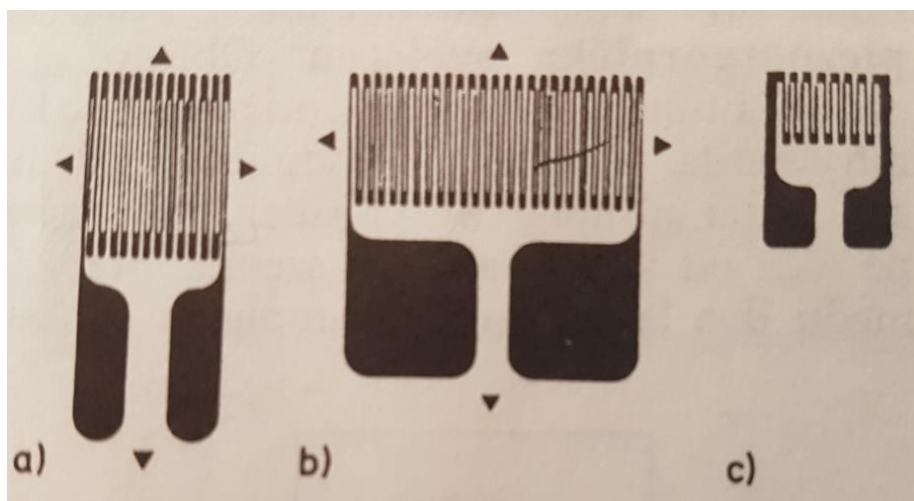
Osnovna mjerna jedinica za mjerenje deformacija je m/m, što predstavlja rastezanje po jedinici dužine. <sup>[4]</sup>

Žična rastezna osjetila su izvedena na način da se tanka žica oblikovana u cik-cak obliku pričvrsti na listić prikladnog materijala (osnovicu) (slika 16.). Za osnovicu se može upotrijebiti listić papira debljine manje od 40  $\mu\text{m}$  ili neka druga vrsta materijala. Promjer žice je od 0,02 mm do 0,04 mm. Elektromotorna sila što ju daju različiti materijali rasteznih osjetila s bakrenom žicom je od 2  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  do 47  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . <sup>[4]</sup>



Slika 16. Osnovne izvedbe žičnih rasteznih osjetila <sup>[4]</sup>

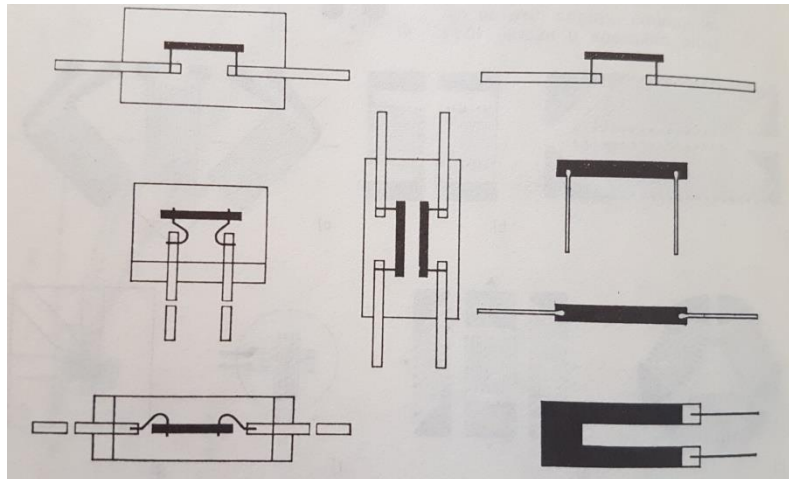
Osim žičnih rasteznih osjetila primjenjuju se i osjetila od metalnih folija proizvedenih jetkanjem (slika 17.). Folijska rastezna osjetila mogu se izvesti znatno manjih dimenzija od žičnih rasteznih osjetila. Debljina im je od 3  $\mu\text{m}$  do 8  $\mu\text{m}$ . Folijska i osnovica mogu biti izvedeni od istih materijala kao i žični..<sup>[4]</sup>



Slika 17. Izvedbe osjetila iz metalne folije: a) standardna izvedba, b) izvedba sa širokom mrežicom, c) minijaturna izvedba<sup>[4]</sup>

Poluvodička rastezna osjetila (slika 18.) se primjenjuju za osjećanje malih naprezanja (oko 0,1  $\mu\epsilon$ ). Karakterizira ih visoka osjetljivost (od 50 do 200), uže temperaturno područje i mjerenje im je ograničeno na  $\pm 3000 \mu\epsilon$ . Poluvodiči imaju veliki koeficijent promjene otpora,  $\gamma$ , pa je iz tog razloga jako izražena promjena otpora zbog deformacije. Kristalići poluvodiča režu se u štapiće tanje od 1 mm. Njihova radna duljina može biti od 0,5 mm do 6 mm. Daleko najzastupljeniji materijal koji se koristi je silicij. Kristalni štapići na krajevima su učvršćeni u

spojne žice od zlata, srebra ili bakra. Štapići se ostavljaju slobodni ili se stavljaju između dva listića papira natopljena epoksidnom smolom ili fenolnom smolom.<sup>[4]</sup>



Slika 18. Izvedbe poluvodičkih rastezних osjetila <sup>[4]</sup>

### 2.5.2. ODABIR POLOŽAJA I VRSTE RASTEZNIH OSJETILA

Općenito postoji jako puno izvedbi rastezних osjetila. Njihov izbor ovisi o uvjetima mjerenja i karakteristikama raspoloživih mjernih uređaja. Osjetila većeg otpora dopuštaju primjenu većeg napona napajanja mjernog mosta, te se na taj način dobije veća osjetljivost mjernog sloga. Primjenom većeg napona dolazi do jačeg zagrijavanja osjetila, zato je dopuštena struja od oko 10 mA do 20 mA i ovisi o uvjetima hlađenja. Npr. osjetilo zalijepljeno na metal smije se opteretiti većom strujom od osjetila zalijepljenog na materijale poput betona, drva, plastike zbog bolje toplinske vodljivosti, nema stvaranja vrućih mjesta. Iz konstruktivnih razloga osjetila s većim otporom imaju i veće dimenzije, što je u nekim slučajevima nepoželjno zbog problema sa smještajem na mjerno mjesto.<sup>[4]</sup>

Dimenzije osjetila su važne za točnost mjerenja, a posebno na mjestima s velikim prirastom naprezanja. Za takva mjerenja preporučaju se osjetila što manjih dimenzija, jer sva osjetila mjere „prosječnu vrijednost“ deformacije obuhvaćenu vlastitom radnom dužinom. Nehomogeni materijali uvijetuju primjenu osjetila većih dimenzija kako bi se smanjio utjecaj nehomogenosti.<sup>[4]</sup>

Rastezna osjetila moraju biti pričvršćena na mjerno mjesto tako da vjerno prate deformaciju tijela. Osjetila se pričvršćuju lijepljenjem, izbor lijepljenja ovisi o materijalu mjernog tijela, materijalu podloge i površini mjernog mjesta. Površina na koju se učvršćuje osjetilo mora biti očišćeno i malo hrapavo.<sup>[4]</sup>

### 2.5.3. PRIČVRŠĆIVANJE RASTEZNOG OSJETILA

Nakon odabira mjernog mjesta, vrste rasteznog osjetila i ljepila pristupa se pričvršćivanju rasteznog osjetila (slika 19.). Najprije se premaže podloga ljepilom na površini većoj od površine osjetila, zatim se lagano postavi osjetilo. Osjetilo se zatim pritisne prstima na način da se istjeraju mjehurići zraka i suvišno ljepilo. Na kraju se preko folije za koju se ne prima ljepilo, drvenom daščicom obloženom gumom pritišće osjetilo sve dok se ljepilo ne osuši.<sup>[4]</sup>

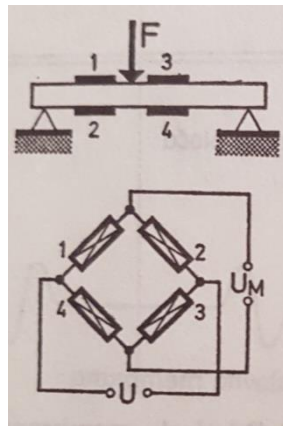


Slika 19. Postupak pričvršćivanja osjetila na površinu<sup>[4]</sup>

Mjerenju se ne smije pristupiti sve dok se ljepilo nije potpuno stegnulo. Nekim ljepilima treba tek nekoliko minuta da se stvrdnu, a postoje i ona ljepila kojima treba i više od 48 sati za potpuno stvrdnjavanje, iz tih razloga bitno je pročitati upute proizvođača. Većina ljepila su higroskopska, upijaju vlagu pa se mjerno mjesto može zaštititi posebnim premazima, koja mogu omogućiti i mjerenje naprezanja pod vodom.<sup>[4]</sup>

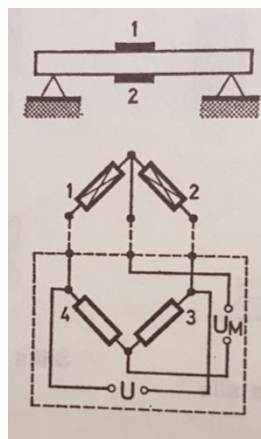
## 2.5.4. POVEZIVANJE RASTEZNIH OSJETILA U WHEATSTONEOV MOST

Osjetila spojena u Wheatstoneov most mogu biti aktivna i pasivna osjetila. Aktivna osjetila su ona izložena deformaciji, dok pasivna nisu izložena deformaciji. Pasivna osjetila mogu biti zamijenjena i običnim otpornicima ukoliko nije potrebno provesti temperaturnu kompenzaciju. <sup>[4]</sup>



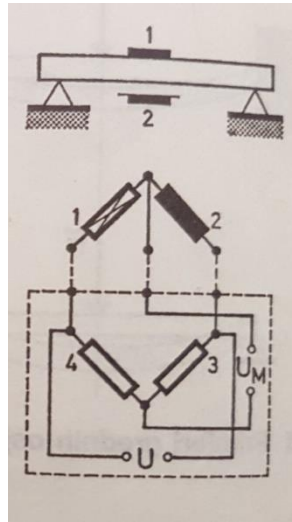
Slika 20. Puni most <sup>[4]</sup>

Na slici 20. prikazano je mjerenje s četiri aktivna osjetila spojena u Wheatstoneov most. Osjetila 1 i 3 opterećena su tlačno, dok su osjetila 2 i 4 opterećena vlačno, takav spoj osjetila međusobno podupire jedan drugog, što ima za posljedicu najveću osjetljivost mjernih pretvornika sile. Takav spoj naziva se punim mostom. <sup>[4]</sup>



Slika 21. Polumost <sup>[4]</sup>

Na slici 21. prikazano je mjerenje s dva aktivna osjetila, od kojih je jedan opterećen vlačno, a drugi tlačno. Osjetljivost ovakvog mosta je manja, pa se taj spoj naziva polumost. <sup>[4]</sup>



Slika 22. Spoj četvrt-mosta <sup>[4]</sup>

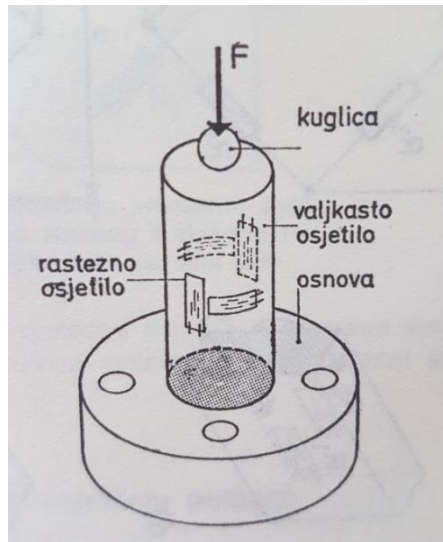
Slika 22. prikazuje most s jednim aktivnim (1) i jednim pasivnim (2) osjetilom. Pasivno osjetilo služi za temperaturnu kompenzaciju. Kako bi pasivno osjetilo provelo što bolje temperaturnu kompenzaciju mora biti smješteno na mjesto s jednakim temperaturnim uvjetima kao i aktivno osjetilo. Ovakav spoj naziva se četvrt-mostom. <sup>[4]</sup>

Zbog moguće pogreške uzrokovane promjenom hvatišta sile većina pretvornika sile gradi se sa stupčastim osjetilom valjkastog oblika s rasteznim osjetilima naprezanja. Na slici 23. se vidi da je mjerena sila primijenjena u okomitom smjeru preko kuglastog ležaja kako bi se ostvarilo točkasto opterećenje osjetila i spriječile moguće pogreške u mjerenju zbog promjene hvatišta sile. <sup>[4]</sup>

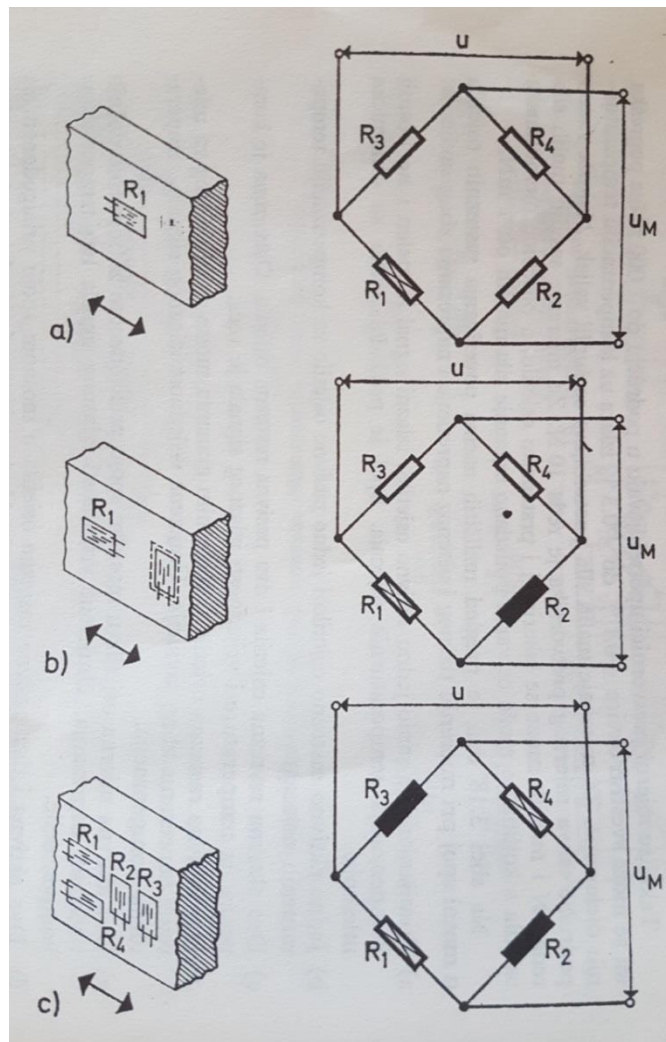
Tako izvedeni mjerni pretvornici sile upotrebljavaju se u području do 1000 kN, a pogreška im se može svesti u granice od  $\pm 0,1\%$  do  $\pm 0,3\%$  izlaza uz kompenzaciju temperaturnih djelovanja. <sup>[4]</sup>

Ovisno o potrebama mjerenja, potrebi za temperaturnu kompenzaciju i vrsti opterećenja imamo više načina povezivanja rasteznih osjetila u mosni spoj pri mjerenju. Kod mjerenja sile kompresije u tabletiranju pojavljuju se tlačna naprezanja. Zbog toga se razmatraju samo načini povezivanja osjetila u mosni spoj pri mjerenju tlačnih naprezanja. <sup>[4]</sup>





Slika 23. Valjkasto osjetilo sile s rasteznim osjetilima <sup>[4]</sup>



Slika 24. Načini povezivanja rasteznih osjetila u mosni spoj pri mjerenju tlačnog napreznja <sup>[4]</sup>

Na slici 24. prikazana su tri primjera povezivanja rastezних osjetila u mosni spoj <sup>[4]</sup>:

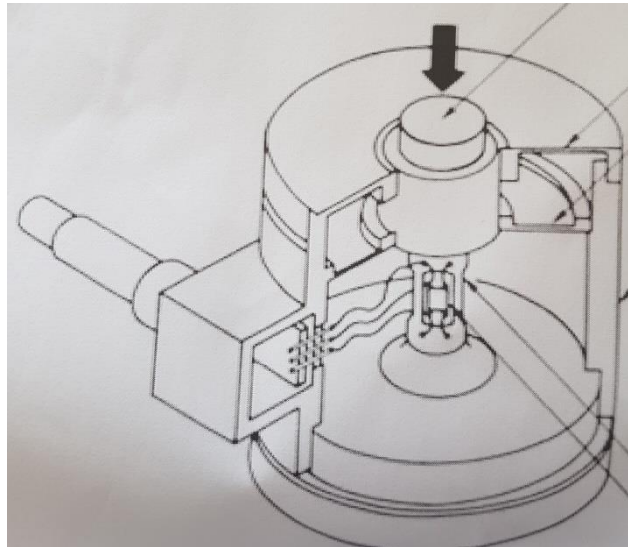
a) primijenjeno je samo jedno aktivno osjetilo, izlazni signal je malen i ne postoji temperaturna kompenzacija, prikladan je za dinamičke procese;

b) prikazuje povezivanje u mosni spoj jednog aktivnog rasteznog osjetila za mjerenje naprežanja i jednog pasivnog osjetila za kompenzaciju temperaturnih utjecaja;

c) povezana su dva aktivna rastezna osjetila i dva pasivna rastezna osjetila, ostvarena je kompenzacija temperaturnih utjecaja i vrijednost izlaznog signala je veća.

## **2.6. MJERENJE SILE KOMPRESIJE U TABLETIRANJU**

Pri tabletiranju u ekscentarskoj tabletirki sila kompresije se primjenjuje putem gornjeg klipa. Proces komprimiranja uzrokuje vrlo malu elastičnu deformaciju klipova, te su pogodni za primjenu otporničkih, odnosno rastezних osjetila za mjerenje sile klipova. Osjetilo mora biti čvrsto vezano za držač klipa kako bi pri njegovom kretanju pratio promjenu primijenjenog pritiska. Prilikom povećanja primijenjenog pritiska žičnim rasteznim osjetilima se smanjuje dužina, a površina poprečnog presjeka povećava, što ima za posljedicu smanjenje otpora. Za mjerenje otpora primijenjen je Wheatstoneov most čiji izlazni signal može biti jakost struje ili napon proporcionalan primijenjenoj sili kompresije. Uklanjanje temperaturnog doprinosa promjeni otpora može biti izvedeno postavljanjem pasivnog rasteznog osjetila na nedeformirani dio tabletirke sličnog toplinskog kapaciteta i temperature (u blizini klipova) kao i dio na kojem se nalazi aktivno rastezno osjetilo. Kako bi se povećala osjetljivost mjernog sustava postavlja se više rastezних osjetila. Osjetila moraju biti postavljena što bliže mjestu kompresije kako bi iznos izmjerene sile bio što vjerodostojniji i kako bi se omogućila što lakša analiza podataka. Kod ekscentarskih tabletirki držač donjeg klipa može biti napravljen tako da sadrži osjetilo sile, negativna strana ovog načina je izbacivanje gotove tablete, odnosno pomicanje donjeg klipa prema gore.<sup>[1]</sup>



Slika 25. Izvedba valjkastog osjetila sile s rasteznim osjetilima

Postoje i gotovi proizvodi namijenjeni za mjerenje sile kompresije. Izvedba valjkastog osjetila s rasteznim osjetilima (slika 25.) je primjer gotovog proizvoda primjenjivog na ekscentarskim tabletirkama. Mjerenje se izvodi tako da proizvod dođe na mjesto donjeg klipa, gornji klip udara o proizvod. Ovisno o sili kompresije dolazi do elastičnog naprezanja u proizvodu koje rastezna osjetila povezana s Wheatstonovim mostom registriraju kao smanjenje otpora.

### 3. ZAKLJUČAK

Mjerenje sile kompresije u tabletiranju važno je zbog strogih propisa kontrole kvalitete tableta i željenog učinka tablete u određenom dijelu organizma. Čvrstoća i poroznost tablete direktno ovise o primijenjenoj sili kompresije. Karakteristike poput vremena otpuštanja ljekovite tvari, vremena aktivacije i stabilnosti tablete, indirektno preko čvrstoće i poroznosti, također ovise o primijenjenoj sili kompresije.

U industriji se za izradu tableta najčešće primjenjuju rotacijski strojevi prvenstveno zbog velikog kapaciteta proizvodnje. U njima se sila kompresije primjenjuje putem gornjeg i donjeg klipa istovremeno što rezultira jednakom čvrstoćom tablete. Ekscentarske tabletirke, za razliku od rotacijskih strojeva, primjenjuju silu kompresije samo putem gornjeg klipa. Nejednaka čvrstoća i mali kapacitet proizvodnje tableta su razlozi manje zastupljenosti ove vrste tabletirke u industriji, no zbog manjih dimenzija i jednostavnije izvedbe, ekscentarska tabletirka prigodna je za laboratorijska ispitivanja i istraživanja.

Za mjerenje sile kompresije kod ekscentarskih tabletirki najbolje se pokazala primjena rasteznih osjetila. Mjerenje sile kompresije ostvareno primjenom dva aktivna rastezna osjetila postavljenih vertikalno i dva pasivna rastezna osjetila postavljenih okomito, po mogućnosti na gornji klip ili ako nije moguće na držač gornjeg klipa, kako bi se postigla najveća osjetljivost mjernog mosta i otklonio utjecaj temperature na promjenu otpora u rasteznim osjetilima. Za analizu kvalitete tablete od velikog značaja je poznavanje sile kompresije donjeg klipa, odnosno sile koja djeluje na donji klip. Izvedba mjerenja sile na donjem klipu je izvedena isto kao i na gornjem klipu. Poznavanje tih veličina omogućuju izračunavanje sile potrošene za komprimiranje mase za tabletiranje.

Mjerenje sile na gornjem klipu (sila kompresije u tabletiranju) i sile potrošene na komprimiranje mase za tabletiranje potrebno je za kvalitetnu analizu osobina tableta kao što su poroznost, čvrstoća, vrijeme aktivacije i sl.

## 4. SIMBOLI

$a$  – akceleracija,  $\text{m/s}^2$

$A$  – površina poprečnog presjeka,  $\text{m}^2$

$\beta$  – Poissonov koeficijent

$\gamma$  – koeficijent promjene otpora u ovisnosti o naprezanju

$D$  – promjer matrice,  $\text{m}$

$\varrho$  – specifični otpor,  $\Omega \text{ m}$

$E$  – koeficijent elastičnosti,  $\text{kg/m s}^2$

$\mathcal{E}$  – poroznost

$\varepsilon$  – deformacija,  $\text{m/m}$

$F$  – sila,  $\text{N}$

$F_a$  – sila gornjeg klipa,  $\text{N}$

$F_b$  – sila donjeg klipa,  $\text{N}$

$F_d$  – sila trenja,  $\text{N}$

$F_x$  – radijalna sila,  $\text{N}$

$l$  – visina punjenja,  $\text{m}$

$L$  – visina tablete,  $\text{m}$

$m$  – masa,  $\text{kg}$

$\mu$  – koeficijent trenja

$\eta$  – omjer radijalnog i aksijalnog opterećenja

$R$  – otpor,  $\Omega$

$s$  – osjetljivost rasteznog osjetila

$S$  – osjetljivost mjernog pretvornika

$p$  – količina gibanja,  $\text{kg m/s}$

$p_a$  – primjenjeni tlak,  $\text{Pa}$

$p_b$  – prijenosni tlak,  $\text{Pa}$

$t$  – vrijeme,  $\text{s}$

$V$  – volumen tablete,  $m^3$

$V_r$  – relativni volumen,  $m^3$

$V_s$  – volumen punjenja,  $m^3$

$\sigma_z$  – aksijalno opterećenje, Pa

$\sigma_x$  – radijalno opterećenje, Pa

$x$  – mjerna varijabla

$y$  – mjerni signal

%PMO – postotak punog mjernog opsega, %

%PO – postotak punog opsega, %

## 5. LITERATURA

- [1] Z. Zeković, Praktikum tehnologije gotovih lekova, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 2004.
- [2] M. Lalić-Popović, Tablete i kapsule, interna skripta, Medicinski fakultet, Novi Sad
- [3] G. Matijašić, Mehaničko procesno inženjerstvo – aglomeriranje, interna skripta, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016.
- [4] J. Božičević, Temelji mehanike 2, 5. izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
- [5] Hrvatski leksikon 2016.; <http://www.hrleksikon.info/definicija/pramjera.html>  
(pristup: 12. 9. 2016.)
- [6] N. Bolf, Procesna mjerenja – mjerni pretvornici, interna skripta, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016.
- [7] N. Rimac, Završni rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 2016.

## ŽIVOTOPIS

Rođen sam 13. kolovoza 1994. godine u Zagrebu. Školovanje sam započeo 2001. godine u Zagrebu u osnovnoj školi „Izidor Kršnjavi“. Po završetku osnovne škole, upisao sam X. Gimnaziju „Ivan Supek“, prirodoslovno-matematički smjer. Nakon položene državne mature upisao sam preddiplomski studij Kemijsko inženjerstvo na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Za vrijeme školovanja sudjelovao sam u mnogim izvannastavnim aktivnostima, obnašam dužnost potpredsjednika Sportske udruge FKIT-Tigrovi, aktivan član Studentskog zbora Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije. Također sam član rukometne i *futsal* selekcije FKIT-a, kao i voditelj muškog i ženskog rukometa. Posjedujem međunarodno priznatu licencu za učitelja skijanja (IVSI licenca) i voditelj sam škole skijanja „Ski klub Zagreb“.