

# Opruge u mehatronici

---

**Buljan, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Bjelovar University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:672383>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

## **Opruge u mehatronici**

Završni rad br. 09/MEH/2019

Matija Buljan

Bjelovar, listopad 2019.



**Veleučilište u Bjelovaru**

**Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar**

### 1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Buljan Matija**

Datum: 10.07.2019.

Matični broj: 001344

JMBAG: 0314013523

Kolegij: **ELEMENTI PRECIZNE MEHANIKE**

Naslov rada (tema): **Opruge u mehatronici**

Područje: **Tehničke znanosti**

Polje: **Strojarstvo**

Grana: **Proizvodno strojarstvo**

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., predsjednik
2. dr.sc. Stjepan Golubić, mentor
3. Danijel Radočaj, mag.inž.meh., član

### 2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 09/MEH/2019

U radu je potrebno:

- opisati opruge prema različitim kriterijima
- prikazati proračun opruga
- prikazati materijale za izradu opruga
- proračunati i izraditi 3D model i 2D dokumentaciju čelične tlačne opruge opterećene silom 150 N, srednjeg promjera 12 mm, za progib 15 mm
- prikazati primjere primjene (ugradnje opruga u mehatroničke elemente).

Zadatak uručen: 10.07.2019.

Mentor: **dr.sc. Stjepan Golubić**



### *Zahvala*

Zahvaljujem se svojim roditeljima što su mi omogućili studiranje te na razumijevanju i podršci pruženoj tijekom studiranja. Također bi se želio zahvaliti svom mentoru dr. sc. Stjepanu Golubiću, dipl.ing.stroj na pomoći pri izradi završnog rada.

# Sadržaj

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Uvod</b>                                  | <b>1</b>  |
| <b>2. PODJELA OPRUGA</b>                        | <b>2</b>  |
| 2.1 <i>Opruge opterećene na uvijanje</i>        | 2         |
| 2.1.1 Cilindrične opruge opterećene na uvijanje | 3         |
| 2.1.2 Ravne torzijske opruge                    | 5         |
| 2.1.3 Konične opruge                            | 6         |
| 2.2 <i>Opruge opterećene na savijanje</i>       | 7         |
| 2.2.1 Zavojne opruge                            | 7         |
| 2.2.2 Spiralne opruge                           | 7         |
| 2.2.3 Tanjuraste opruge                         | 9         |
| 2.2.4 Jednostruke ravne opruge                  | 10        |
| 2.2.5 Višeslojne lisnate opruge                 | 11        |
| 2.2.6 Protusilnici (negatori)                   | 12        |
| 2.2.7 Bimetalne opruge                          | 13        |
| 2.2.8 Membrane                                  | 15        |
| 2.2.9 Valoviti cjevasti mjevovi                 | 16        |
| 2.2.10 Cijevne opruge                           | 17        |
| 2.3 <i>Vlačno-tlačne opruge</i>                 | 17        |
| 2.3.1 Prstenaste opruge                         | 17        |
| 2.4 <i>Gumene opruge</i>                        | 18        |
| <b>3. KARAKTERISTIKE, SPAJANJE I RAD OPRUGA</b> | <b>21</b> |
| 3.1 <i>Karakteristike opruga</i>                | 21        |
| 3.1.1 Krutost opruge                            | 21        |
| 3.1.2 Rad opruga                                | 22        |
| 3.2 <i>Spajanje opruga</i>                      | 23        |
| 3.2.1 Serijski spoj opruga                      | 23        |
| 3.2.2 Paralelni spoj opruga                     | 25        |
| 3.2.3 Kombinirani spoj opruga                   | 26        |
| <b>4. MATERIJALI ZA IZRADU OPRUGA</b>           | <b>27</b> |
| <b>5. PRORAČUN OPRUGA</b>                       | <b>30</b> |
| 5.1 <i>Lisnate opruge</i>                       | 30        |
| 5.2 <i>Zavojna fleksijska opruga</i>            | 30        |
| 5.3 <i>Cilindrične torzijske opruge</i>         | 32        |
| 5.3.1 Hladno oblikovane tlačne opruge           | 32        |
| 5.3.2 Tlačne opruge od okruglih šipki           | 33        |
| 5.3.3 Vlačne opruge od okrugle žice             | 34        |
| 5.3.4 Proračun vlačnih i tlačnih opruga         | 34        |
| 5.4 <i>Ravne šipkaste torzijske opruge</i>      | 35        |
| 5.5 <i>Gumene opruge</i>                        | 36        |
| <b>6. PRIMJER PRORAČUNA OPRUGE</b>              | <b>37</b> |
| 6.1 <i>Skica i model opruge</i>                 | 39        |
| <b>7. PRIMJENA OPRUGA U MEHATRONICI</b>         | <b>41</b> |
| <b>8. ZAKLJUČAK</b>                             | <b>46</b> |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| <b>9. LITERATURA .....</b> | <b>47</b> |
| <b>10. SAŽETAK.....</b>    | <b>48</b> |
| <b>11. ABSTRACT .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>12. PRILOZI.....</b>    | <b>52</b> |

## 1. Uvod

Opruge su strojni elementi čija je svrha elastično spajanje elemenata nekoga sklopa. Svojstva takvoga spoja omogućavaju da se spojeni elementi približavaju ili udaljavaju prilikom djelovanja sile na oprugu, a nakon prestanka njenog djelovanja povrate u prvotni položaj. Takva elastična deformacija pretvara mehanički rad doveden na oprugu u potencijalnu energiju i obratno. Zbog ovih svojstava opruge su pronašle široku primjenu u mnogim sklopovima. Najčešće primjene opruga su amortizacija udara ili rada, ograničavanje sila i ravnomjerna raspodjela opterećenja [1,2,3,4,5].

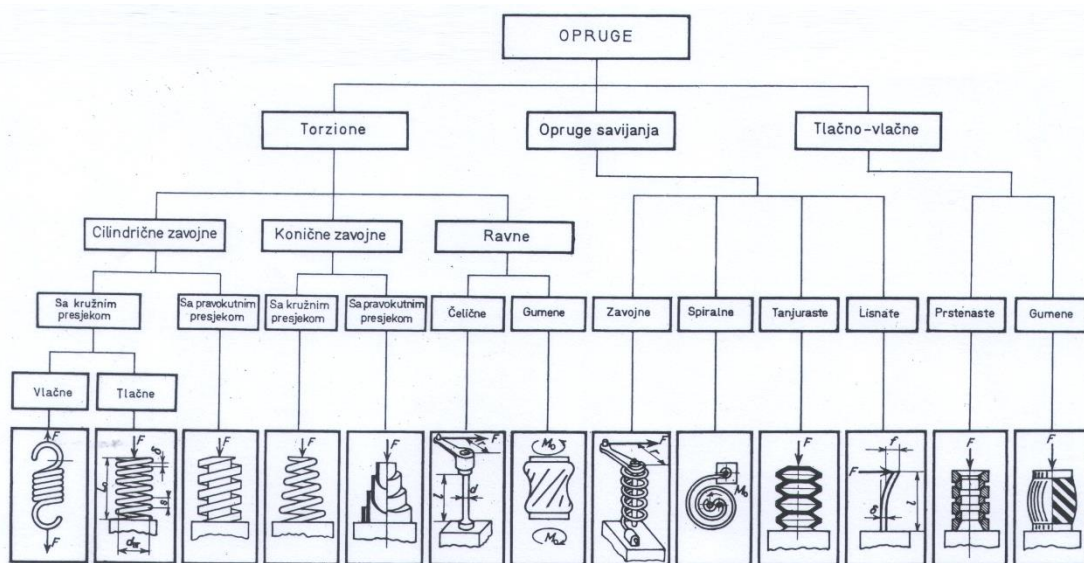
Kako bi se postigla tražena svojstva materijali potrebni za izradu opruge trebaju posjedovati dovoljno veliku elastičnost. Materijali koji su pretežito u uporabi su metali (čelici, mjedi) ali se također koriste i polimerni materijali. Svojstva opruge ovise o mehaničkim karakteristikama materijala od kojega su izrađene, a njihovo djelovanje može se opisati radnom karakteristikom opruge [2,6,7].

## 2. PODJELA OPRUGA

U praktičnoj uporabi postoji veliki broj različitih tipova opruga, stoga je potrebno napraviti podjelu po vrstama. Najčešća metoda podjele opruga u mehanici je prema vrstama opterećenja koje djeluju na oprugu. Tom podjelom razlikujemo slijedeće tipove opruga:

- a) Torzione opruge
- b) Opruge savijanja
- c) Tlačno-vlačne opruge

Svaka od tih kategorija također sadrži svoje podjele s obzirom na materijale ili oblik izvedbe opruge, npr. torzione opruge imaju podvrstu ravnih opruga a one mogu biti čelične ili gumene.



Slika 2.1 Podjela opruga [3]

### 2.1 Opruge opterećene na uvijanje

Torzijske opruge su opruge koje su primarno opterećene na uvijanje (torziju). Torzijske opruge se po izvedbi dijele na cilindrične, konične i ravne opruge. S obzirom na opterećenje postoji podjela na tlačne i vlačne opruge [1, 5].



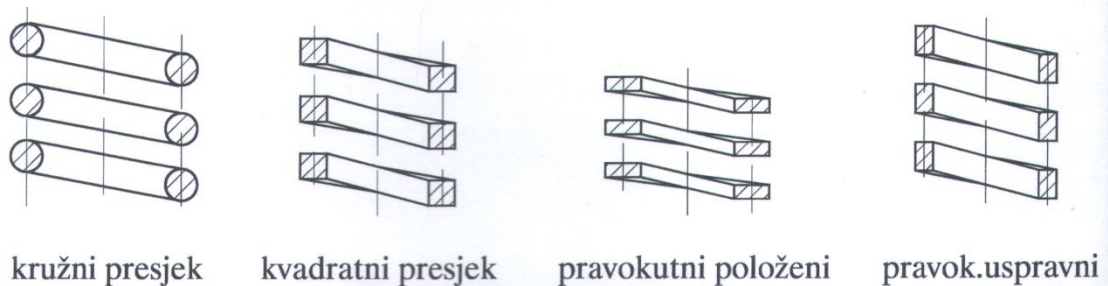
### 2.1.1 *Cilindrične opruge opterećene na uvijanje*

Cilindrične opruge su najčešće korištena vrsta opruga opterećenih na torziju. Kod ovih opruga postoje podjele prema obliku žice korištene za izradu opruge, namotu žice i vrsti opterećenja koje djeluje na oprugu [1].

S obzirom na oblik žice opruge se dijele na:

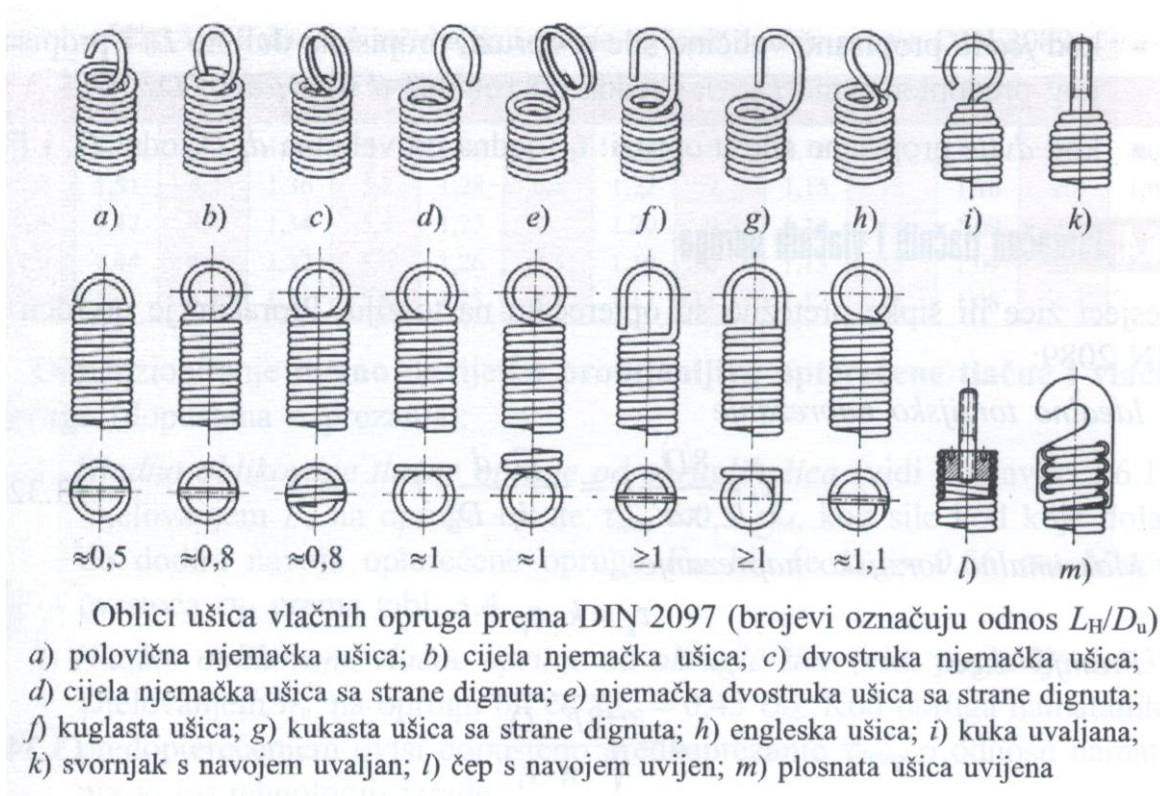
- a) Opruge s kružnim presjekom
- b) Kvadratnim presjekom
- c) Pravokutnim položenim presjekom
- d) Pravokutnim uspravnim presjekom

Po obliku žice koja se koristi za izradu, opruge se mogu podijeliti na:



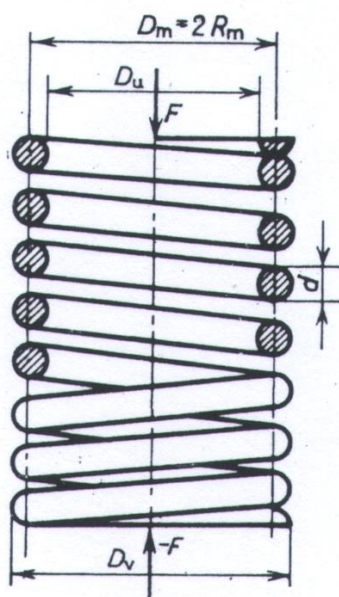
Slika 2.2 Presjek žice za izradu opruga opruga [2]

Po obliku opruge se dijele na cilindrične, konične, dvostruko konične, bačvaste i opruge s nejednolikim korakom., dok se prema smjeru namatanja žice dijele na desnovojne i lijevovojne opruge [1].



Slika 2.3 Oblik završetaka opruge [4]

Cilindrične vlačne opruge se učvršćuju primjenom ušica ili kukova pri manjim opterećenjima, dok se za veća opterećenja koriste čepovi sa žlijebovima u koje se uvrću krajevi opruga [1, 2].

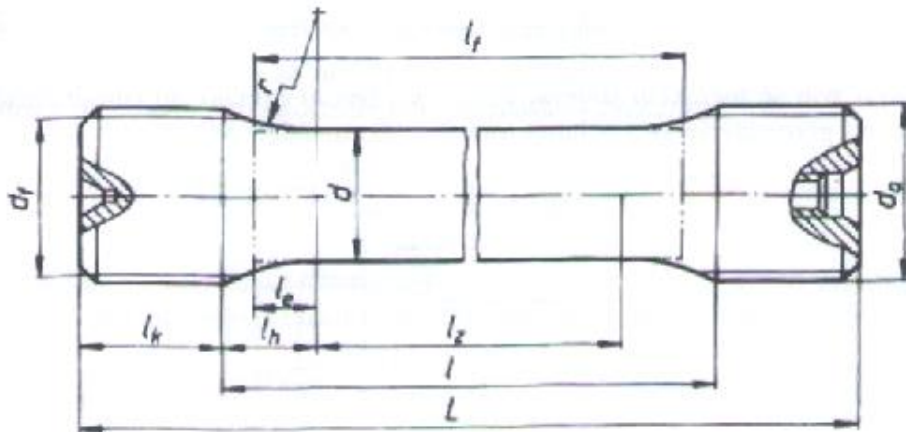


Slika 2.4 Krajevi cilindričnih tlačnih opruga [2]

Kod tlačne izvedbe opruga sa brušenim krajevima ukupni broj zavoja je jednak potrebnom broju zavoja i dodatnih 0,75 zavoja po kraju opruge (1,5 dodatnih zavoja po opruzi) koji se ne broje u radne zavoje. Kako bi se opruga mogla deformirati (skraćivati) potrebna je zračnost između radnih namota. Za razliku od tlačne izvedbe kod vlačnih opruga zračnost nije potrebna pošto su svi zavoji radni [5].

### 2.1.2 Ravne torzijske opruge

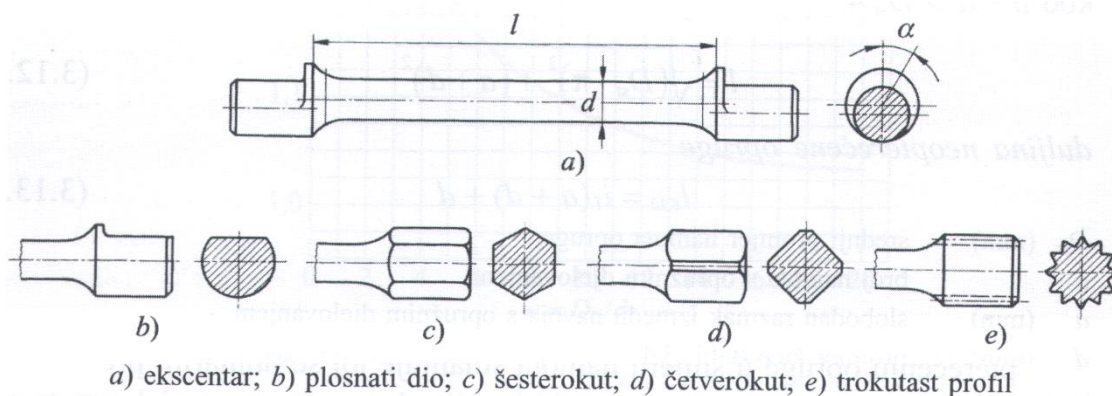
Ravne ili šipkaste opruge opterećene na torziju elementi su kod kojih opuštenje nastaje uvijanjem njihovog srednjeg otanjenog dijela kružnog presjeka [3].



Slika 2.5 Ravna torzijska opruga (torzijski štap) [2]

S obzirom na presjek torzijske opruge se dijele na ravne i opruge sa kružnim presjekom. Krajevi torzijskog štapa izvedeni su sa odebljanim glavama radi ugradnje. Najčešću primjenu ravne opruge pronalaze u mjerenju sila pritezanja i prigušivanju vibracija u vozilima [1,4].

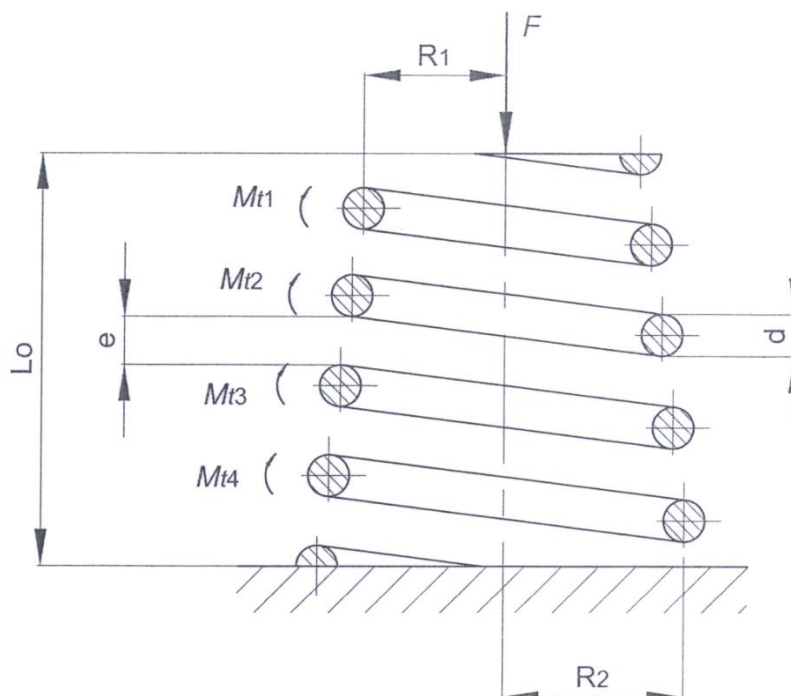
Vrste završetaka (glava) opruga prikazane su na slici 2.6:



Slika 2.6 Završetci ravnih torzijskih opruga (torzijski štap) [4]

### 2.1.3 Konične opruge

Konične ili stožaste zavojne opruge su rjeđe korištena skupina cilindričnih opruga. Glavno svojstvo ove skupine opruga je mogućnost posjedovanja progresivne karakteristike. To svojstvo nastaje zbog toga što se kod aksijalnih opterećenja ove opruge nejednolično deformiraju u smjeru djelovanja sile. Dolazi do povećanja momenta opruge u smjeru povećanja promjera tijela što ishodi većim progibom u tom smjeru [3].

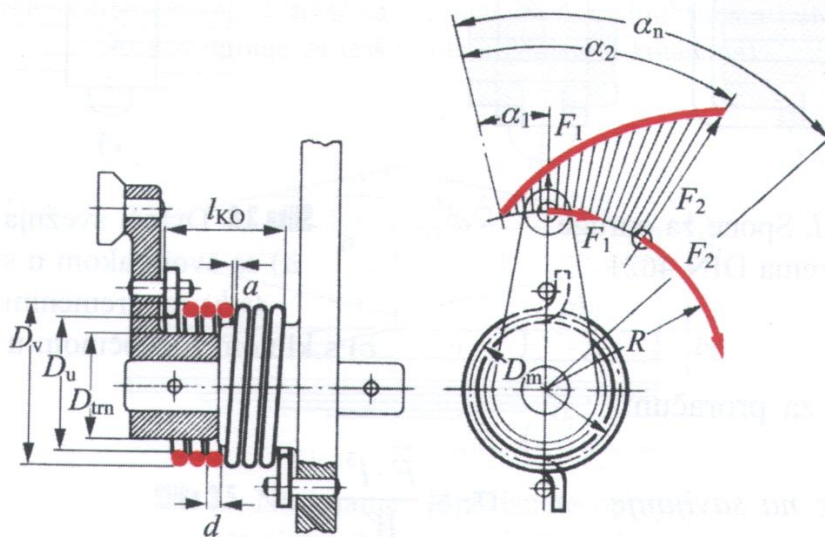


Slika 2.7 Konična opruge [5]

## 2.2 Opruge opterećene na savijanje

### 2.2.1 Zavojne opruge

Zavojne opruge su elementi iz skupine opruga opterećenih na savijanje. Izrađene su u obliku valjkaste zavojnice čiji su krajevi produljeni radi zahvata elementa. Jedan od krajeva mora se ugraditi tako da mu se osigura nepomičnost, što se često izvršava pomoću zatika. Produžetci mogu imati završetke oblikovane prema potrebi sklopa u koji će se postaviti. Ova vrsta opruga često sadrži i osovinu koja služi kao vodilica [3, 5].

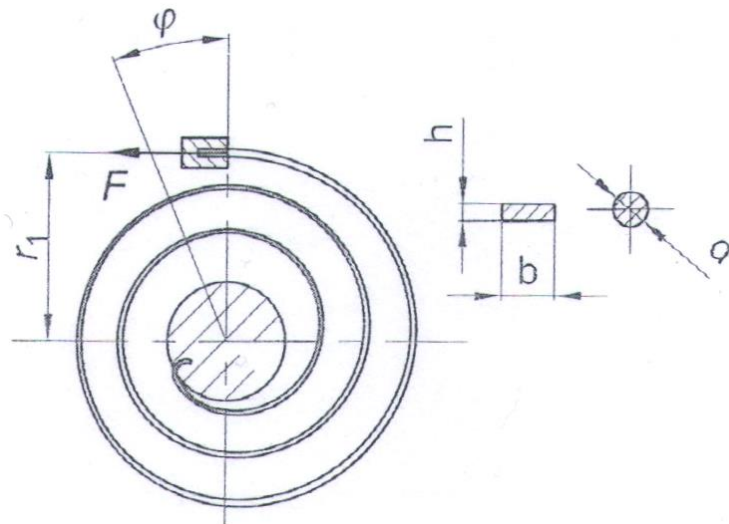


Slika 2.8 Zavojna opruga [5]

Najčešće primjene ove opruge se nalaze u osiguravanju povratnog hoda u različitim mehanizmima, npr. kod poluzica, štipaljki, sklopki, CD-ROM pogonima, šarkama na vratima, itd [3, 4, 5].

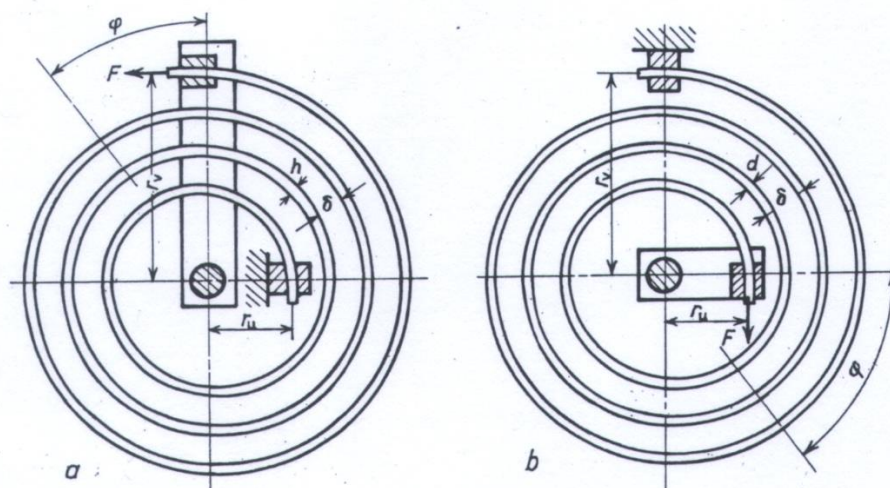
### 2.2.2 Spiralne opruge

Spiralne opruge su opruge opterećene na savijanje izrađene u obliku (Arhimedove) spirale jednakih razmaka između zavoja. Oblik poprječnog presjeka je najčešće pravokutnog oblika no može biti i kružni. Unutrašnji kraj ove opruge se nepomično ugrađuje dok je vanjski kraj moguće i zgloбно vezati za sklop, što se rjeđe primjenjuje [5].



Slika 2.9 Spiralna opruga [2]

Ove opruge su opterećene momentom  $M$  čiji je uzrok sila navijanja  $F$  i pritom opruge funkcioniraju kao spremnici potencijalne energije. Jedan kraj ovih opruga je nepomičan a drugi se zakreće. Sila  $F$  zakreće osovinu ako je vanjski kraj nepomičan ili vanjski kraj opruge kada je unutarnji kraj nepomičan. Zbog ovih svojstava spiralne opruge najčešću primjenu pronalaze kao spremnici energije kod satnih mehanizama, dok se također često koriste i kod kazaljki analognih električnih mjernih instrumenata [5].

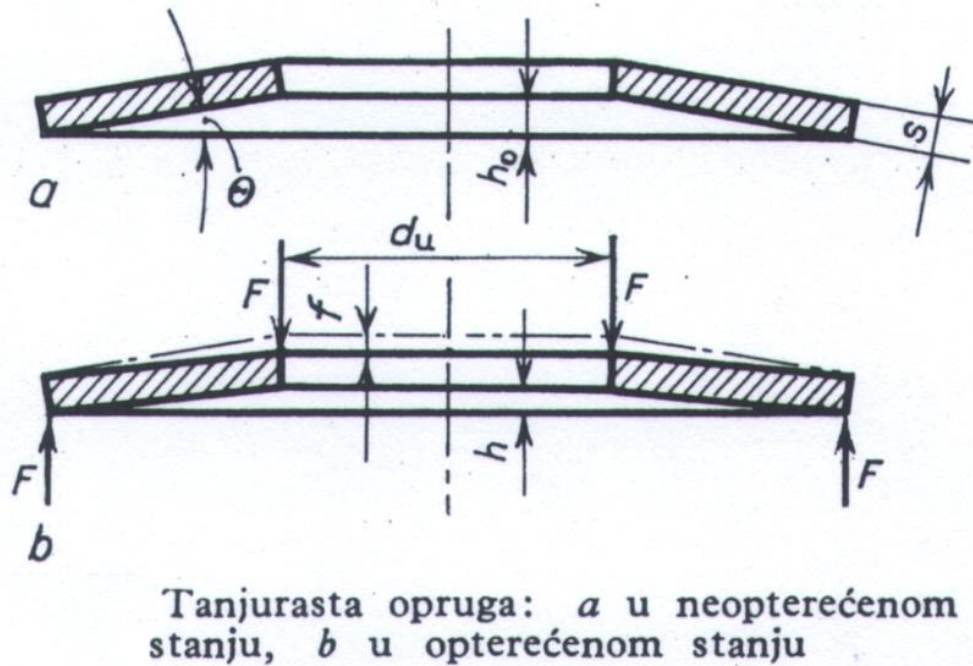


Učvršćenje spiralnih opruga: *a* unutarnji kraj opruge učvršćen, vanjski pokretljiv, *b* vanjski kraj opruge učvršćen, unutarnji pokretljiv

Slika 2.10 Izvedbe spiralne opruge [2]

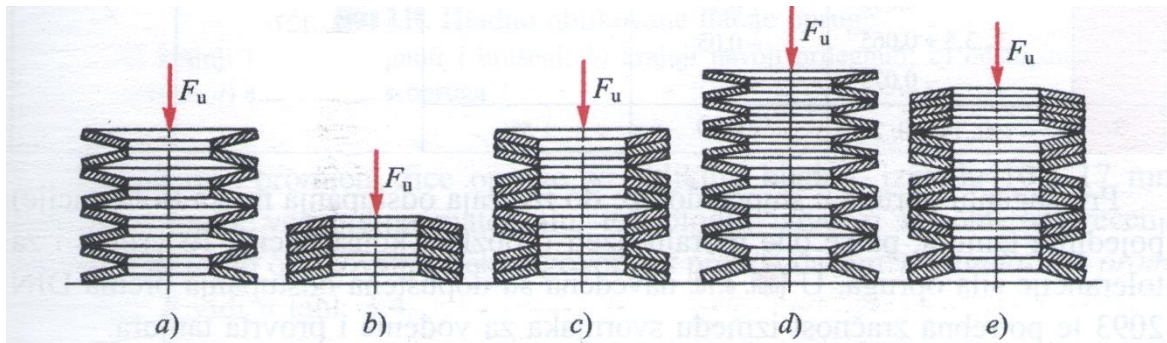
### 2.2.3 Tanjuraste opruge

Tanjuraste su opruge opterećene na savijanje koje zbog svojih sastavnih elemenata oblikom slične tanjuru bez dna. Prilikom aksijalnog opterećenja ove opruge smanjuju svoju visinu i postaju plosnatije. Karakteristika ovih opruga zbog njihovog disproporcionalnog naprezanja na rubovima je konkavna s obzirom na os  $x$  [2, 5].



Slika 2.11 Tanjurasta opruga [2]

Prednost ovih opruga su njihove male dimenzije (često 30 do 300 mm), mali progib kod velikih opterećenja, mogućnost spajanja serijski i paralelno, izdržljivost i dobro prigušivanje vibracija. Najčešće izvedbe ove opruge su sa pravokutnim presjekom no važno je spomenuti i varijante sa trapeznim presjekom. Glavne primjene ovih opruga su kod tarnih spojki i sklopova za prigušivanje npr. odbojnika [1, 3].



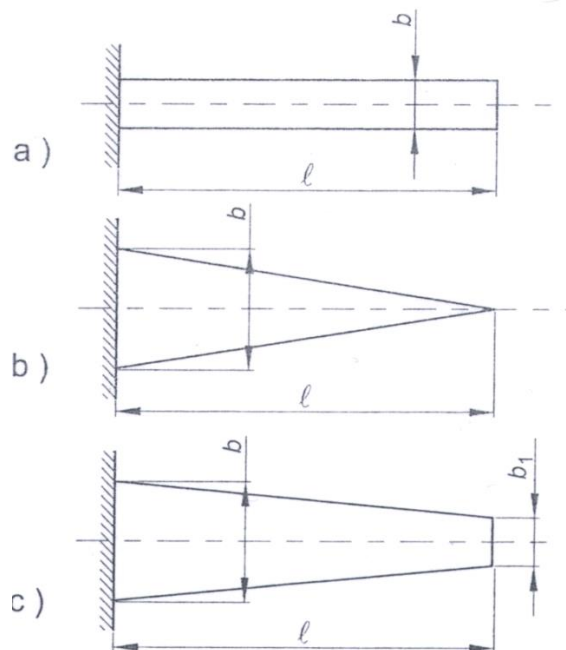
Slaganje tanjura u stupove

a) jednaki tanjuri izmjenično; b) jednaki tanjuri u istom smjeru; c) jednaki tanjuri izmjenično u paketima; d) različite debljine tanjura izmjenično; e) različite debljine tanjura izmjenično u paketima

Slika 2.12 Međusobno slaganje tanjurastih opruga [2]

#### 2.2.4 Jednostruke ravne opruge

Jednostruke ravne opruge su opruge opterećene na savijanje izvedene u obliku lista. S obzirom na broj uklještenja mogu biti jednokrake ili dvokrake. Opterećenje sile se neravnomjerno raspoređuje po opruzi, to jest kod pravokutnog presjeka opruge ono se smanjuje od mjesta uklještenja do hvatišta sile. Kako bi se postigla bolja opteretivost opruge postoje izvedbe sa pravokutnim i paraboličnim presjecima [1, 3].



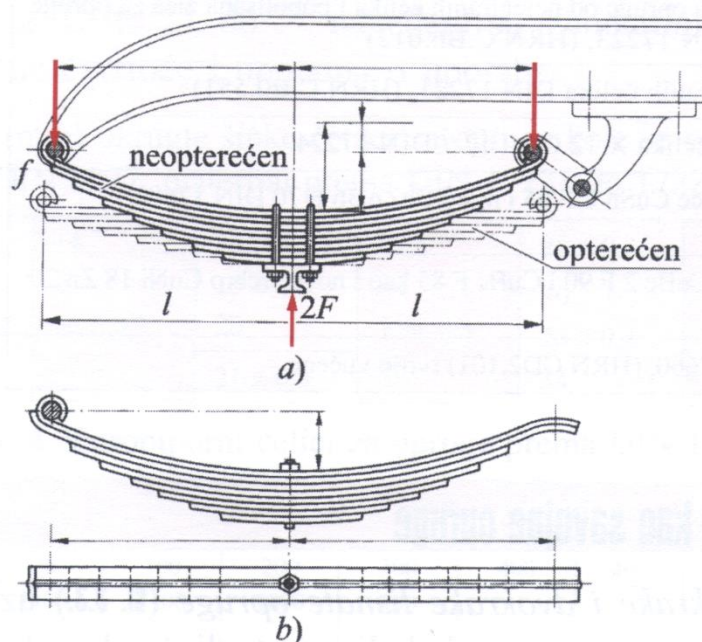
Slika 2.13 Izvedbe jednostruke ravne opruge [2]



Svoju primjenu ove opruge su pronašle kod mehanizama pod manjim silama kao što su nosači kontakata, osigurači protiv okretanja i u slučaju dvostrukih kod vibracijskih stolova [1]

### 2.2.5 Višeslojne lisnate opruge

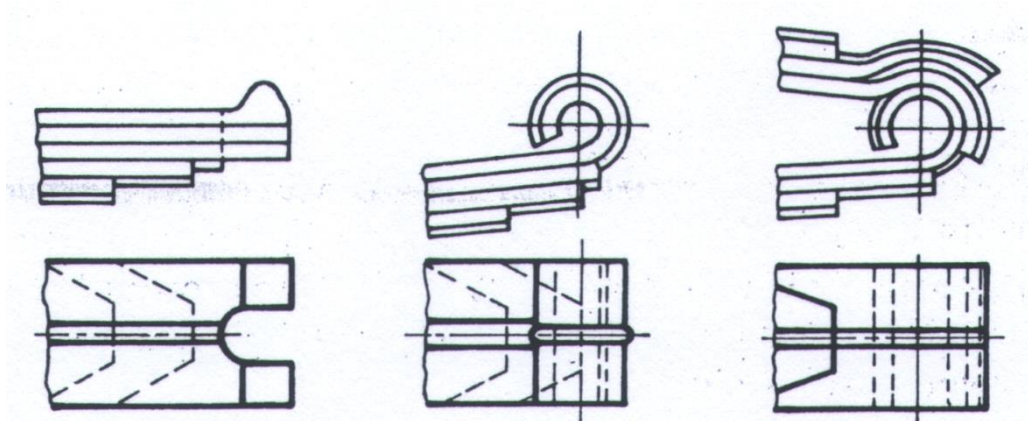
Druga vrsta lisnatih opruga su višeslojne lisnate opruge. Ove opruge se izrađuju spajanjem više slojeva materijala u obostrano trapeznom (u otpuštenom stanju paraboličnom) obliku. Slojevi su jednake širine ali različitih duljina. Kod ovih opruga oba kraja su uklještena. Moguće je spajati ih paralelno i time povećati njihovu nosivost [1, 3].



a) držač sa stremenom; b) držač sa svornjakom u sredini, prema DIN 11747 (lisnate opruge za teška kola s gumenim kotačima)

Slika 2.14 Višeslojna lisnata opruga [4]

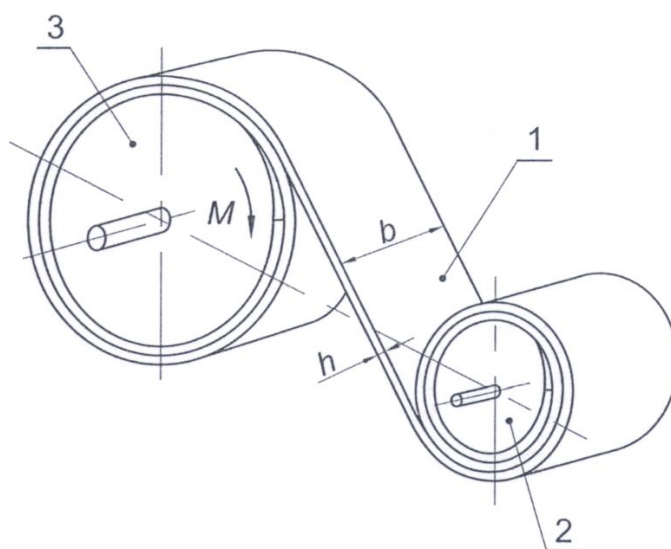
Gornji završni list (glavni list) se izvodi sa uškama različitih oblika, na koje se vezuju stremeni kojima se prenosi opterećenje od vozila na oprugu. U nekim slučajevima, kod teških vagona i sl., koji imaju posebno izgrađeno vertikalno vođenje kotača i opruga, mogu se na jednoj strani uške zamijeniti ravnim dijelovima završetka opruge [1].



Slika 2.15 Završetci višeslojne lisnate opruge [3]

### 2.2.6 Protusilnici (negatori)

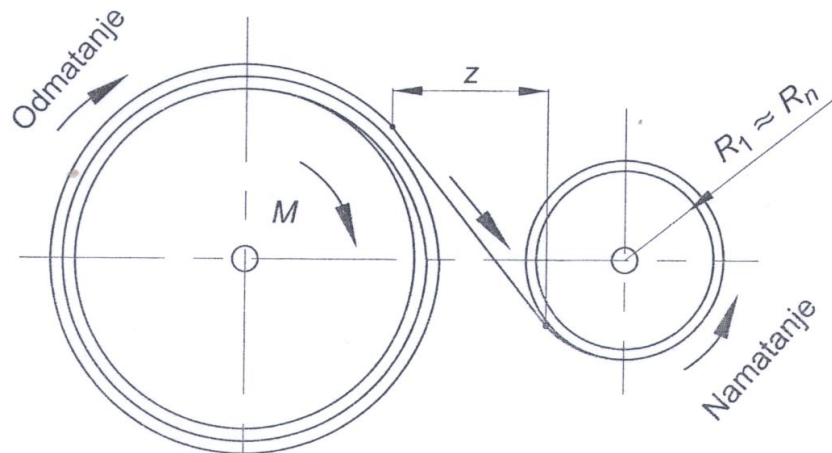
Protusilnici ili negatori su elementi iz skupine opruga opterećenih na savijanje koji se sastoje od tankog lista opruge i od jednog ili dvaju bubnjeva. Na bubanj se pričvršćuje a zatim spiralno namotava široki i glatki list opruge. Vrpca od koje se izrađuju protusilnici je pravokutnog oblika, a broj namota obično ne prelazi 60. Po preporukama omjer širine lista i debljine iznosi od 50 do 250. Protusilnici se dijele na protusilnike stalnog momenta i protusilnike stalne sile [5].



Slika 2.16 Protusilnik (negator) [5]

Protusilnik stalnog momenta sadrži dva bubnja međusobno usporednih osi, pogonski i gonjeni bubanj. Pogonski bubanj je manjeg promjera i na njega se bez razmaka između

namota pričvršćuje jedan kraj lista opruge. Pri djelovanju momenta na pogonjeni bubanj se namotava vrpca koja se zatim izravnavava, a kod bubnjeva različitih promjera mijenja se i polumjer zakrivljenosti namotaja. Nakon otpuštanja pogonjenog bubnja vrpca se vraća u prvotni položaj i stalnim zakretnim momentom okreće gonjeni bubanj [5].



Slika 2.17 Odmotavanje protusilnika [5]

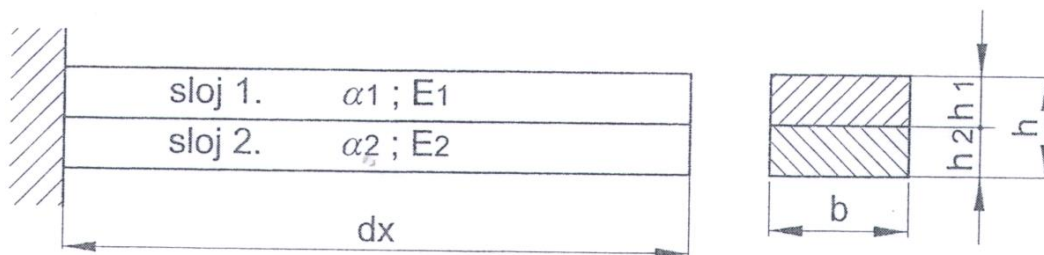
Kod protusilnika sa stalnom silom postoji jedan bubanj koji se odmotava i izravnavava prilikom djelovanja sile na kraj lista, zbog čega se ova opruga odupire stalnom silom. Sila teži da se list ponovno namota na bubanj pa se spremljena energija može predati mehanizmima [5].

### 2.2.7 Bimetalne opruge

Bimetalne opruge su metalne opruge opterećene na savijanje koje se izrađuju čvrstim spajanjem dvaju metalnih vrpca. Vrpce se međusobno spajaju zavarivanjem ili lemljenjem. Vrpce su izrađene od metala pravokutnog presjeka koji imaju različitu toplinsku širivost  $\alpha$  i usporedive module elastičnosti [5].

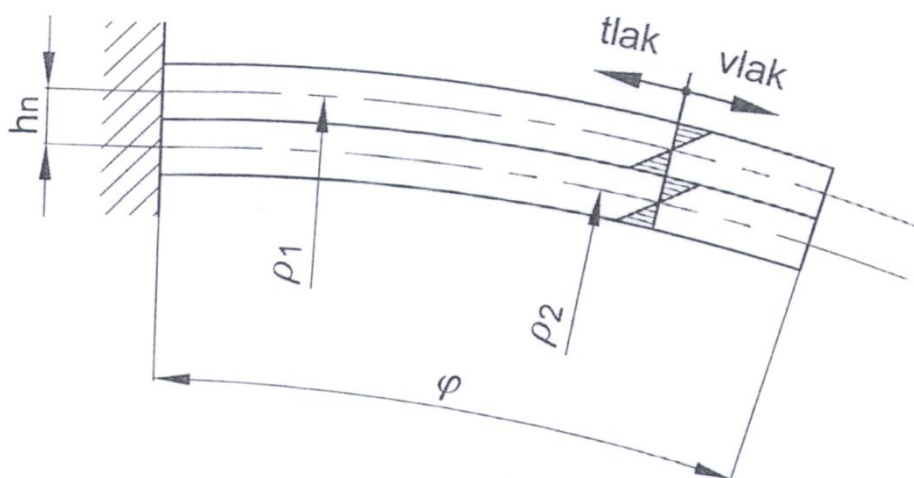
Prema obliku (izvedbi) bimetalne opruge se dijele na:

- a) bimetalne konzolne opruge
- b) bimetalne opruge s dvama osloncima
- c) bimetalne spiralne opruge
- d) bimetalne zavojne opruge
- e) savijene bimetalne opruge (pod različitim kutovima) [5]



Slika 2.18 Bimetalne opruge [5]

Deformacija bimetalne opruge može biti uzorkovana djelovanjem vanjske sile na oprugu ili promjenom temperature okoliša. Prilikom promjene temperature dolazi do deformacije zbog različite temperaturne širivosti osnovnih materijala vrpce. Zbog toga se stvaraju različita vlačna i tlačna naprezanja u slojevima što dovodi do deformacije u smjeru sloja sa manjom toplinskom širivošću [5].

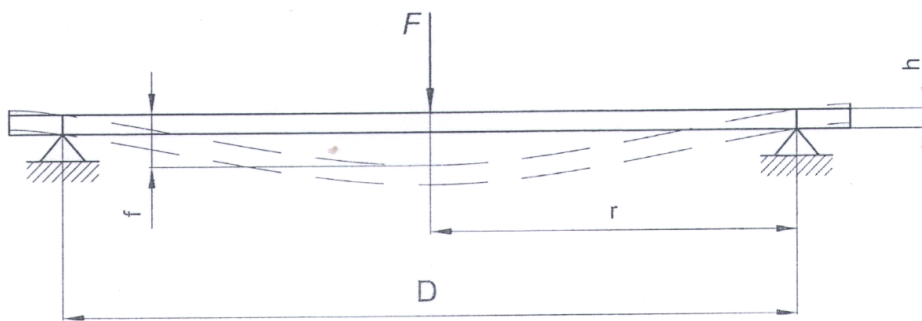


Slika 2.19 Djelovanje bimetalne konzolne opruge [2]

Zbog svoje termalne osjetljivosti ove opruge su pronašle primjene u osiguračima, raznim sklopkama, regulaciji i mjerenju temperature te raznim uređajima za mjerenje električnih veličina [5].

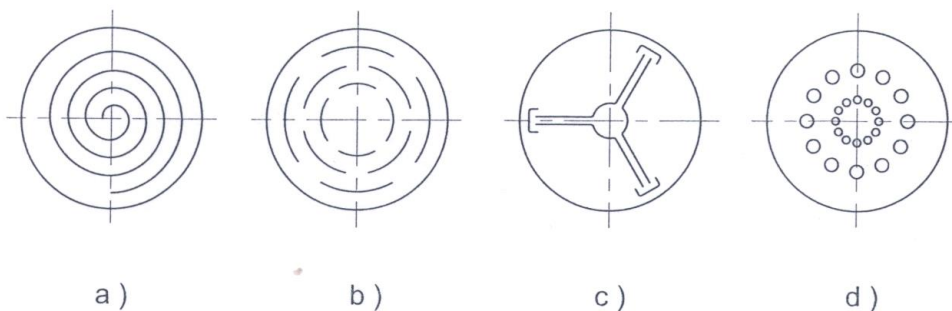
### 2.2.8 Membrane

Membrane su opruge opterećene na savijanje. Oblikom su tanke ploče oblikovane kao i otvori koje će prekriti, to jest, najčešće su okrugle. Po vrsti ploče su ravne, prorezane ili valovite. Koncentrično valovite ploče se koriste kod malog opterećenja fluidima, dok prorezane membrane služe za postizanje većeg progiba. Po načinu ugradnje dijele se na membrane sa oslonjenim rubom i membrane s ukliještenim rubom. Kod membrana oslonjenog ruba sila ne može djelovati s gornje ili donje strane za razliku od ukliještenog ruba [5].



Slika 2.20 Oslonjena ravna membrana [5]

Materijali za izradu membrana su metali ili nemetali koji posjeduju veliku elastičnost, a često se presvlače radi zaštite od korozije ili kao pregrade između fluida. Neki od materijala koje se primjenjuju su bronce, korozijski postojani čelici i slitine titana [5].



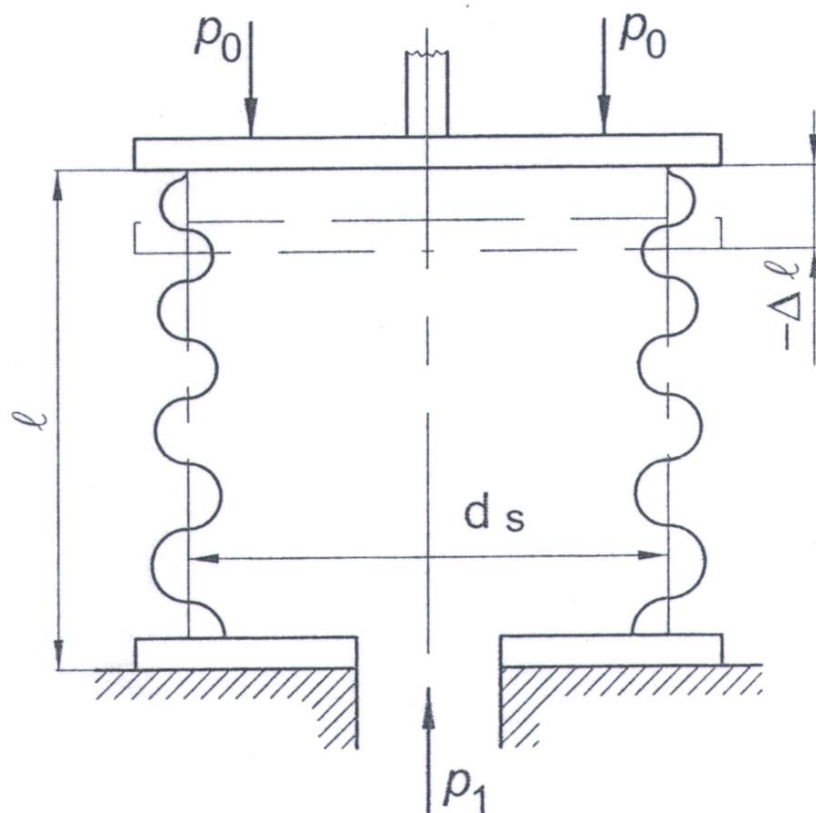
- a) sa spiralnim prorezom,
- b) s koncentričnim prorezima,
- c) s poprječnim prorezima,
- d) s rupičastim prorezima

Slika 2.21 Prorezane opruge [5]

Najčešće primjene membrane pronalaze kod audiouređaja (zvučnici, slušalice), uređaja za mjerenje sile i tlaka i regulacije razina fluida [5].

### 2.2.9 Valoviti cjevasti mjehovi

Valoviti cjevasti mjehovi su opružni elementi opterećeni na savijanje u obliku tankostijenčanih cijevi sa zatvorenim krajem. Broj nabora i debljina stijenke cijevi su ovisne o veličini tlaka fluida dovedenog u cijev. Za izradu ovih cijevi potrebni su materijali sa visokom elastičnosti i dobrom sposobnosti plastičnog oblikovanja [5].

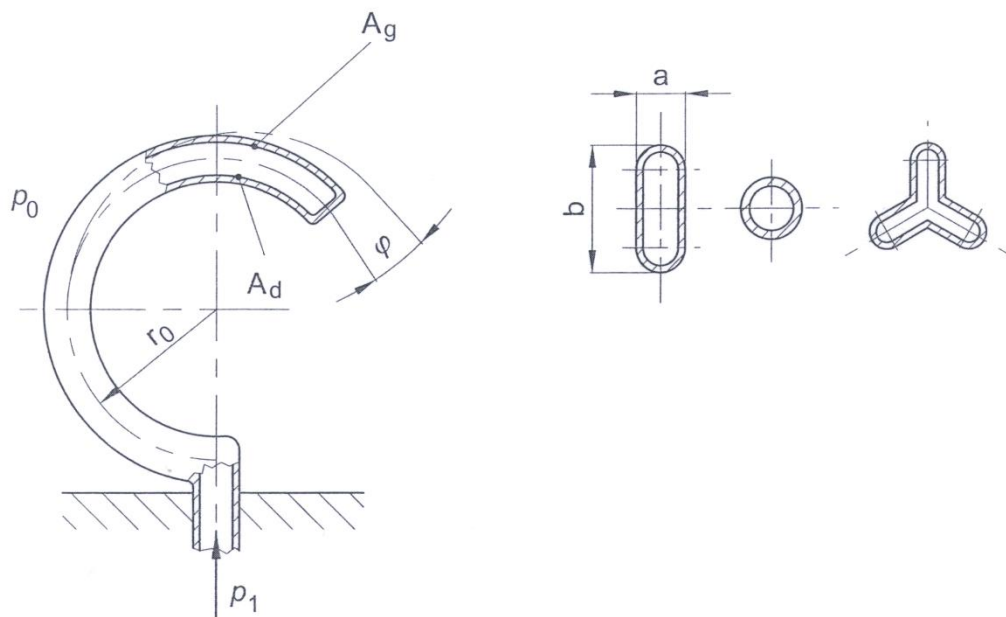


Slika 2.22 Cjevasti mjeh [5]

Valoviti cjevasti mjehovi se zbog djelovanja tlaka s unutrašnje strane izdužuju kada je taj tlak veći od okolišnog tlaka. Zbog toga svoju primjenu ova vrsta opruge pronalazi kod mjerenja i regulacije tlaka fluida i o njemu ovisnih veličina, kao i kod pogonjenih vodilica uređaja [5].

### 2.2.10 Cijevne opruge

Cijevne opruge su opruge opterećene na savijanje koje se izrađuju od cijevi različitih poprečnih presjeka kojim je jedna strana zatvorena. Najkorišteniji oblici presjeka su kružni, ovalni i trokraki. S obzirom na izvedbu postoje srpaste, spiralne, zavojne uvijene i rašljaste cijevne opruge. Srpasta cijevna opruga je najčešća izvedba ovih opruga, nastaje savijanjem cijevi u obliku srpa i lemljenjem ili zavarivanjem jednog kraja cijevi [5].



Slika 2.23 Srpasta opruga [5]

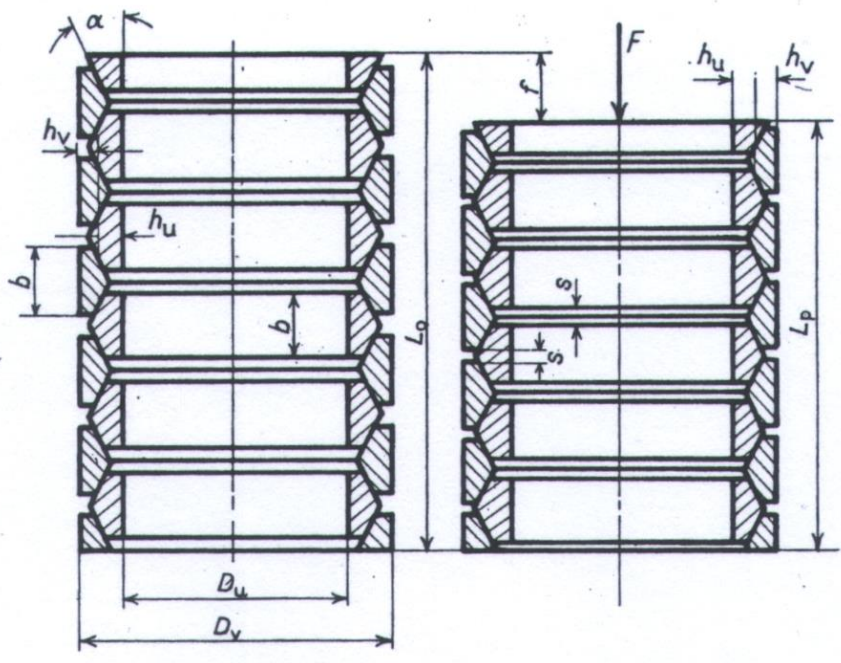
Djelovanje cijevnih opruga ovisi o razlici tlaka fluida koji se nalazi u opruzi i tlaka okoline. Smjer deformacije ovisi o izvedbi opruge, to jest, nalazi li se veća površina unutrašnjosti cijevi ispod ili iznad središta opruge. Zbog prikladnosti svog načina djelovanja primjene pronalaze kod manometara za mjerenje tlaka [5].

## 2.3 Vlačno-tlačne opruge

### 2.3.1 Prstenaste opruge

Prstenaste opruge su metalne opruge opterećene na tlak i vlak. Izrada ovih opruga se izvodi spajanjem od više elemenata, tj., vanjskih i unutrašnjih prstenova. Prstenovi imaju

međusobno dosjedne površine zakošene prema osi za kut  $\alpha$ . Izrađeni su kovanjem i valjanjem ugljičnih čelika koji su zatim termički obrađeni i brušeni [2, 3].



Slika 2.24 Prstenasta opruga [3]

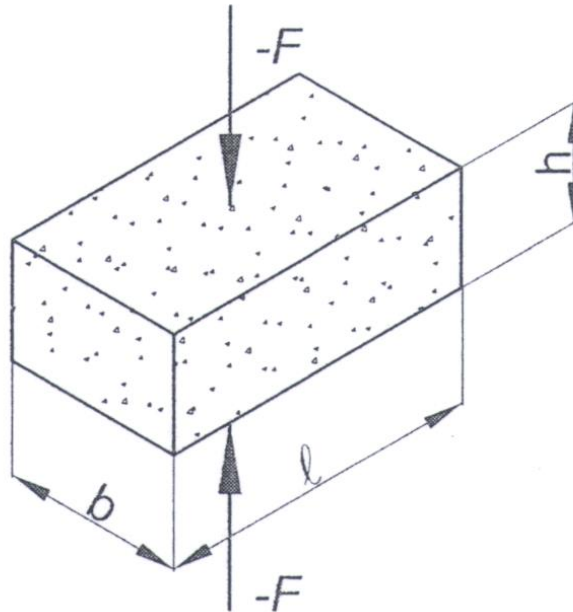
Djelovanjem sile na oprugu vanjski prsteni se proširuju a unutarnji sužuju, to jest, na unutarnjim prstenima nastaje tlačna a na vanjskim prstenima vlačna sila. Zbog međusobnog trenja koje nastaje prilikom opterećenja između prstenova dolazi do gubitaka rada te će povratna sila opruge biti manja [2, 3].

Najznačajnije primjene prstenastih opruga su kod odbojnika željezničkih vozila, kod preša i u rudarstvu i brodarstvu. Njihova glavna prednost je dugotrajan rad bez potrebe za češćim nadzorom [2].

## 2.4 Gumene opruge

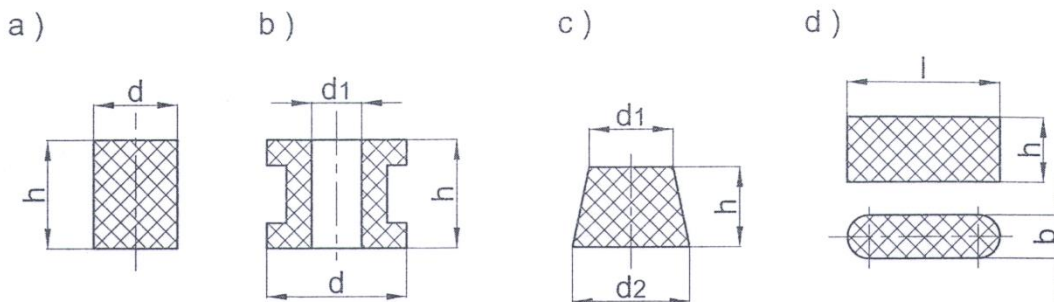
Osnova djelovanja gumenih opruga kao elastičnih elemenata je nestlačivost i sposobnost gume da se elastično deformira. Guma prilikom deformacije može promijeniti svoj oblik ali ne i volumen. Ova vrsta opruga nije pogodna za velika opterećenja i veću frekvenciju opterećivanja i rasterećivanja jer može doći do prekomjernog zagrijavanja. Zbog sposobnosti gume da se deformira u svim smjerovima i sposobnosti da prigušuje deformacije gumene opruge čestu primjenu pronalaze pri ublaživanju i udara. [4, 5]





Slika 2.25 Gumena tlačna opruga [5]

Osnovni oblici gumenih opruga jesu: valjkasta puna (a) ili šuplja (b), stožasta (c) ili gumeni blok, tj. pločasta gumena opruga (d). Gumene se opruge mogu opterećivati na tlak, vlak, uvijanje, smik (odrez), te složeno uvojno-smično. Vlačna opterećenja su nepoželjna jer ubrzavaju starenje gume [5].



- a) valjkasta puna;
- b) valjkasta šuplja;
- c) stožasta;
- d) pločasta gumena opruga (gumeni blok)
- c) stožasta;
- d) pločasta gumena opruga (gumeni blok)

Slika 2.26 Oblici gumenih opruga [5]

Mogućnost opruge da podnosi opterećenje se može povećati metalnim elementima, pločicama, cijevima ili vijcima. Ti se elementi mogu izraditi od čeličnih legura ili aluminijskih slitina, a spajaju se vuklanizacijom ili lijepljenjem [5].

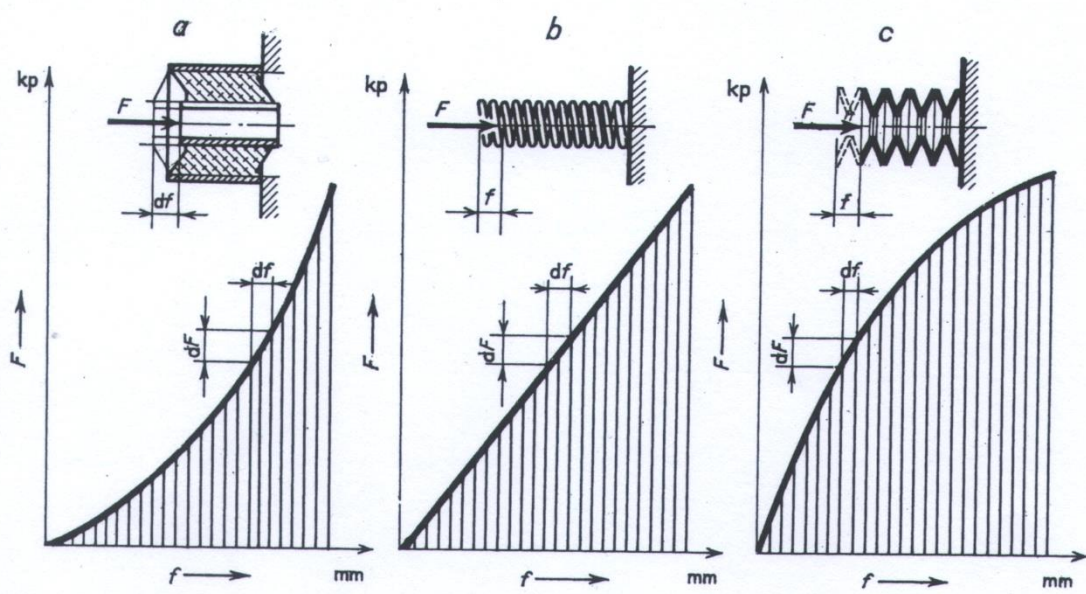
### 3. KARAKTERISTIKE, SPAJANJE I RAD OPRUGA

#### 3.1 Karakteristike opruga

Karakteristika opruge je opis ovisnosti opruge o mehaničkom opterećenju. S njom prikazujemo ovisnost između deformacije opruge i opterećenja koje na nju djeluje. Prilikom utjecaja vanjske sile na oprugu dolazi do pomaka od hvatišta sile koji se naziva opruženje ili deformacija.

Karakteristike opruga mogu biti sljedećih oblika:

- progresivne (rastuće zakrivljene)
- ravne
- ili degresivne (padajuće zakrivljene) [4].



Slika 3.1 Karakteristike opruga [2]

#### 3.1.1 Krutost opruge

Krutost opruge je omjer rasta opterećenja na opruzi i njene deformacije. Krutost opruge se mjeri u  $N/mm$  ili u  $N\ mm/radianu$ . Jednadžba za računanje krutosti opruge prikazana je u sljedećem izrazu, u kojemu  $F$  predstavlja vanjsku silu, a  $f$  deformaciju, dok je u slučaju torzijske opruge to moment  $M$  koji je potreban za savijanje luka od  $\varphi$  radijana [2,3,4].

$$c = \frac{F}{f} \quad (3.1)$$

$$c = \frac{M}{\varphi} \quad (3.2)$$

gdje je:

|           |                    |                                      |
|-----------|--------------------|--------------------------------------|
| C         | (N/mm), (N/mm/rad) | specifična sila opruge,              |
| F         | (N)                | sila opruge                          |
| f         | (mm)               | progib opruge uz silu F              |
| M         | (Nmm)              | okretni moment                       |
| $\varphi$ | (rad)              | kut uvijanja pod okretnim momentom M |

Krutost opruge je konstantna veličina kod opruga sa ravnom karakteristikom i naziva se konstanta opruge [8].

### 3.1.2 *Rad opruga*

Prilikom deformacije opruge akumuliraju potencijalnu energiju. Nakon otpuštanja opruge energija akumulirana u opruzi se oslobađa, to jest ona vrši rad jednak onome uloženom u njenu deformaciju ako se zanemare gubitci zbog unutarnjeg ili vanjskog trenja [3,4].

Rad predan opruzi definira može se prikazati prema slijedećoj formuli i jednak je iznosu šrafiranog područja na slici 3.1

$$W = \int_0^f F \, df \quad (3.3)$$

$$W = \int_0^{\varphi} M \, d\varphi \quad (3.4)$$

gdje je:

|         |                                 |
|---------|---------------------------------|
| W (Nmm) | rad opruge                      |
| F, f, M | kao u jednadžbama (3.1) i (3.2) |

Vlačne, tlačne i fleksijske opruge sa ravnom karakteristikom imaju rad definiran prema slijedećoj formuli (3.5) dok je kod torzijskih on definiran prema formuli (3.6).

$$W = \frac{F}{2} f \quad (3.5)$$

$$W = \frac{M}{2} \alpha \quad (3.6)$$

gdje je:

W (Nmm) rad opruge

F, f, M kao u jednadžbama (3.1) i (3.2)

## 3.2 Spajanje opruga

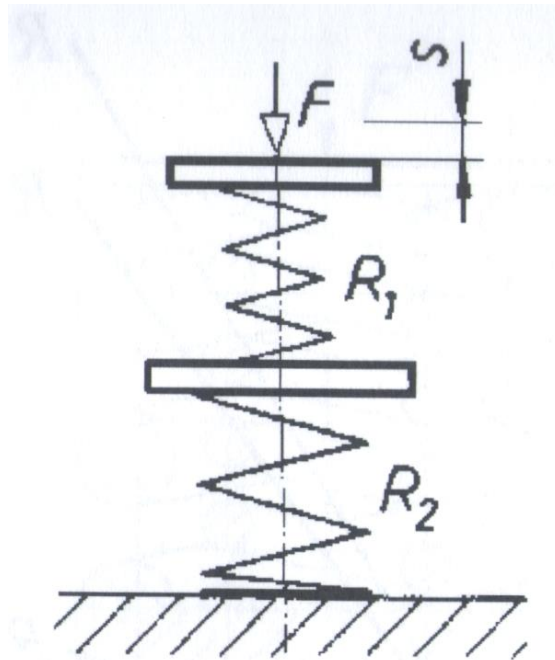
Opruge se mogu koristiti kao zasebni elementi ili u kombinaciji sa istim takvim ili sličnim oprugama. Dvije ili više opruga se mogu spajati u:

- a) Paralelni spoj
- b) Serijski spoj
- c) Kombinirani spoj opruga [1]

### 3.2.1 *Serijski spoj opruga*

Kod serijskog spoja opruga sila se ravnomjerno dijeli na sve opruge, to jest svaka se opruga zbog svoje karakteristike deformira za pomak  $s_1$  i  $s_2$  [1]

$$F = F_1 = F_2 \quad (3.7)$$



Slika 3.2 Serijski spoj dvaju opruga [1]

Kod ovih opruga iznos pojedinačnih progiba je jednak:

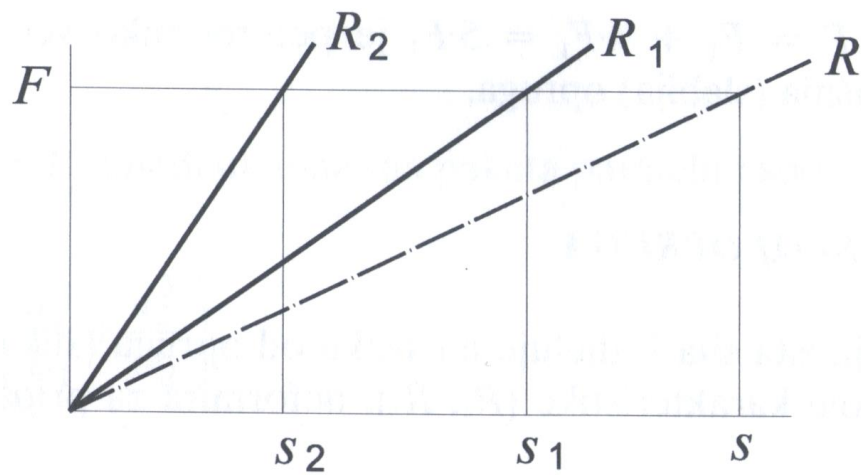
$$\begin{aligned}
 S &= F_1/c_1 = F/c_1 \\
 S &= F_2/c_2 = F/c_2 \\
 S &= c_1 + c_2 = F/(c_1 + c_2)
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

gdje je:

$S$  (mm) progib  
 $c$  (N/m), (Nm/rad) specifična sila opruge

U ovome slučaju moguće je izračunati ekvivalentnu krutost opruge koja iznosi:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}
 \tag{3.9}$$



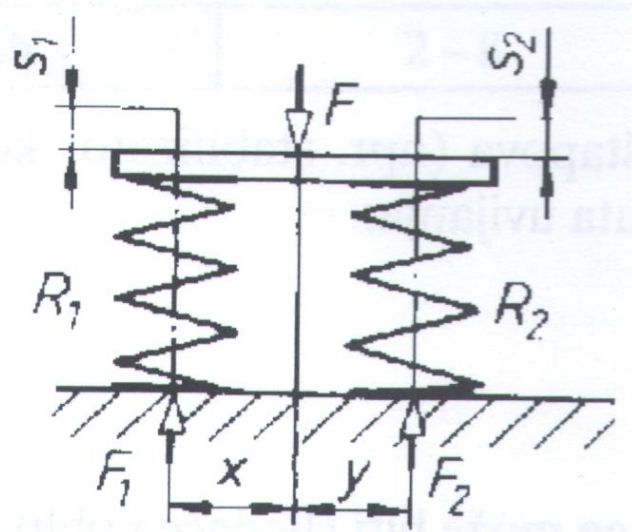
Slika 3.3 Karakteristike opruga u serijskom spoju opruga [1]

### 3.2.2 Paralelni spoj opruga

Za razliku od serijskog spoja, kod paralelnog spoja rezultatna sila jednaka je zbroju sila koje djeluju na pojedinačnu oprugu. Opruge u paralelnom spoju vrše jednaku deformaciju i zbog toga mogu podnijeti veća opterećenja [1].

$$F = F_1 + F_2 \quad (3.10)$$

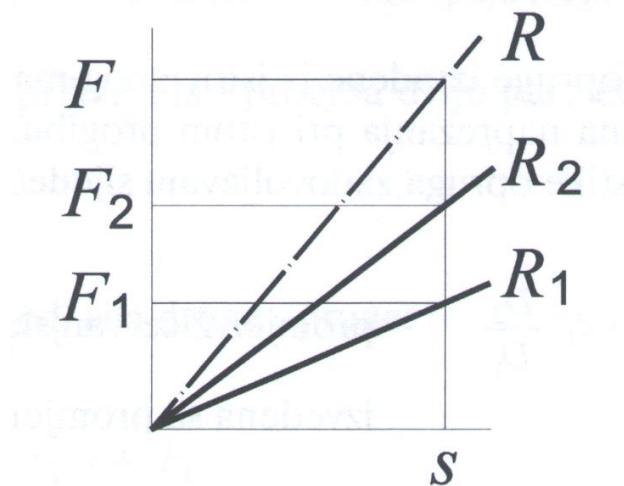
$$s = s_1 = s_2 \quad (3.11)$$



Slika 3.4 Paralelni spoj opruga [1]

U ovome slučaju ekvivalentna krutost iznosi

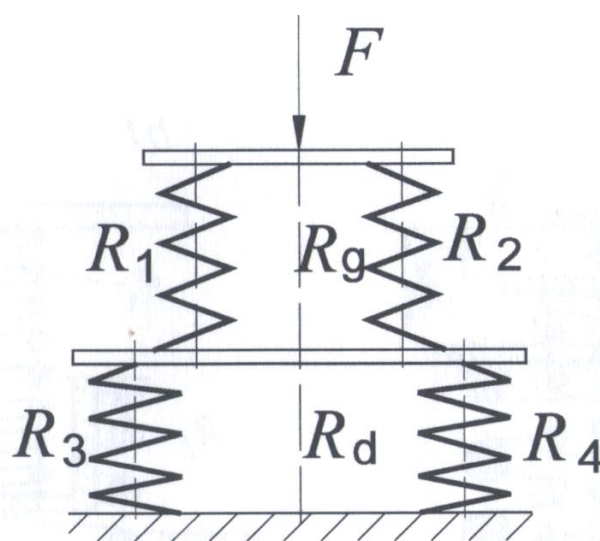
$$F = c \cdot s \quad (3.12)$$



Slika 3.5 Ekvivalentna krutost u paralelnom spoju dvaju opruga [1]

### 3.2.3 *Kombinirani spoj opruga*

Postoji mnogo mogućih kombinacija serijskog i paralelnog spoja koje nastaju spajanjem zamjenskih (kombiniranih) opruga zajedno. Takvim načinom spajanja nastaje kombinirana karakteristika cijelog sustava [1].



Slika 3.6 Kombinirani serijsko paralelni spoj opruga [1]



## 4. MATERIJALI ZA IZRADU OPRUGA

Za izradu opruga koriste se i metali i nemetali koji moraju zadovoljavati zadane tehničke specifikacije. Opruge se najčešće izrađuju od metala, prvenstveno čelika za opruge, a u manjoj mjeri mjedi, bronce ili od drugih materijala. Najčešći nemetalni materijal za izradu opruga je guma [2, 3].

S obzirom na način izrade koriste se toplo oblikovani i hladno oblikovani (hladnovaljane trake i hladnovučena žica) čelici. Kod toplo oblikovanih čelika potrebna mehanička svojstva čelika se dobiva postupcima sačmarenja, kaljenja i popuštanja, dok kod hladno oblikovanih čelika pomoću postupka patentiranja. Površina opruga se obrađuje brušenjem pošto veća hrapavost površine znači značajni pad čvrstoće.

Najkorišteniji čelici za izradu opruga su Si-čelici, Si-Mn-čelici, dok se kod opruga namijenjenih za veća opterećenja koriste Cr-čelici, a za najviša opterećenja i dimenzije upotrebljavaju se Cr-Mo-V čelici. Osnovni uvjeti za opružne čelike su velika granica elastičnosti, čistoća čelika, dinamička izdržljivost i glatkoća površine. Bitna sposobnost opruge da ublažava udarce što se postiže prokaljivanjem do potrebne žilavosti [5, 6].

| Moduli elastičnosti $E$ i moduli klizanja $G$ uobičajenog materijala za opruge  |                             |                             |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Materijal opruge  | $E$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $G$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| Patentirano vučena žica za opruge od nelegiranih čelika i poboljšana žica za opruge od nelegiranih čelika DIN 17223, (HRN C.B6.012) | ≈ 210000                    | ≈ 83000                     |
| Opruga od toplo oblikovanih čelika DIN 17221, (HRN C.B0.551)  | ≈ 210000                    | ≈ 80000                     |
| Opruga od nehrđajućeg čelika X 12 CrNi 17 7 DIN 17224   | ≈ 194000                    | ≈ 73000                     |
| Opruge od kositrene bronce CuSn 8 F 95 i mjed CuZn 36 F 70 DIN 17682, (HRN C.D2.100 i 102)  | ≈ 112000                    | ≈ 42000                     |
| Opruge od bakar-berilija CuBe 2 F 90 i CuBe F 85 kao i novo srebro CuNi 18 Zn 20 DIN 17682  | ≈ 135000                    | ≈ 50000                     |
| Opruge od Ms 63 DIN 17660, (HRN CD2.101) tvrdo vučene   | ≈ 94000                     | ≈ 35000                     |

Slika 4.1 Moduli elastičnosti kod uobičajenih čelika za opruge [4]

Bitni parametri kod opruga su modul elastičnosti  $E$  kod opruga opterećenih na savijanje i vlak, te modul klizanja  $G$  kod opruga opterećenih na uvijanje. Sukladno izboru materijala potrebno je dimenzionirati oprugu tako da zadovolji tražene tehničke parametre [5, 6].

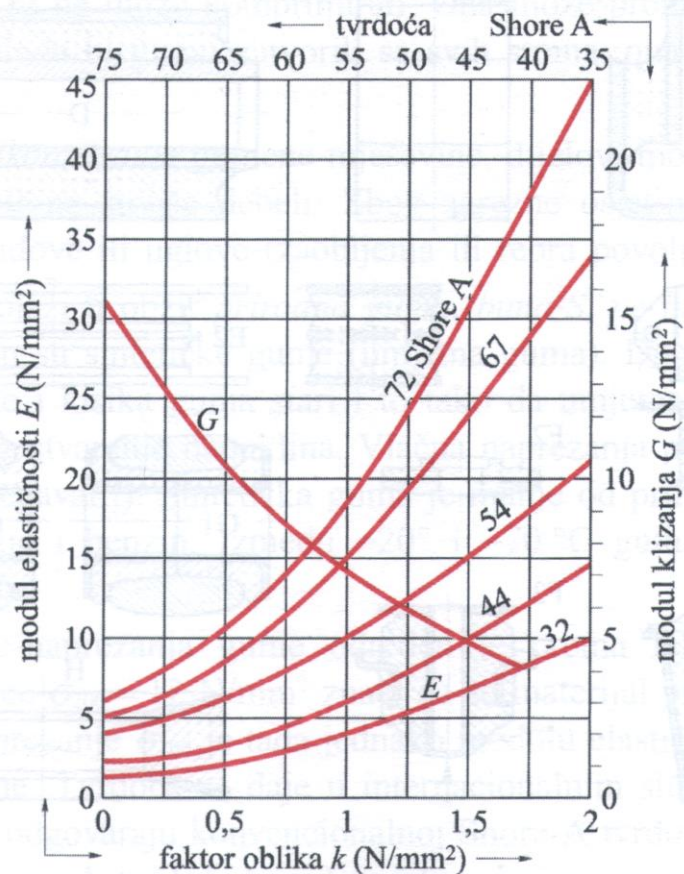
Kvaliteta i primjeri uporabe toplo oblikovanih čelika za opruge prema DIN 17221, (HRN C.B0.551) [Čelici 38 Si 6, 46 Si 7 i 51 Si 7, (Č 2130, Č 2131 i Č 2132) za kaljenje u vodi, a ostali za kaljenje u ulju]

| Vrst čelika                             |   | Stanje obrade <sup>1)</sup> |     |                                    |                                    |         | Primjeri upotrebe   |
|---|---|-----------------------------|-----|------------------------------------|------------------------------------|---------|---|
|   |   | U                           | G   | H + A                              |                                    |         |   |
|   |   | tvrdća<br>HB 30             |     | $\sigma_T$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $\sigma_M$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | d5<br>% |   |
| Kvalitetni čelici za srednja naprezanja | DIN 38 Si 6<br>HRN Č 2130               | 240                         | 217 | 1050                               | 1200                               | 6       | Elastični prsteni i ploče za osiguranje vijaka, tanjuraste opruge, opruge za kultivatore  |
|   | DIN 46 Si 7<br>HRN Č 2131               | 255                         | 230 | 1100                               | 1300                               | 6       | Stožaste opruge, lisnate opruge za vozila na tračnicama, tanjuraste opruge  |
|   | DIN 51 Si 7<br>HRN Č 2132               | 270                         | 230 | 1100                               | 1300                               | 6       | Lisnate opruge za vozila na tračnicama, naročito one koje su strojno zakaljene  |
|   | DIN 55 Si 7<br>HRN Č 2133               | 290                         | 235 | 1100                               | 1300                               | 6       | Lisnate opruge za vozila do 7 mm debele, zavojne opruge, listovi lisnatih opruga, tanjuraste opruge                                       |
|   | DIN 65 Si 7<br>HRN Č 2331<br>HRN Č 2332 | 310                         | 240 | 1100                               | 1300                               | 6       | Lisnate opruge za vozila deblje od 7 mm, zavojne opruge, tanjuraste opruge  |
|   | DIN 60 Si Mn 5<br>HRN Č 2330            | 310                         | 240 | 1050                               | 1350                               | 6       | Lisnate opruge za vozila deblje od 7 mm, zavojne opruge, tanjuraste opruge, prstenaste opruge   |
| Kvalitetni čelici za visoka naprezanja  | DIN 66 Si 7<br>HRN Č 2134               | > 310                       | 240 | 1200                               | 1400                               | 6       | Lisnate opruge, zavojne opruge, ravne torzijske opruge ≤ 25 mm promjera   |
|   | DIN 67 SiCr 5<br>HRN Č 4230             | > 310                       | 240 | 1350                               | 1500                               | 5       | Zavojne opruge, uglavnom opterećene udarno, ravne torzijske opruge ≤ 40 mm promjera, ventilske opruge                                     |
|   | DIN 50 CrV 4<br>HRN Č 4830              | > 310                       | 235 | 1200                               | 1350                               | 5       | Posebno visoko opterećene opruge za vozila, zavojne opruge, elastični prsteni, tanjuraste opruge, ravne torzijske opruge ≤ 40 mm promjera |
|   | DIN 58 CrV 4<br>HRN Č 4831              | > 310                       | 235 | 1350                               | 1500                               | 6       | Posebno visoko opterećene zavojne opruge i ravne torzijske opruge najvećih promjera   |

<sup>1)</sup> U = stanje valjanja, G = meko žareno, H + A = kaljeno i popušteno (Navedene su samo minimalne tvrdoće i čvrstoće).

Slika 4.2 Toplo oblikovani čelici za opruge [4]

Osim navedenih metala široku uporabu posjeduju i nemetalne opruge, najčešće izrađene od vulkanizirane gume a često ojačane spajanjem sa metalnim dijelovima. Koriste se sintetička i prirodna guma. S obzirom na tvrdoću po IRN skali koja je približno ista Shoreovoj, dijele se na tvrde (80-90 Shore-a), srednje tvrde (50-80 Shore-a) i meke (manje od 50 Shore-a), a o tvrdoći ovisi njihova elastičnost i modul klizanja. Gumene opruge se smrzavaju ispod -20 °C tako da se opruge ovisno o tvrdoći koriste na višim temperaturama [2, 4].



Statički modul elastičnosti  $E$  ovisno o tvrdoći i o faktoru oblika, statički modul klizanja  $G$  ovisno o tvrdoći

Slika 4.3 Ovisnosti svojstava gume [4]

## 5. PRORAČUN OPRUGA

### 5.1 Lisnate opruge

Naprezanje na savijanje:

$$\sigma_f = \frac{F \cdot l^3}{W} \quad (5.1)$$

Progib iznosi:

$$f = k \frac{F \cdot l^3}{3E \cdot I} \quad (5.2)$$

gdje je:

|            |                      |  |
|------------|----------------------|--|
| $\sigma_f$ | (N/mm <sup>2</sup> ) | naprezanje na savijanje u presjeku lista |
| $F$        | (N)                  | sila koja djeluje na oprugu              |
| $f$        | (mm)                 | progib pri opterećenju silom $F$         |
| $l$        | (mm)                 | krak sile prema opasnom presjeku         |
| $W$        | (mm <sup>3</sup> )   | moment otpora lisat opruge               |
| $I$        | (mm <sup>2</sup> )   | moment inercije lista opruge             |
| $E$        | (N/mm <sup>2</sup> ) | modul elastičnosti materijala opruge     |
| $K$        |                      | proračunski faktor                       |

### 5.2 Zavojna fleksijska opruga

Idealno naprezanje na savijanje:

$$\sigma_i = \frac{M}{W} \quad (5.3)$$

Najveće vlačno naprezanje od savijanja:

$$\sigma_q = \sigma_i \cdot q \quad (5.4)$$

gdje je:

|            |                      |   |
|------------|----------------------|---|
| $\sigma_i$ | (N/mm <sup>2</sup> ) | idealno naprezanje na savijanje u presjeku žice |
|------------|----------------------|---|

|            |                      |  |
|------------|----------------------|--|
| M          | (Nmm)                | moment savijanja u presjeku žice   |
| W          | (mm)                 | moment otpora presjeka žice  |
| Q          |                      | faktor koji obuhvaća povišenje naprezanja od savinuća žice               |
| $\sigma_q$ | (N/mm <sup>2</sup> ) | vlak od savijanja na unutarnjoj strani presjeka nastalog savijanjem žice |

Dopušteno naprezanje hoda opruge:

$$\sigma_{hdop} = 700 \frac{N}{mm^2} - 0,25 q_{min} \quad (5.5)$$

Kut zakretanja:

$$\alpha = \frac{M \cdot l}{I \cdot E} \quad (5.6)$$

gdje je:

|          |                      |   |
|----------|----------------------|---|
| $\alpha$ | (rad)                | kut zakretanja                                  |
| I        | (mm)                 | ispružena duljina navoja s opružnim djelovanjem |
| l        | (mm <sup>4</sup> )   | moment inercije presjeka žice                   |
| E        | (N/mm <sup>2</sup> ) | modul elastičnosti materijala opruge            |
| M        | (Nmm)                | moment savijanja u presjeku žice                |

Ispružena duljina navoja s opružnim djelovanjem

kod  $\alpha + d \leq D_{sr}/4$  :

$$I = D_{sr} \cdot \pi \cdot i_f \quad (5.7)$$

kod  $\alpha + d > D_{sr}/4$  :

$$I = \sqrt{(D_{sr} \cdot \pi)^2 + (a + d)^2} \quad (5.8)$$

gdje je:

|          |      |  |
|----------|------|--|
| $D_{sr}$ | (mm) | srednji promjer namota opruge                        |
| $i_f$    |      | broj namota s opružnim djelovanjem                   |
| a        | (mm) | slobodan razmak između navoja s opružnim djelovanjem |

$d$  (mm) promjer žice

Unutarnji, odnosno vanjski promjer opterećene opruge:

$$D_{u\alpha, v\alpha} = D_{sr} \frac{i_f}{i_f \pm \frac{\alpha}{2\pi}} \quad (5.9)$$

### 5.3 Cilindrične torzijske opruge

#### 5.3.1 Hladno oblikovane tlačne opruge

Duljina bloka kod naslonjenih i brušenih krajnjih navoja

$$L_{B1} = i_{uk} \cdot d \quad (5.10)$$

Duljina bloka kod samo naslonjenih krajnjih navoja

$$L_{B1} = (i_{uk} + 1,5) \cdot d \quad (5.11)$$

Duljina opruge opterećene silom  $F$

$$L_2 = (i_{uk} + 1,5) \cdot d \quad (5.12)$$

Duljina neopterećene opruge

$$L_0 = f + L_2 \quad (5.13)$$

Omjer namatanja iznosi:

$$w = \frac{D_{sr}}{d} \quad (5.14)$$

gdje je:

|          |      |                                     |
|----------|------|-------------------------------------|
| $L_{B1}$ | (mm) | duljina stisnute opruge (bloka)     |
| $L_2$    | (mm) | duljina opruge opterećene silom $F$ |
| $L_0$    | (mm) | duljina neopterećene opruge         |
| $i_{uk}$ |      | ukupan broj navoja                  |
| $d$      |      | promjer žice                        |
| $w$      |      | omjer namatanja žice                |
| $D_{sr}$ | (mm) | srednji promjer žice                |

### 5.3.2 Tlačne opruge od okruglih šipki

Kod opruga od valjanih okruglih šipki

$$L_{B1} \leq (i_{uk} - 0,3) d \quad (5.15)$$

Kod opruga od brušenih okruglih šipki

$$L_{B1} \leq (i_{uk} - 0,4) d \quad (5.16)$$

Kod opruga s neobrađenim krajevima

$$L_{B1} \leq (i_{uk} + 1) d \quad (5.17)$$

gdje je:

|          |      |                                 |
|----------|------|---------------------------------|
| $L_{B1}$ | (mm) | duljina stisnute opruge (bloka) |
| $i_{uk}$ |      | ukupan broj navoja              |
| $d$      |      | promjer šipke s tolerancijama   |

Zbroj najmanjih udaljenosti među navojima

$$S_a = x \cdot d \cdot i_f \quad (5.18)$$

gdje je:

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| $i_f$ | broj namota s opružnim djelovanjem |
| $X$   | faktor ovisan o odnosu namatanja   |

### 5.3.3 Vlačne opruge od okrugle žice

Duljina neopterećenog dijela opruge:

$$L_K \approx (i_f + 1) d \quad (5.19)$$

gdje je:

|       |      |                                     |
|-------|------|-------------------------------------|
| $L_K$ | (mm) | duljina neopterećenog tijela opruge |
| $i_f$ |      | broj navoja s opružnim djelovanjem  |
| $D$   | (mm) | promjer žice                        |

### 5.3.4 Proračun vlačnih i tlačnih opruga

Idealno torzijsko naprezanje

$$\tau_i = \frac{8D_{sr}}{\pi d^3} F \quad (5.20)$$

Maksimalno torzijsko naprezanje

$$\tau_k = k \cdot \tau_i \quad (5.21)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{8F \cdot D_{sr}}{\pi \cdot \tau_i}} \quad (5.22)$$

Broj navoja s opružnim djelovanjem

$$i_f = \frac{G \cdot d^4 \cdot f}{8D_{sr}^3 \cdot F} \quad (5.23)$$

Ukupan broj navoja kod naslonjenih i brušenih krajeva

$$i_{uk} = i_f + 1.5 \quad (5.24)$$



Hod opruge

$$f = \frac{8D_{sr}^3 \cdot i_f}{G \cdot d^4} F \quad (5.25)$$

Sila na opruzi

$$F = \frac{G \cdot d^4 \cdot f}{8D_{sr}^3 \cdot i_f} \quad (5.26)$$

Specifična sila

$$c = \frac{F}{f} = \frac{G \cdot d^4}{8D_{sr}^3 \cdot i_f} \quad (5.27)$$

gdje je:

|          |                      |   |
|----------|----------------------|---|
| $\tau_i$ | (N/mm <sup>2</sup> ) | idealno torzijsko naprezanje bez zakrivljenja žice      |
| $\tau_k$ | (N/mm <sup>2</sup> ) | torzijsko naprezanje sa uzetim zakrivljenjem žice       |
| $k$      |                      | faktor za vlačne i tlačne vijčane opruge prema DIN 2089 |
| $F$      | (N)                  | sila koja opterećuje oprugu                             |
| $G$      | (N/mm <sup>2</sup> ) | modul klizanja  |
| $d$      | (mm)                 | promjer žice  |
| $D_{sr}$ | (mm)                 | srednji promjer navoja                                  |
| $i_f$    |                      | broj navoja s opružnim djelovanjem                      |
| $f$      |                      | hod opruge  |
| $c$      | (N/mm)               | specifična sila opruge                                  |

## 5.4 Ravne šipkaste torzijske opruge

Torzijsko naprezanje

$$\tau = T/W_t \quad (5.28)$$

Kod elastičnog uvijanja

$$\alpha = \frac{T \cdot l}{I_t \cdot G} \quad (5.29)$$

gdje je:

|          |                      |                                       |
|----------|----------------------|---------------------------------------|
| $\tau$   | (N/mm <sup>2</sup> ) | torzijsko naprezanje u presjeku štapa |
| $T$      | (N mm)               | okretni moment opruge                 |
| $W_t$    | (mm <sup>3</sup> )   | moment otpora presjeka štapa          |
| $\alpha$ | (rad)                | kut elastičnog uvijanja               |
| $l$      | (mm)                 | duljina struka opruge                 |
| $I_t$    | (mm <sup>4</sup> )   | moment inercije pri uvijanju          |
| $G$      | (N/mm <sup>2</sup> ) | modul klizanja materijala opruge      |

## 5.5 Gumene opruge

Faktor oblika

$$k = \frac{d^2 \cdot \pi / 4}{d \cdot \pi \cdot h} \quad (5.30)$$

Krutost opruge

$$c = \varphi \cdot c_{stat} \quad (5.31)$$

gdje je:

|            |                      |   |
|------------|----------------------|---|
| $c$        | (N/mm) ili (Nmm/rad) | krutost opruge pri promjenjivom opterećenju |
| $c_{stat}$ | (N/mm) ili (Nmm/rad) | krutost opruge pri mirnom opterećenju       |

## 6. PRIMJER PRORAČUNA OPRUGE

Zadani parametri tlačne opruge su:

$$D_{sr} = 12 \text{ mm}$$

$$F = 150 \text{ N}$$

$$f = 15 \text{ mm}$$

Prema jednadžbi 5.22 promjer žice iznosi:

$$d = \sqrt[3]{\frac{8F \cdot D_{sr}}{\pi \cdot \tau_i}} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 150 \cdot 12}{\pi \cdot 700}} = 1.871$$

Usvojeni promjer prema DIN17223 iznosi 1.9 mm

Prema 5.26 specifična sila opruge iznosi:

$$c = \frac{F}{f} = \frac{150}{15} = 10 \text{ N/mm}$$

Prema 5.20 broj efektivnih navoja opruge prema 5.23 iznosi:

$$i_f = \frac{G \cdot d^4 \cdot f}{8D_{sr}^3 \cdot F} = \frac{83000 \cdot 1.9^2 \cdot 15}{8 \cdot 12^3 \cdot 150} = 7.825$$

Usvojen broj efektivnih navoja je 8, a broj navoja prema jednadžbi 5.24 iznosi:

$$i_{uk} = i_f + 1.5 = 8 + 1.5 = 9.5$$

Duljina bloka opruge prema jednadžbi 5.10 iznosi:

$$L_{B1} = i_{uk} \cdot d = 9.5 \cdot 1.9 \approx 18 \text{ mm}$$

Omjer namatanja prema jednadžbi 5.14 iznosi:

$$w = \frac{D_{sr}}{d} = \frac{12}{1.9} = 6.32$$

Iz čega se očitava  $x = 0.1$  iz priloga 1 (DIN 2095) i određuje ukupna zračnost između navoja prema jednadžbi 5.18:

$$S_a = 0.2d + xd^2i_f = 0.2 \cdot 1.9 + 0.1 \cdot 1.9^2 \cdot 8 = 3.268 \text{ mm}$$

Usvojena je vrijednost 3.5 mm

Duljina opruge opterećene sa silom  $F$  prema jednadžbi 5.12 iznosi:

$$L_2 = S_a + L_{B1} = 3.5 + 18 = 21.5 \text{ mm}$$

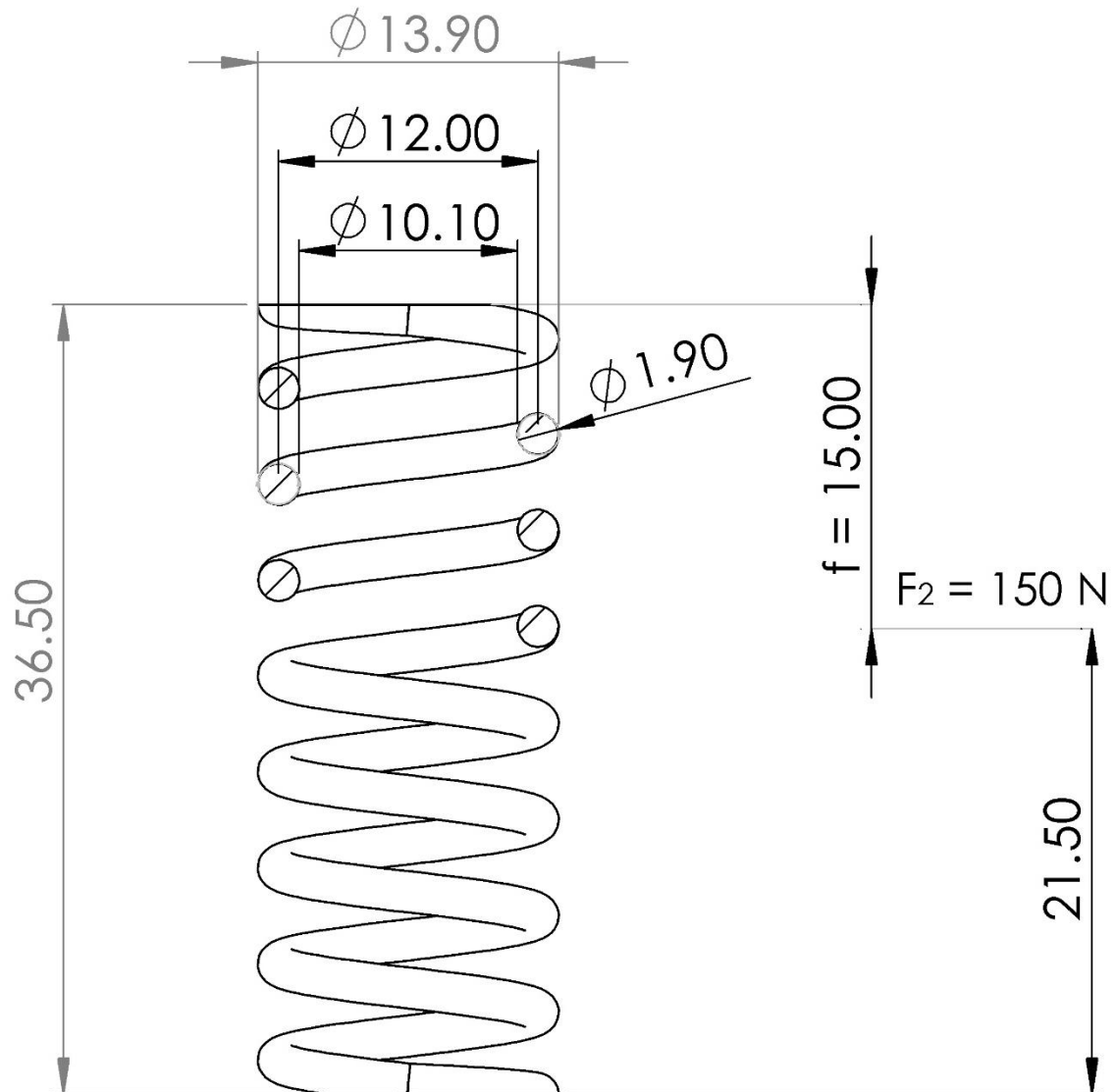
Duljina neopterećene opruge prema jednadžbi 5.13 iznosi:

$$L_0 = f + L_2 = 21.5 + 15 = 36.5 \text{ mm}$$

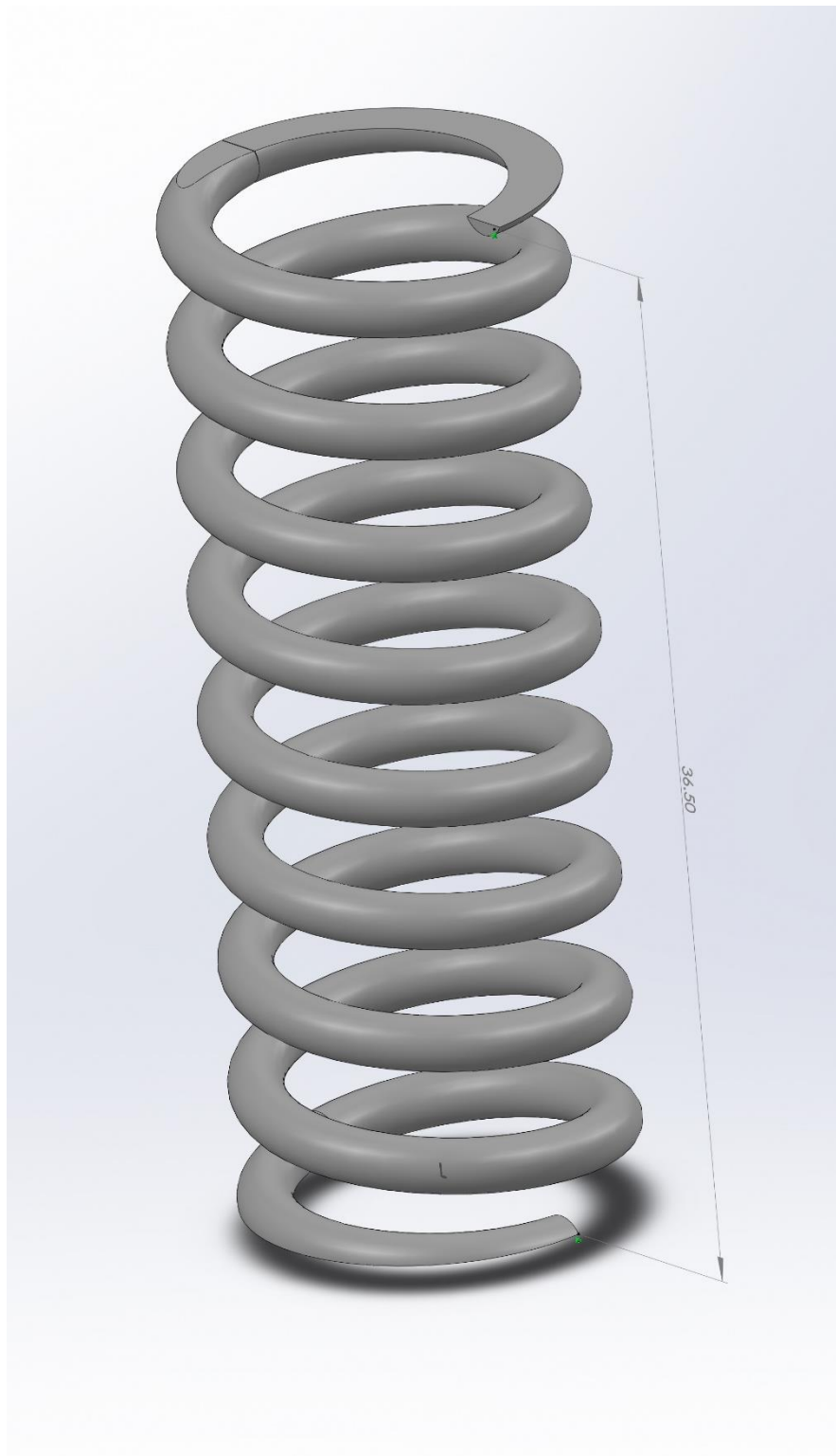
Kontrolni proračun po jednadžbi 5.20 za idealno torzijsko naprezanje:

$$\tau_i = \frac{8D_g}{\pi \cdot d^3} F = \frac{8 \cdot 12}{\pi \cdot 1.9^3} 150 = 668.27 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

## 6.1 Nacrt i model opruge



Slika 6.1 Nacrt opruge



Slika 6.2 Model opruge

## 7. PRIMJENA OPRUGA U MEHATRONICI

Često područje primjena opruga je apsorpcija udara i vibracija. Iz tog razloga primjenjuju se u ovjesima vozila i drugim sustavima gdje postoji potreba za sprečavanjem djelovanja naglih šokova. Primjer primjene gibnja prikazan je na slici (7.1), a gumenih opruga na slici (7.2).

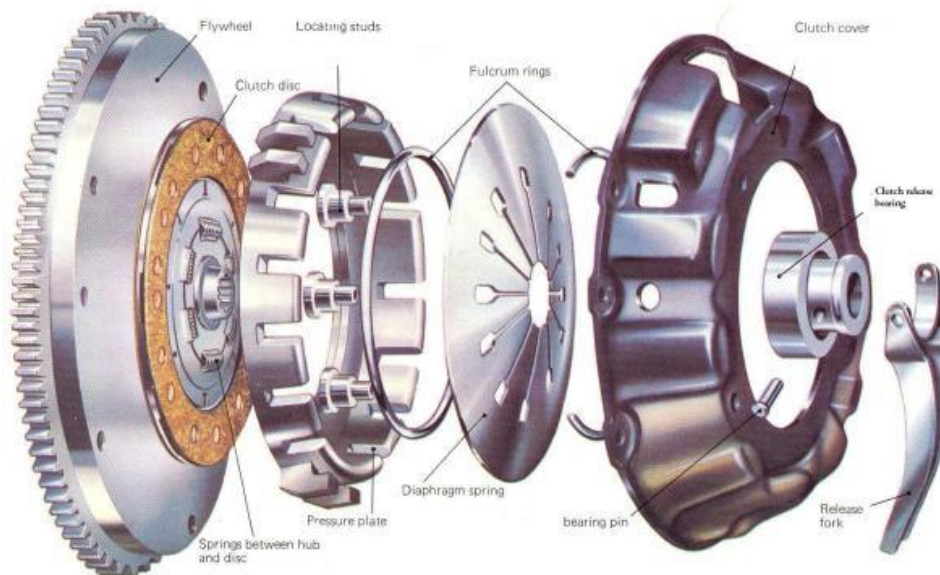


Slika 7.1 Ovjes automobila [9]



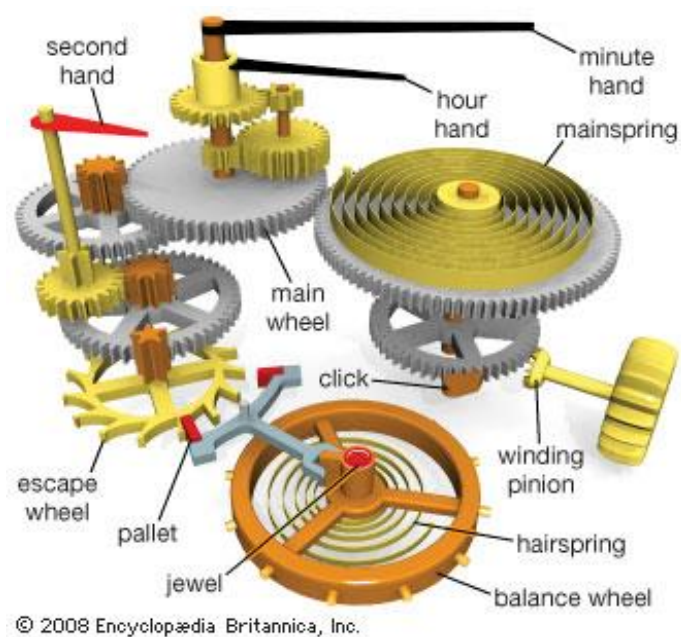
Slika 7.2 Gumene opruge na starom motociklu [10]

Na slici (6.3) je prikazan mehanizam spojke u kojem membrana služi za osiguravanje kontakta između tarnih površina, to jest prijenosa snage između motora i transmisije.



Slika 7.3 Spojka vozila [11]

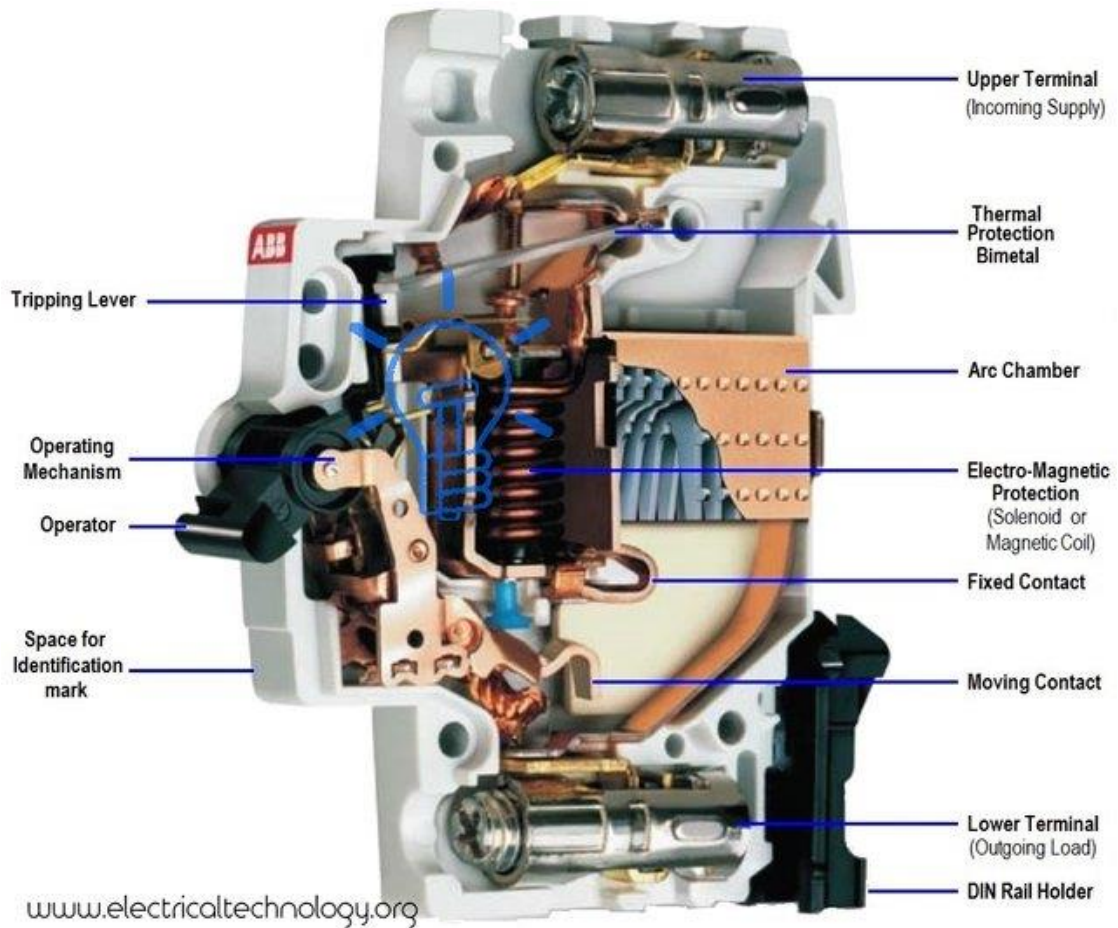
U satnim mehanizmima spiralne opruge mogu služiti kao spremnici energije, kao što je prikazano na slici (7.4).



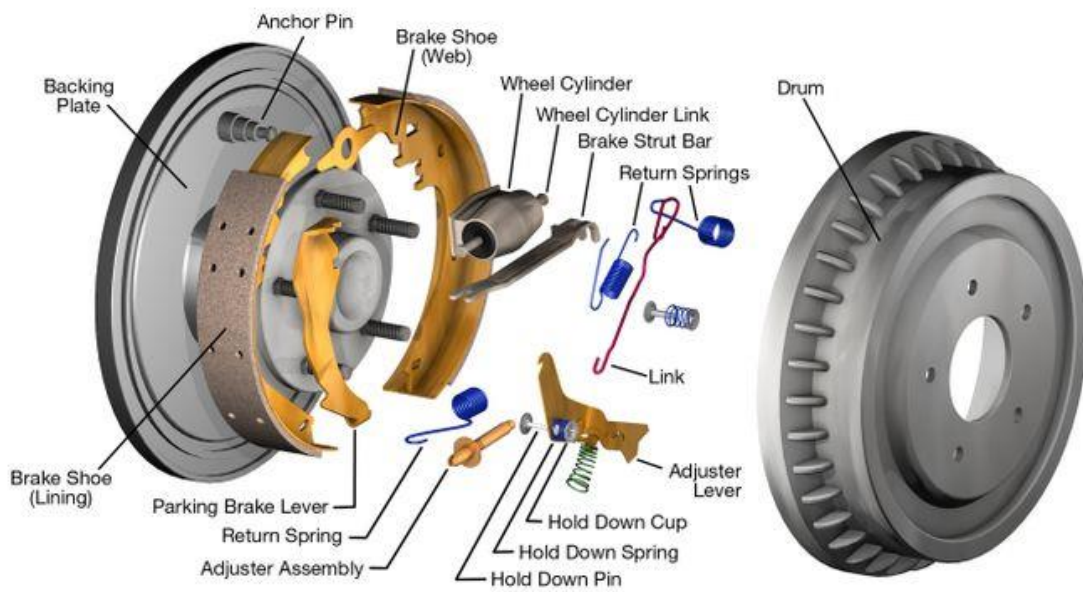
Slika 7.4 Satni mehanizam [12]



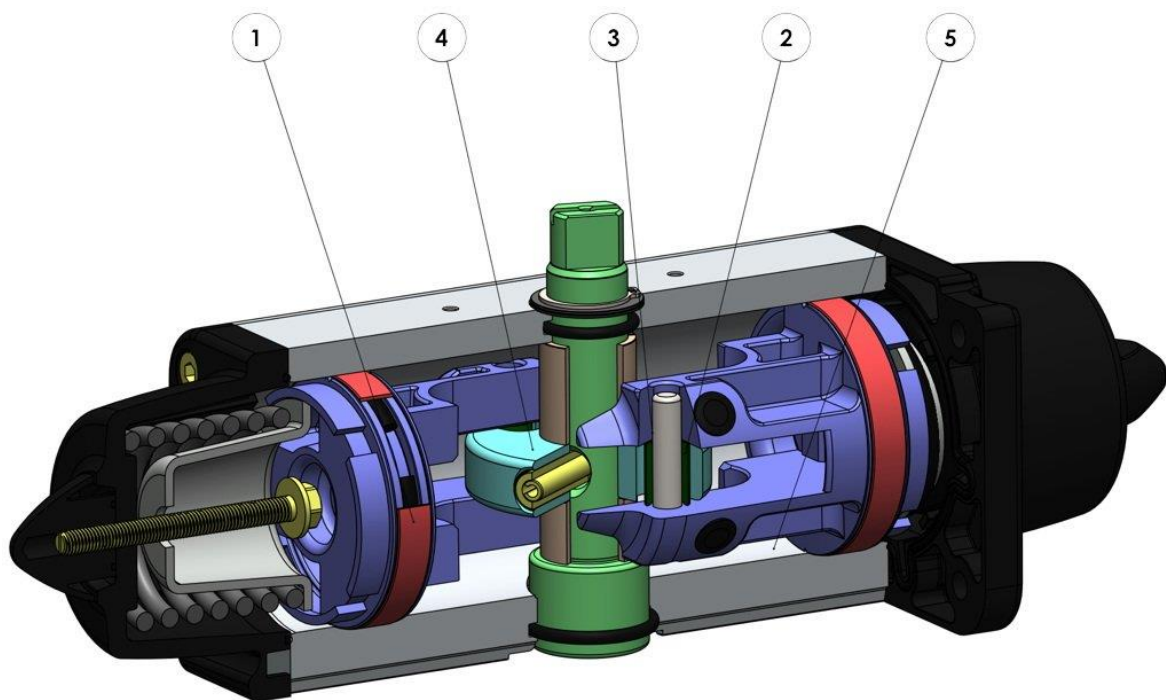
Opruge se koriste u raznim sklopkama i povratnim mehanizmima. Bimetalne opruge se primjenjuju se kao elementi senzora i sklopki zbog svog djelovanja pri temperaturnim promjenama. Na slici (7.5) prikazan je mehanizam automatskog osigurača.



Slika 7.5 Automatski osigurač [13]



Slika 7.6 Opruge kod kočnice automobila [14]



Slika 7.6 Pnevmatiski aktuator s povratnom oprugom [15]



Slika 7.7 Opruge na željezničkom vozilu [16]



Slika 7.8 Sklopka s oprugom [17]

## 8. ZAKLJUČAK

Opruge su jedne od najčešćih strojnih elemenata u uporabi. Postoje razne vrste opruga koje zadovoljavaju mnoštvo zahtjeva za primjene u tehničkim sklopovima. Osnovna podjela je ovisno o vrsti opterećenja koje djeluje na oprugu. Opruge mogu služiti za spremanje energije, ublaživanje udara, raspodjelu i ograničavanje opterećenja, mjerenje veličina (sila, tlak, itd.) i u druge svrhe. Postoji više načina međusobnog spajanja opruga kako bi se postigle tražene karakteristika na ekonomičniji način.

Radi ispravnog rada sklopa potrebno je odrediti materijale za izradu i pravilno dimenzionirati oprugu kako bi zadovoljila zadane uvjete. Postavljeni zahtjevi mogu biti karakteristika, dimenzije, materijali, veličina opterećenja i drugi. Zbog praktičnosti dobiveni optimalni rezultati se aproksimiraju i prilagođavaju mogućnostima proizvodnje.

## 9. LITERATURA

- [1] Željko Orlić, Goran Orlić. Metalne opruge, Rijeka: Zigo, 2004
- [2] Branko Kovač. Praktičar 3, Strojarsvo 2. Zagreb: Školska knjiga, 1973.
- [3] Rikard Podhorsky. Tehnička enciklopedija, Sv.5. Zagreb:1976
- [4] Karl-Heinz Decker. Elementi strojeva, Treće izmijenjeno i dopunjeno izdanje. Zagreb: Tehnička knjiga, 2006.
- [5] Anđelka Ređep. U: Damir Tadić. Finomehanika, udžbenik za srednje strukovne škole, 3. izdanje. Zagreb: Školska knjiga 2007.
- [6] Mladen Novosel. Inženjerski priručnik IP4, proizvodno strojarstvo. 1. izdanje. Zagreb: školska knjiga 2002
- [7] Tomislav Filetin. Svojstva i primjena materijala. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2007.
- [8] Jelaska D.: Elementi strojeva – skripta za studente Industrijskog inženjerstva; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2005.
- [9] <http://www.fourwheeler.com/off-road-magazine/> (7.10.2019)
- [10]<https://www.triumphrat.net/classic-vintage-and-veteran/116066-shock-absorber-rubber-install.html> (7.10.2019)
- [11]<https://www.cartoq.com/when-to-replace-your-clutch-plates-warning-signs/> (7.10.2019)
- [12] <https://www.britannica.com/technology/clock> (8.10.2019)
- [13]<https://www.electricaltechnology.org/2016/02/mcb-miniature-circuit-breaker-types-construction-working-uses.html> (8.10.2019)
- [14] <http://www.e-car.co.za/ate-brakes/> (17.10.2019)
- [15]<https://www.omal.com/products/pneumatic-actuators/carbon-steel-a105-actuators/pneumatic-actuator-spring-return-sr-type-carbon-steel-a105.html> (17.10.2019)
- [16] <https://www.europeansprings.com/the-rail-industry-springs-in-trains/> (23.10.2019)
- [17] <https://www.autoelectricsupplies.co.uk/product/185> (23.10.2019)

## 10. SAŽETAK

### Naslov: Opruge u mehatronici

U ovome završnom radu predstavljene su vrste opruga, razlike, ali i sličnosti u njihovom načinu funkcioniranja. Glavni cilj ovoga rada je bio prikazati dio širokog spektra mogućih primjena opruga u tehničkim sklopovima i prikazati proračune za neke od prikazanih vrsta opruga. U ovome radu su također prikazani materijali od kojih se opruge mogu izrađivati te princip proračuna jedne cilindrične tlačne opruge. Opruge je moguće izraditi od mnogo vrsta materijala, najčešći od kojih su čelici. Osnovni uvjet pravilne primjene opruge je pravilni odabir ili izrada opruge koja svojim karakteristikama može zadovoljiti uvjete sklopa za koji je namijenjena.

**Ključne riječi:** Opruge, proračun opruga, karakteristika opruga.

## 11. ABSTRACT

**Title:**Springs in mechatronics

In this paperwork I have presented the main division of springs, similarities and differences in their working principles. Main goal of this work was to present vast area of application of springs in various devices and show some of the calculation methods used. This work contains example of calculation of one compression spring as well as its 3D model drawn in Solidworks. Various materials that can be used for construction of springs are described, most of which are metals. Main condition for proper use of springs as construction elements is choice of a spring whose characteristics comply with given prerequisites.

**Keywords:** Springs, calculation of spring parameters, characteristics of springs.

## IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

| Mjesto i datum                     | Ime i prezime studenta/ice | Potpis studenta/ice  |
|------------------------------------|----------------------------|----------------------|
| U Bjelovaru, <u>listopad 2019.</u> | Matija Buljan              | <i>Matija Buljan</i> |



Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

Matija Buljan

*ime i prezime studenta/ice*

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, listopad 2019.

Matija Buljan

*potpis studenta/ice*

## 12. PRILOZI

Prilog 1:

Zbroj  $S_n$  najmanjih razmaka među navojima prema DIN 2095

| $d$<br>(mm)      | $S_n$<br>(mm)             | $x$ (mm <sup>-1</sup> ) pri odnosu namatanja $W = D_s/d$ |              |               |          |
|------------------|---------------------------|--|--------------|---------------|----------|
|                  |                           | 4 do 6   | preko 6 do 8 | preko 8 do 12 | preko 12 |
| 0,07 do 0,5      | $0,5d + xd^2 i_f$         | 0,50   | 0,75         | 1,00          | 1,50     |
| preko 0,5 do 1,0 | $0,4d + xd^2 i_f$         | 0,20   | 0,40         | 0,60          | 1,00     |
| preko 1,0 do 1,6 | $0,3d + xd^2 i_f$         | 0,05   | 0,15         | 0,25          | 0,40     |
| preko 1,6 do 2,5 | $0,2d + xd^2 i_f$         | 0,035  | 0,10         | 0,20          | 0,30     |
| preko 2,5 do 4,0 | $1 \text{ mm} + xd^2 i_f$ | 0,02   | 0,04         | 0,06          | 0,10     |
| preko 4,0 do 6,3 | $1 \text{ mm} + xd^2 i_f$ | 0,015  | 0,03         | 0,045         | 0,06     |
| preko 6,3 do 10  | $1 \text{ mm} + xd^2 i_f$ | 0,01   | 0,02         | 0,030         | 0,04     |
| preko 10 do 17   | $1 \text{ mm} + xd^2 i_f$ | 0,005  | 0,01         | 0,018         | 0,022    |

Prilog 2:

Okrugla žica za opruge prema DIN 17223, (HRN C.B6.012)

| Oznaka  | Kratica   | Područje promjera | Upotreba  |
|---|-----------|-------------------|---|
| Patentirano vučena žica za opruge od nelegiranog čelika | <b>A</b>  | 0,3...10 mm       | vlačne opruge, zavojne fleksijske opruge i profilirane opruge za niska mirna i rijetko promjenljiva opterećenja |
|   | <b>B</b>  | 0,3...17 mm       | opruge za mirna i mala promjenljiva opterećenja   |
|   | <b>C</b>  | 0,07...17 mm      | visokoopterećene tlačne, vlačne i zavojne fleksijske i profilirane opruge, također za promjenljivo opterećenje  |
|   | <b>II</b> | 0,07...2 mm       |   |
| Poboljšana žica za opruge                               | <b>FD</b> | 1...14 mm         | opruge koje rade u području vremenske čvrstoće ili imaju umjereno trajno dinamičko opterećenje                  |
| Poboljšana žica za ventilske opruge                     | <b>VD</b> | 1...7,5 mm        | za sve opruge s visokim trajnim dinamičkim opterećenjem   |