

# 8. Statički brtvljeni spojevi

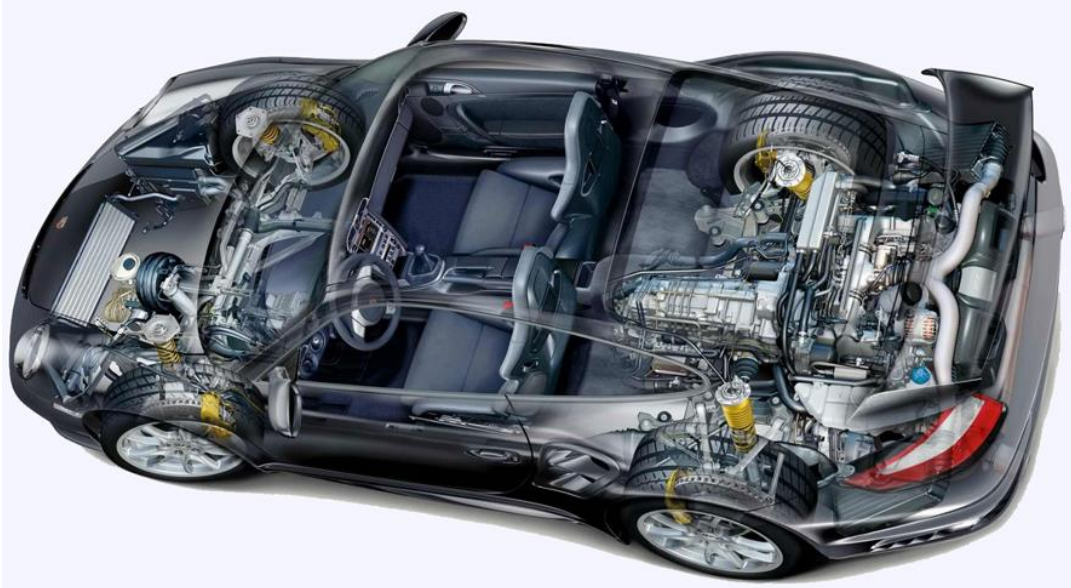
<b>8.1 Brtvljeni spojevi.....</b>	<b>9</b>
8.1.1 Brtvljenje.....	9
8.1.2 Struktura brtvljenih spojeva .....	10
8.1.3 Vrste brtvljenih spojeva .....	11
8.1.4 Opća svojstva brtvljenih spojeva.....	11
<b>8.2 Osnove statičkih brtvljenih spojeva.....</b>	<b>13</b>
8.2.1 Struktura statičkih brtvljenih spojevi .....	13
8.2.2 Fizika statičkih brtvljenih spojeva.....	14
8.2.3 Vrste i primjeri statičkih brtvi .....	15
8.2.4 Materijali za izradu statičkih brtvi .....	18
8.2.5 Vrste i primjeri statičkih brtvljenih spojeva .....	19
8.2.6 Svojstva statičkih brtvljenih spojeva .....	30
8.2.7 Norme statičkih brtvljenih spojeva .....	31
<b>8.3 Usvajanje statičkih brtvljenih spojeva .....</b>	<b>31</b>
8.3.1 Zahtjevi .....	31
8.3.2 Oblikovanje statičkih brtvljenih spojeva .....	36
8.3.3 Dobri i loši statički brtvljeni spojevi .....	36
8.3.4 Proračun statičkih brtvljenih spojeva .....	36
8.3.5 Usvajanje statičkih brtvljenih spojeva.....	36
8.3.6 Crtanje i označavanje .....	36
<b>8.4 Primjena statičkih brtvljenih spojeva .....</b>	<b>36</b>
8.4.1 Postupci brtvljenja statičkim brtvama .....	36
8.4.2 Primjeri postupaka brtvljenja statičkim brtvama .....	36
8.4.3 Održavanje statičkih brtvljenih spojeva .....	36
8.4.4 Odlaganje statičkih brtvljenih spojeva .....	38
<b>Dodaci.....</b>	<b>39</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>51</b>

## Ishodi učenja:

- Razumijevanje osnova brtvljenja** (brtvljene, struktura, sistematizacija i svojstva; *identifikacija vrste brtvljenja, selekcija vrste brtve za statičke i dinamičke uvjete*).
- Usvajanje znanja iz osnova statičkih brtvljenih spojeva** (morfologija, sistematizacija i svojstva statičkih brtvljenih spojeva).
- Savladane osnove usvajanja statičkih brtvljenih spojeva** (zahtjevi, konstruiranje i kontrola; *određivanje geometrije žljeba za O prsten*).
- Savladane osnove primjene statičkih brtvljenih spojeva** (izrada, pogon, održavanje, odlaganje).

## 8.1 Brtvljeni spojevi

### 8.1.1 Brtvljenje



Do makro toka fluida između dva uzajamno spojena prostora (*miješanje, istjecanje*) dolazi kada u njima vladaju različiti tlakovi (*fluid teče iz prostora s većim u prostor manjim tlakom*). Međutim, u konstruiranju uvijek treba analizirati i mogućnost pojave mikro toka – difuzije, osobito ako su u sustavu i/ili okolini prisutni zapaljivi, eksplozivni ili štetni fluidi.

**Brtvljenje** – konstrukcijsko rješenje kojim se na mjestu spajanja elemenata sustava sprječava (*ograničava*):

- (a) miješanje fluida između različitih radnih prostora sustava (*npr. voda za hlađenje i ulje za podmazivanje motora SUI*) – čime se sprječavaju nepoželjne promjene svojstava radnih fluida,
- (b) istjecanje fluida iz radnih prostora sustava u okolinu (*npr. voda za hlađenje, ulje za podmazivanje ili plin pod tlakom*) – čime se sprječavaju onečišćenja vanjskih površina sustava i okoline,
- (c) prodiranje nečistoća iz okoline u radne prostore sustava (*npr. voda ili prašina*) – čime se sprječavaju promjene uvjeta rada elemenata sustava.

Troškovi izrade neposrednog potpunog nalijeganja površina osnovnih elemenata na mjestima spajanja u pravilu su veliki te se koriste prikladni dopunski elementi – brtve, koje se ugrađuju između osnovnih elemenata.

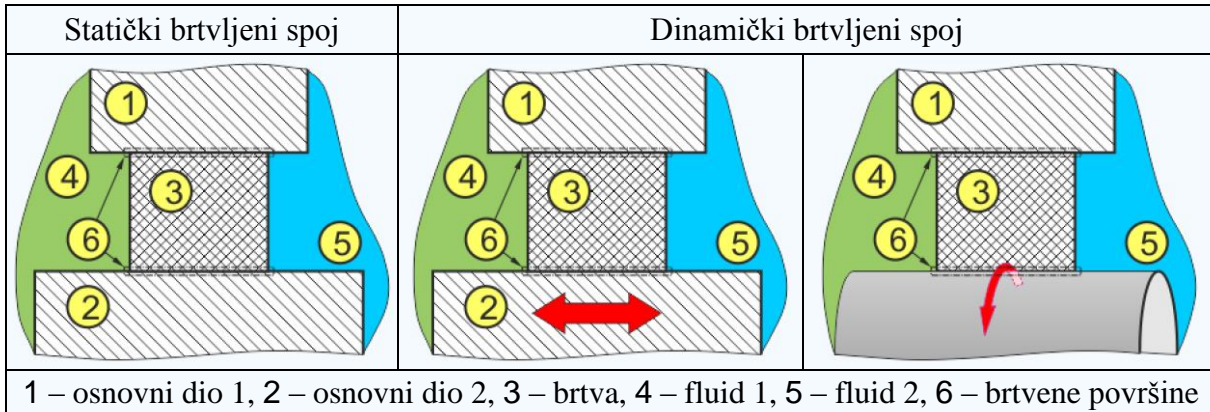
Pokazatelj propusnosti brtvljenih spojeva (*zračnosti na mjestima kontakata dijelova brtvljenih spojeva, prskotine brtvi, difuzije kroz brtve*) jeste protok, koji se mjeri u pogonskim uvjetima i izražava u pogodnim jedinicama, na primjer:

$$[\dot{m}] = \mu\text{g} / (\text{s} \cdot \text{m}) \text{ ili } \text{mL} / (\text{s} \cdot \text{m})$$

Prikladnim se konstruiranjem usklađuje dozvoljena propusnost brtvljenog spoja (često nije potrebna potpuna nepropusnost:  $[m] = 0,00 \mu\text{g} / (\text{s} \cdot \text{m})$ ) s troškovima njegove izrade/pogona.

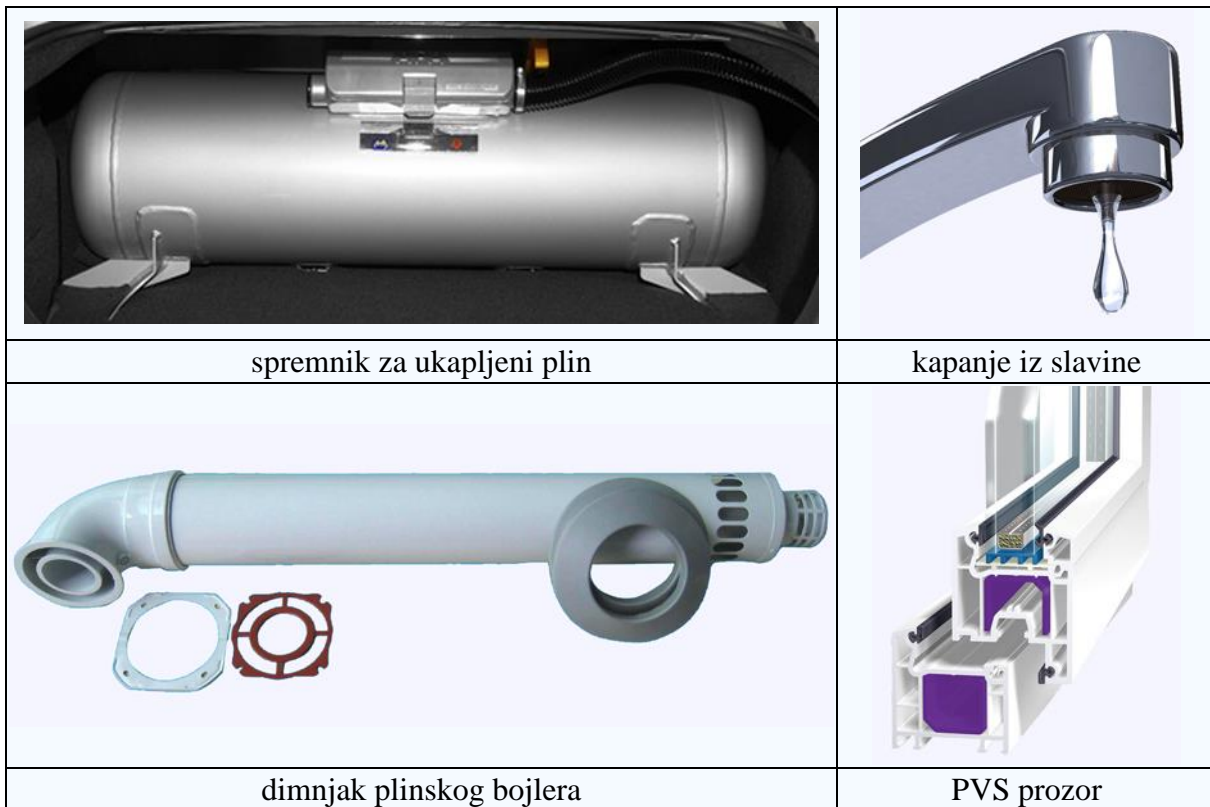
### 8.1.2 Struktura brtvljenih spojeva

**Brtvljeni spoj** – obuhvaća relevantne dijelove osnovnih elemenata (npr. poklopac i spremnik goriva motornog vozila) i pomoćnih (npr. vijak, podloška, navrtka) i brtvu koja se nalazi između osnovnih elemenata.



Slika S-09.01 Slikovite sheme brtvljenih spojeva [Childs (204), str. 192]

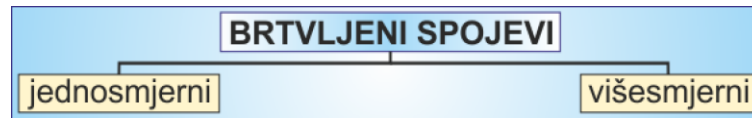
**Brtva** – pomoćni element koji osigurava nepropusnost spoja osnovnih elemenata sustava.



Slika S-09.02 Primjeri za diskusiju o brtvljenim spojevima

### 8.1.3 Vrste brtvljenih spojeva

Ovisno o smjeru brtvljenja razlikuju se:



Na primjer, brtvljeni je spoj bloka motora i cilindarske glave višesmjernan (*S-10.01*) – mora spriječiti prodor:

- vode u: smjesu (*usisavanje*), ulje (*pregrijavanje*), okolinu (*pregrijavanje, smrzavanje*);
- ulja u: smjesu (*usisavanje*), vodu (*pregrijavanje*), okolinu (*pregrijavanje*);
- produkata izgaranja (*izgaranje*) u vodu ili ulje.

Ovisno o gibanju elemenata brtvljenog spoja razlikuju se:



Kod statičkih brtvljenih spojeva svi elementi brtvljenog spoja miruju dok se kod dinamičkih brtvljenih spojeva bar jedan element giba. U Elementima strojeva 1 obuhvaćeni su statički brtvljeni spojevi a u Elementima strojeva 2 dinamički brtvljeni spojevi.

### 8.1.4 Opća svojstva brtvljenih spojeva

Za učinkovito brtvljenje neophodno je uzajamno nalijezanje brtvenih površina, minimalno po jednoj brtvenoj liniji. Prema tome, elementi brtvljenih spojeva moraju biti prikladno oblikovani (*uključivo tolerancije, dimenzija, oblika i položaja*), s određenim hrapavostima i tvrdoćama dodirnih površina, te postojani na djelovanje vanjskih utjecaja tijekom pogona.

Brtvljeni se spojevi moraju sustavno analizirati kao funkcionalne cjeline – istraživanja su pokazala da u uzrocima otkaza sudjeluju same brtve sa samo oko 10 %. [*Wittel (2011), 661*]

Izbor brtvljenih spojeva ovise o:

- (a) vrsti i oblicima elemenata,
- (b) geometriji elemenata (*makro i mikro*),
- (c) svojstvima materijala elemenata (*osnovni i pomoćni*),
- (d) uvjetima rada (*tlak, temperatura, brzina, trenje, radni fluid, okolina*), te
- (e) prihvatljivim troškovima (*konstruiranje, elementi, održavanje*).

Fitney [*(2007), 20 ÷ 21*] navodi faktore koji utječu na izbor brtvljenog spoja iz kojih slijede i svojstva brtvljenih spojeva:

- interval temperatura (*temperaturna postojanost*),
- interval tlakova (*čvrstoća, modul elastičnosti, tvrdoća*),
- brtvljeni fluidi (*kemijska i fizičkokemijska postojanost*),
- okolina (*kemijska i fizičkokemijska postojanost*),

## 12 Elementi strojeva 1

- integritet brtvljenog spoja (*čvrstoća, modul elastičnosti*),
- materijali uzajamno dodirnih površina (*pokazatelji trenja i trošenja*),
- vijek trajanja,
- uvjeti održavanja,
- obim proizvodnje,
- postupak montaže,
- kriteriji ispitivanja i nadzora,
- stečena iskustva konstruktora,
- stupanj savitljivosti i relativna gibanja uzajamno dodirnih površina,
- otpornost na mehanička, tlačna, toplinska opterećenja,
- industrijske norme i praksa,
- sterilnost i higijenska prikladnost,
- uhodani običaji i praksa u određenoj industriji.

Prema tome, u velikoj se mjeri razlikuju svojstva brtvi odabranih za različite potrebe, na primjer, spojevi lijevanih dijelova kućišta mjenjača, spojevi cijevi u prehrambenoj industriji, spojevi dijelova vakumiranog prostora u elektroničkoj industriji, spojevi cijevi visokotlačnog parovoda u procesnoj industriji.

Shigley [(2004), 784] navodi najvažnija svojstva brtvi brtvljenog spoja i metode koje se koriste u njihovom ispitivanju:

**TABLE 25.2 Identification, Test Method, and Significance of Various Properties Associated with Gasket Materials**

Property	Test method	Significance in gasket applications
Sealability	Fixtures per ASTM F37-62T	Resistance to fluid passage
Heat resistance	Exposure testing at elevated temperatures	Resistance to thermal degradation
Oil and water immersion characteristics	ASTM D-1170	Resistance to fluid attack
Antistick characteristics	Fixture testing at elevated temperatures	Ability to release from flanges after use
Stress vs. compression and spring rates	Various compression test machines	Sealing pressure at various compressions
Compressibility and recovery	ASTM F36-61T	Ability to follow deformation and deflection; indentation characteristics
Creep relaxation and compression set	ASTM F38-62T and D-395-59	Related to torque loss and subsequent loss of sealing pressure
Crush and extrusion characteristics	Compression test machines	Resistance to high loadings and extrusion characteristics at room and elevated temperatures



Mott [(2004), 538] navodi da na izbor utječu:

1. priroda fluida koji se skladišti ili čija se prisutnost mora isključiti,
2. tlak s obje strana brtvljenog spoja,
3. bilo kakva vrsta te priroda uzajamnog gibanja elemenata brtvljenog spoja,
4. temperature u svim elementima brtvljenog spoja,
5. stupanj zabrtvljenosti – je li dozvoljeno određeno curenje,
6. vijek trajanja sustava,
7. priroda čvrstih materijala elemenata s kojima brtva dolazi u doticaj (*korozijski potencijal, hrapavost, tvrdoća, otpornost na trošenje*).

## 8.2 Osnove statičkih brtvljenih spojeva

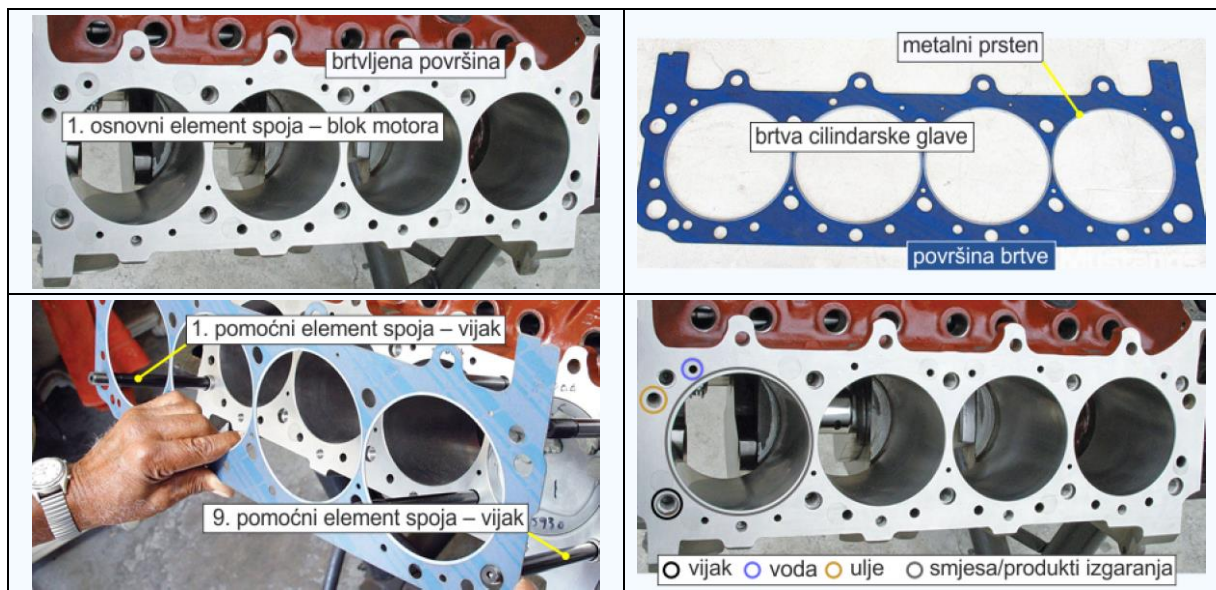
### 8.2.1 Struktura statičkih brtvljenih spojeva

Statičke brtve koriste se za brtvljenje poklopaca, cjevovoda, priključaka, ispusta.

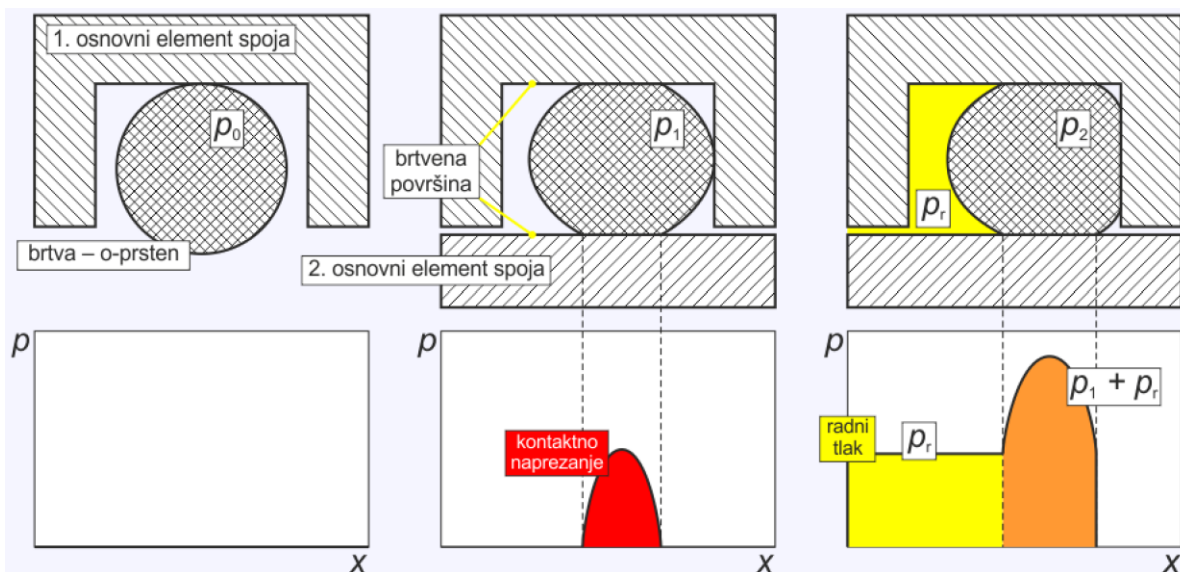
**Statički brtvljeni spojevi** – svi elementi brtvljenog spoja miruju.

Često su sretani statički brtvljeni spojevi s:

8. pločastim brtvama – **S-09.03** i
9. o-prstenima (*prsten okruglog poprečnog presjeka*) – **S-09.04**.



Slika S-09.03 Brtvljeni spoj bloka motora i cilindarske glave (*nije prikazana cilindarska glava*)



Slika S 09.04 Statički brtvljeni spoj s o-prstenom (načelo brtvljenja  $p_2 = p_1 + p_r$ )

### 8.2.2 Fizika statičkih brtvljenih spojeva

Steinhilper2/211÷213,

Strujanje medija kroz brtvljeni spoj prestaje prije dovođenja zračnosti na nulu [Decker1987/457...].

Praktično je nemoguće postići dovoljno ravne površine za postizanje efekta brtvljenja [Decker1987/457...].

Za međusobno izravnavanje kontaktnih površina neophodno je tečenje materijala [Decker1987/457...].

Zaptivost brtvljenog spoja ovisi o [Decker1987/457]:

1. aktualnom mediju (tekućine, pare, vlažni plinovi, suhi plinovi) – suhi plinovi zahtijevaju potpuno nalijeganje brtvljenih površina te je potrebno pritiskom premašiti granicu tečenja materijala,
2. geometriji brtvljenih površina (paralelnost, valovitost, hrapavost),
3. dimenzijama brtve (duljina, širina, debljina),
4. trajanju opterećenja brtve – tijekom vremena dolazi do deformacija brtvljenih površina uslijede puzanja materijala,
5. prirode (istosmjerno, izmjenično) i učestalosti promjene dinamičkih opterećenja.

### Opterećenja, naprezanja i deformiranja krutina

Uzrok su promjena krutina (konstrukcijskih materijala) vanjska opterećenja (vanjski utjecaji):

- mehanička,
- toplinska,
- električna ....

U analizi brtvljenja statičkim brtvama od posebnog značaja su mehanička opterećenja.

Toplinska opterećenja treba imati u vidu zbog promjena:

- (a) veličina stanja fluida ( $\rho, p, v$ ) i
- (b) promjena dimenzija krutina ( $\gamma, \beta, \alpha$ ).

Pored toga, s promjenama temperature mijenjaju se kemijski potencijali, te brzine difuzije i kemijskih reakcija (*elementi brtvljenog spoja, medij, okolina*).

Električna su opterećenja značajna u slučajevima postojanja opasnosti od:

1. eksplozije te
2. razvoja kontaktne korozije i korozije lutajućim strujama.

Statički brtvljeni spoj mora imati u slučaju opasnosti od eksplozije maksimalno moguću  $\rho$  (*ne smije ometati uzemljenje*), a u slučaju opasnosti od korozije minimalno moguću  $\rho$  (*moraju ometati protjecanje korozijske struje*).

### *Mehanička opterećenja*

#### *Naprezanja*

#### *Deformiranja*

## **Volumen, tlak i temperatura fluida**

### *Volumen*

### *Tlak*

### *Temperatura*

### **8.2.3 Vrste i primjeri statičkih brtvi**

*Decker/456-457, GroteD/662-663, Haberhauer/255-256, Steinhilper/2/217, Childs/193-194, Wittel/678, Kutz1/1171,1174, Lingaiah/462-463,476, Dorf/387-390,*

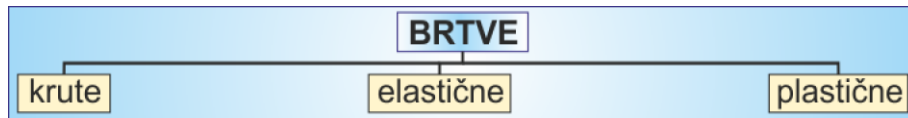
Na temelju tvrdoće materijala od koga su izrađene razlikuju se:





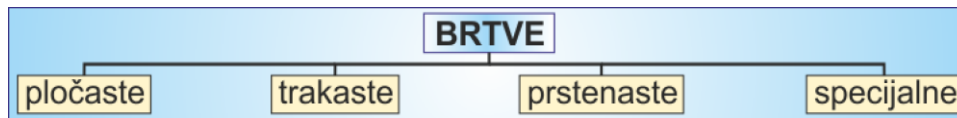
Za razliku od tvrdih brtvi, meke se brtve već pri manjim silama pritezanja u velikoj mjeri prilagođavaju mikro neravninama kontaktnih površina spajanih osnovnih elemenata, a izrađuju se od različitih prirodnih (*npr. kudelja*) i umjetnih materijala (*npr. guma*). Brtvene su mase u fazi nanošenja na kontaktne površine spajanih elemenata tjestaste, te takve i ostaju ili dolazi do njihovog očvršćavanja.

Ovisno o deformiranju pri pritezanju/otpuštanju spoja razlikuju se:

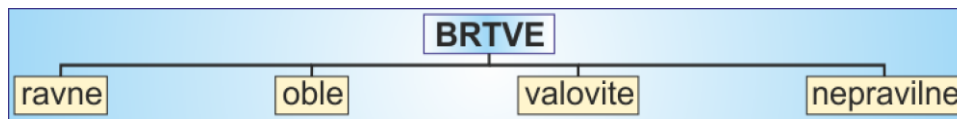


Krute se brtve pri pritezanju značajno manje deformiraju od elastičnih i plastičnih. Elastične brtve po rasterećenju poprimaju prvobitne dimenzije, a plastične ostaju deformirane.

Prema obliku razlikuju se:



Prema poprečnom presjeku razlikuju se:



## Pločaste brtve

Pločaste brtve imaju jednu dimenziju (*debljinu*) značajno manju od druge dvije.



Pločaste brtve su dominantno jednake debljine a njihove čelone površine u cijelosti naliježu na kontaktne površine spojenih dijelova (*izvan kontaktnih površina može se predvidjeti nokat za odvajanje pri demontaži*). Brtvljenje spoja se postiže uzajamnim pritezanjem spajanih elemenata pri čemu se brtva u određenoj mjeri deformira.

Izrađuju se o brojnim različitim oblicima a najviše se koriste u izvedbi statičkih brtvljenih spojeva dijelova cjevovodnih mreža (*prirubnice cijevi, armatura i spremnika*) te dijelova motora

SUI (poklopci cilindarskih glava i crpki za vodu, spojevi dovoda smjese/zraka i odvoda produkata izgaranja) u industriji motornih vozila.

## Trakaste brtve

**Trakaste brtve** imaju jednu dimenziju (*duljinu*) značajno veću od duge dvije.



Trakaste su brtve dominantno jednakog presjeka a samo jedan dio njihove površine naliježe na površine spajanih elemenata. Brtvljenje spoja se postiže predsabijanjem pri sklapanju i ili uzajamnim pritezanjem spajanih elemenata pri čemu se brtva u značajnoj mjeri deformira.

Izrađuju se s brojnim različitim poprečnim presjecima a najviše se koriste u građevinarstvu (*brtvljenje vrata i prozora*) te pri spajanju stakala s metalnim dijelovima karoserije u automobilskoj industriji.

## Prstenaste brtve

**Prstenaste brtve** su izrađene u obliku prstena a imaju poprečni presjek jednostavnog geometrijskog oblika.



Prstenaste se brtve izrađuju s različitim oblicima poprečnog presjeka a samo jedan dio njihove površine naliježe na površine spajanih elemenata. Brtvljenje spoja se postiže predsabijanjem pri montaži sklopa (*djelovanje pogonskog tlaka poboljšava brtvljenje*) ili uzajamnim pritezanjem spajanih elemenata pri čemu se brtva u značajnoj mjeri deformira..

Najčešće se koristi prstenasta brtva okruglog presjeka – o-prsten.

## Specijalne brtve

Velik je broj različitih specijalnih brtvi specifičnih oblika prilagođenih geometrijama spajanih elemenata. U specijalne brtve spadaju i brtve dobivene kombiniranjem pločastih, profilnih i/ili prstenastih brtvi.

### 8.2.4 Materijali za izradu statičkih brtvi

*Antaki2003/374÷376, Ashby2002/203,206,213,217÷220,235,241, Ashby2005/145÷148, Elcic1973/600, Haberhauer/263 Kutz1/1174, Shigley/780-785, Mott/541-542,*

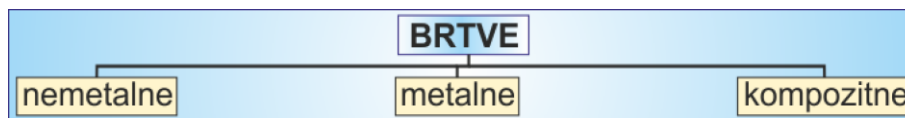
Materijali za izradu brtvi se biraju na temelju vrste fluida s kojima brtve dolaze u kontakt tijekom pogona te radnih uvjeta brtvljenog spoja (*prije svega mehanički i toplinski*).

U izboru materijala statičke brtve moraju se uzeti u obzir sljedeće karakteristike [*Dec-ker1987/456, Antaki2003/374*]:

- nepropusnost (*difuzija*),
- mehaničke (*čvrstoća, nepropusnost, mikroprikladljivost kontaktnim površinama elemenata, postojanost oblika i ponovno vraćanje u prvobitni oblik i dimenzije, modul elastičnosti*),
- toplinske (*toplinska vodljivost, temperaturna rastezljivost, temperaturna postojanost*),
- neljepljivost (*na kontaktne površine osnovnih elemenata*),
- kemijska postojanost (*bubrenje, otapanje, korozija, starenje*),
- otpornost na eroziju (*trošenje uslijed djelovanja struje medija*),
- dobavljaljivost i cijena.

Pored toga, moraju se uzeti u obzir ograničenja koja koja proizvođači brtvi navode u tehničkim podlogama te iskustva stečena s istim brtvama korištenim u sličnim uvjetima.

Materijali od kojih se izrađuju brtve mogu se svrstati u tri grupe:



#### Nemetalne brtve

Primjeri su materijala korištenih u izradi nemetalnih brtvi [*Elčić1987/636*]:

1. Impregnirani **papir** i **karton** – impregnacijom se postiže nepropusnost poboljšava kemijska postojanost.
2. **Vlakna od kudjelje, jute, pamuka, drveta** i druga biljna vlakna – u pravilu se impregniraju i koriste u izradi jeftinijih brtvi za rad u lakšim pogonskim uvjetima.
3. **Koža** – u izradi brtvi se koristi štavljena i potom impregnirana koža. Može se upotrebljavati u području temperatura – 10 ÷ 105 °C.
4. **Pluto** – sastoji se od usitnjene kore hrasta plutenjaka i veziva. Pluto je jeftino, lako se deformira ali ne teče. Uz brtvu od pluta korodiraju površine elemenata izražene od legura aluminija i magnezija te nehrđajući čelici.

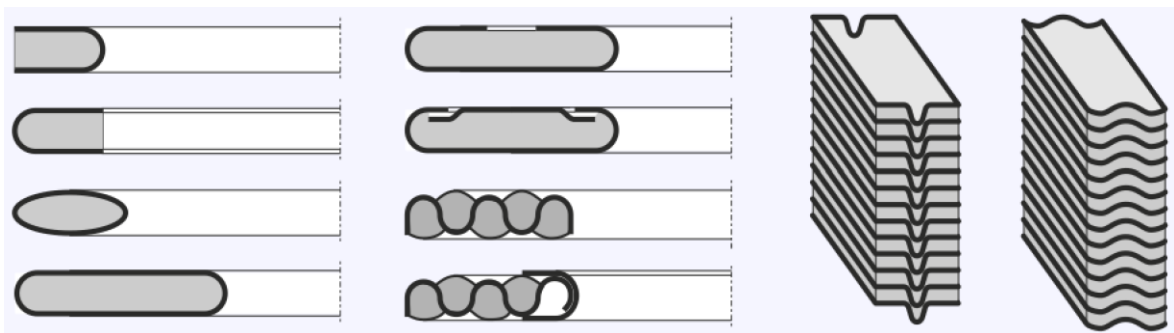
5. **Azbest** – prirodni sirovi azbest ima slaba mehanička svojstva a pri temperaturama oko 750 °C se raspada. Pri preradi se azbest miješa s prikladnim vezivima i dodacima te oblikuju brtvne ploče i pletenice različitih dimenzija.
6. **Gume** – u izradi brtvi se koriste prirodne gume (*materijali na bazi prirodnog kaučuka*) i umjetne gume – materijali na bazi polimera, svojstava u manjoj ili većoj mjeri različitih od prirodnih guma. Zajedničko im je svojstvo velika is-tezljivost  $A = 100 \div 700 \%$ .
7. **Plastične mase** – koriste se samo termoplasti (*polietilen, polivinilklorid, poliamidi, teflon*) a brtve različitih oblika izrađuju prešanjem i brizganjem.
8. **Grafit** – bez dodatka veziva može se koristiti do temperature od 800 °C.

### Metali

Pri umjerenim temperaturama i tlakovima se u izradi brtvi koriste **bijeli metal** (*legura kosit-ra, bakra i antimona*), **kositar, olovo, aluminij, meki bakar, mjed, bronce, nikal i legure nikla** te **čelici** (*nelegirani, legirani i specijalni*), **lijevano željezo, srebro, platina** (*temperaturno postojana do 1300 °C*), **steliti** (*legure kobalta, kroma i volframa*).

### Kompoziti

Brtvama izrađenim od više materijala zadovoljavaju se složeniji zahtjevi brtvljenja. Prim-er su brtve od čelika s umetnutim azbestnim djelovima (*u instalacijama s vodom i/ili uljem za brt-vljenje spojeva u radnim uvjetima povišenih  $q$  i  $p = 20 \div 25$  bar*).

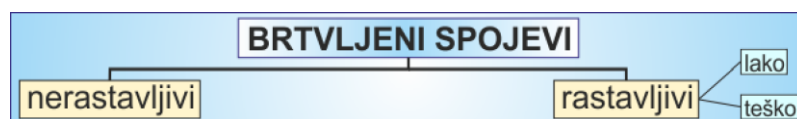


Slika S-08.23 Plosnate kompozitne brtve

### 8.2.5 Vrste i primjeri statičkih brtvljenih spojeva

Avallone/768, Decker/456-457, Lingaiiah/462-463, 465, 476

Ovisno o mogućnosti rastavljanja razlikuju se:



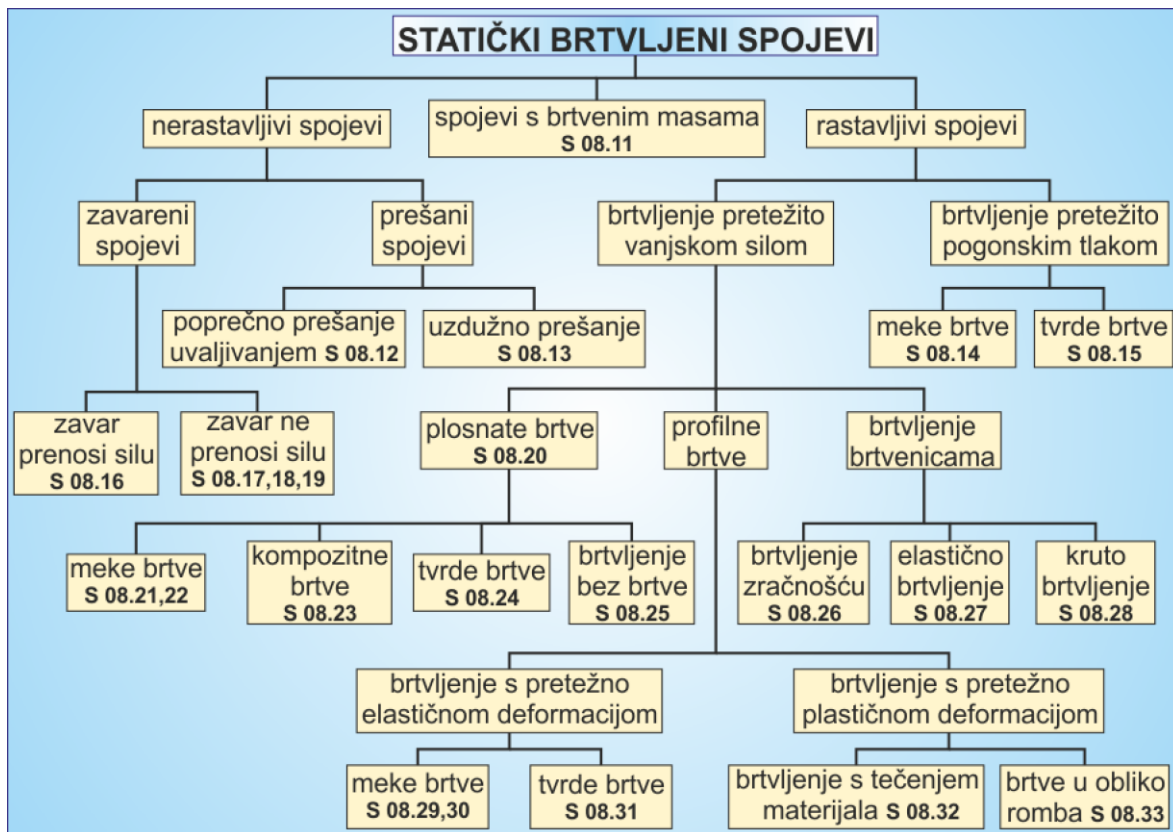
Pri razdvajanju nerastavljivih statičkih brtvljenih spojeva neizbježno je razaranje spojenih di-jelova. Za razdvajanje teško rastavljivih brtvljenih spojeva potrebni su specijalni alati, preše i/ili oprema za grijanje dijelova spoja.

Prema načinu brtvljenja razlikuju se:



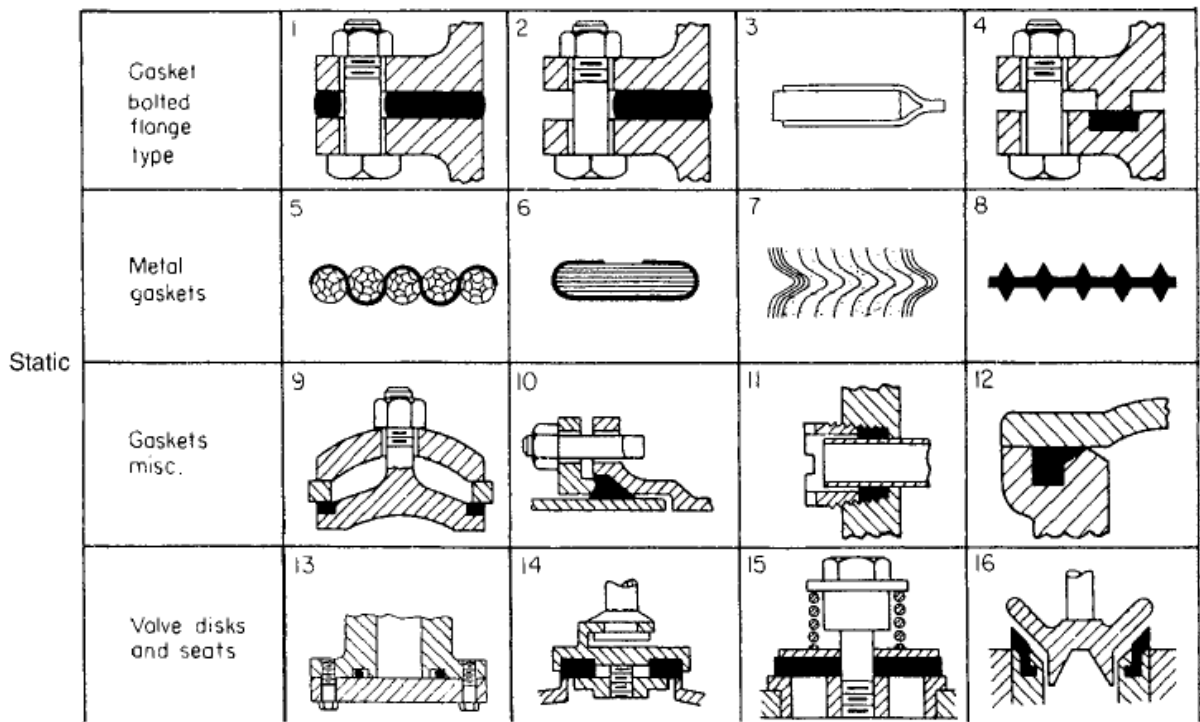
Kod materijalnih spojeva materijali osnovnih spojenih elemenata spojeni su direktno (*zavarivanje*) ili indirektno (*lemljenje, lijepljenje*).

Sustavna klasifikacija načina brtvljenja je prikazana na **S 08.05** [Decker1987/458]



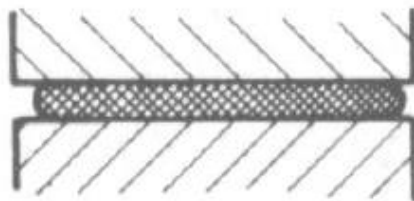
[Avallone2006/8-134]





### Statički spojevi s brtvnom masom

*Kit za brtvenje*, nanesen na naležne površine, stvara neku vrstu plosnate brtve (sl. 456). Najčešći je *manganski kit*. Kit se najčešće upotrebljava za provizorno brtvenje kod neravnih naležnih površina ili tamo gdje se ne predviđa rastavljanje veze. Upotrebljava se s ulošcima ili bez njih (valoviti limovi, žičane mreže, kudjeljne ili azbestne niti). Ulošci povećavaju čvrstoću brtvenja. U novije vrijeme upotrebljava se *silikonski kaučuk* u obliku *paste*, ili mase kao što je kit za brtvenje. Za brtvenje dijelova kućišta dolaze u obzir *umjetni lakovi* (do 80 °C), koji se na naležne površine nanose četkom.



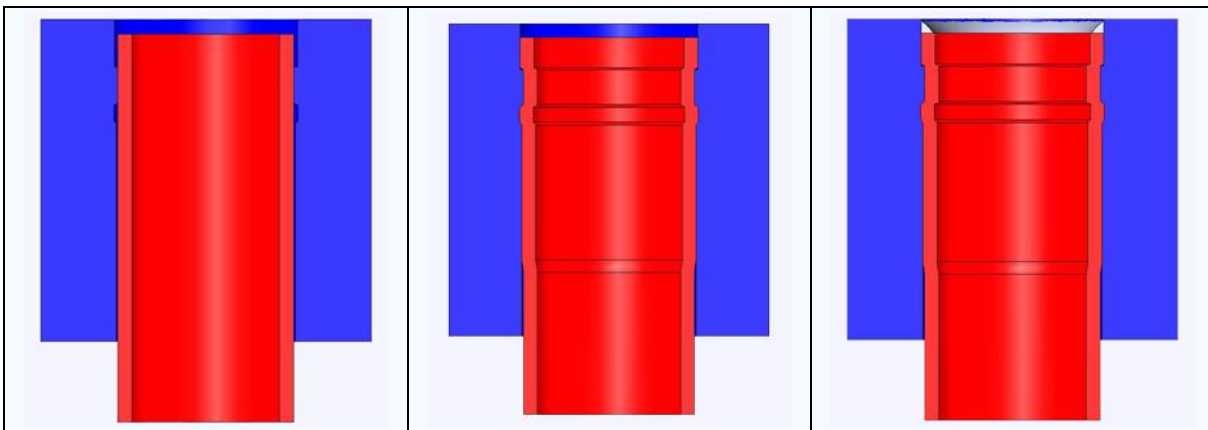
Slika S-08.11 Brtvljenje uz korištenje brtvene mase

### Nerastavljivi statički brtvljeni spojevi

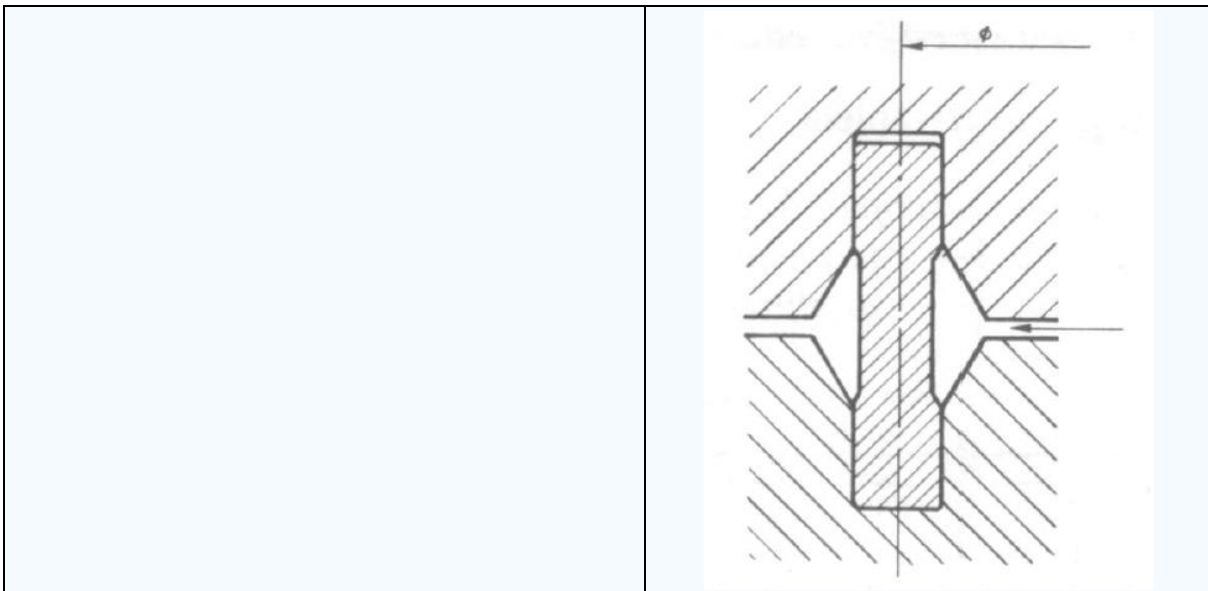
*Decker/457-458, Künne/423-424, Haberhauer/255-257, Niemann/893-895, Wittel/678-679,*

*Brtvenje uvaljavanjem* nerastavljivo je *poprečno uprešavanje*. Brtvi se tako da se proširivanjem cijevi uvaljanjem dobivaju visoki pritisci na naležnim površinama i dobro nalijeganje, koje brtvi. Čvrstoća spoja zavisna je od odnosa granice razvlačenja cijevi i materijala u koji se cijevi uvaljavaju. Čvrstoća spoja, kvaliteta i nalijeganje, mogu se utorima i porubljivanjem poboljšati. Ako postoji opasnost od nepropusnosti, može se zavarivanjem povećati sigurnost brtvenja, slika 454.

Brtvenje *uzdužnim prešanjem* (slika 455) ostvaruje se uprešavanjem čahure od čelika Cr-Mo u dijelove koji se brtve. Iz pritiska naležnih površina ostvarenih uprešavanjem može se zaključivati o postignutom efektu brtvenja. Upotrebljava se za brtvenje visokotlačnih turbina.



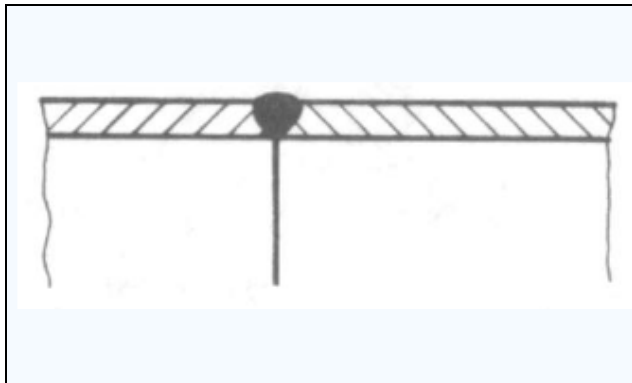
Slika S-08.12 Brtvljenje poprečnim prešanjem (*uvaljivanje*)



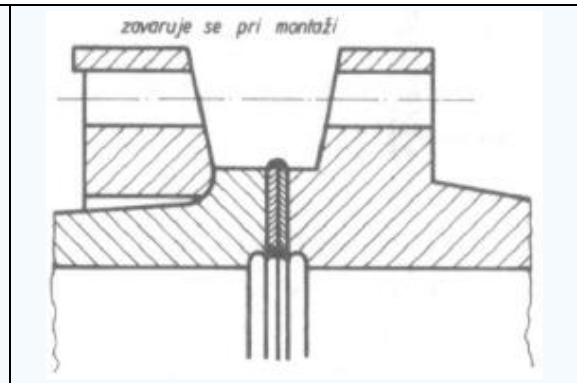
Slika S-08.13 Brtvljenje uzdužnim prešanjem (*stezni spoj*)

Zavareni spojevi kod kojih zavari prenose sile (sl. 450) su različiti oblici zavara cijevi i zavarenih spojeva koje najčešće i ne ubrajamo u brtvenje, nego u tzv. *nerastavljivo spajanje*.

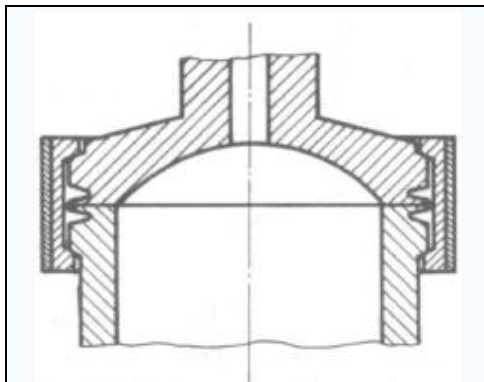
Zavareni spojevi kod kojih zavari ne prenose sile – brtvenje zavarivanjem imaju zadatak jedino da brtve, a sile prenose prirubnice i vijci (slika 451) ili kopče, (slika 452). Brtveni šavovi su bilo zavari na samim strojnim dijelovima (slika 452), bilo posebni prsteni membrane slike 451 i 453), koji su, zavisno od temperature, izrađeni od nelegiranog ili legiranog čelika (Cr–V). Nedostatak membranske brtve je unutarnji zavar (teško pristupačan), a kod zavora s prstenom zarezno djelovanje.



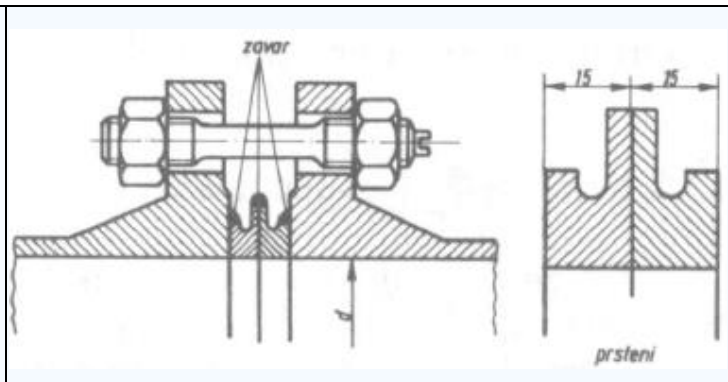
Slika S-08.16 Brtvljenje zavarivanjem – zavar prenosi silu



Slika S-08.17 Brtvljenje zavarivanjem – zavar ne prenosi silu



Slika S-08.18 Brtvljenje zavarivanjem – zavar ne prenosi silu



Slika S-08.19 Brtvljenje zavarivanjem – zavar ne prenosi silu

### Rastavljivi statički brtvljeni spojevi

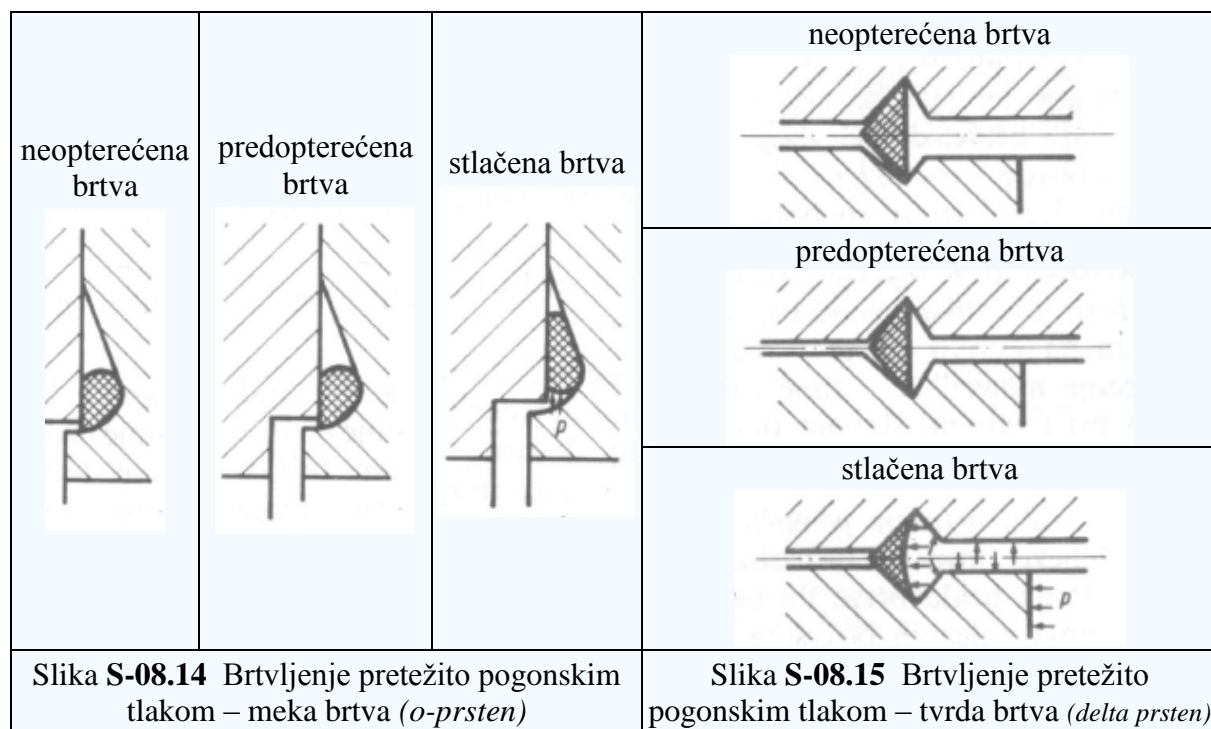
Decker/459-464, Künne/424-429, Kutz1/1175-1177,1179-1183, Haberhauer/257-265, Niemann/895-900, Witel/678-685, Lingaiah/380, Oberg/2502-2507,

Vrlo široka grupa rastavljivih brtvi dijelova koji miruju može se obuhvatiti pojmom *brtvenje prešanjem*, što označava međusobno tlačenje brtvenih površina. Brtvenje prešanjem ostvaruje se bilo vanjskim silama (sile vijaka prirubničkih spojeva), bilo pogonskim pritiskom. U prvom slučaju govorimo o brtvenju plosnatim i profilnim brtvama, a u drugom o automatskom brtvenju.

Pod *automatskim brtvenjem* podrazumjevamo takovo kod kojeg potrebne

sile brtvenja daje sam pogonski tlak. Za razliku od dosada spomenutih načina brtvenja, ovdje s porastom pogonskog tlaka raste efekt brtvenja.

*Meke brtve* su okrugli prsteni (O-prsteni) od gume. Pri ugradnji se deformiraju za oko 1/10 promjera prstena. Za vrijeme pogona unutarnji tlak tlači prstene na bokove utora, slika 471.



*Tvrde brtve* (delta-brtve) su čelični prsteni stožasta oblika, uloženi u utorima stijenke i poklopca. Princip djelovanja vidljiv je na slici 472. Prsten se djelovanjem unutarnjeg pogonskog tlaka deformira i tlači na kvalitetno obrađene površine utora. Za brtvenje potrebne su male deformacije.

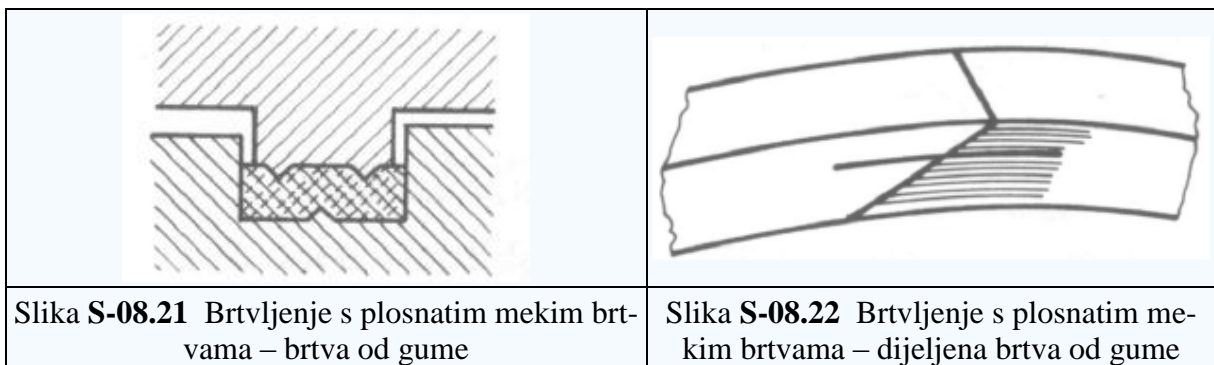


*Plosnate brtve* su male ali jednake debljine i predstavljaju najvažnije brtve. Glavna razlika između pojedinih plosnatih brtvi je materijal. Od materijala se zahtijeva da se prešanjem može deformirati, da deformiran opružno djeluje na površine tlačenja, da ima potrebna mehanička svojstva, tvrdoću, potrebnu opteretivost pogonskim pritiskom, postojanost u odnosu na temperaturne i kemijske utjecaje, te nepropusnost.

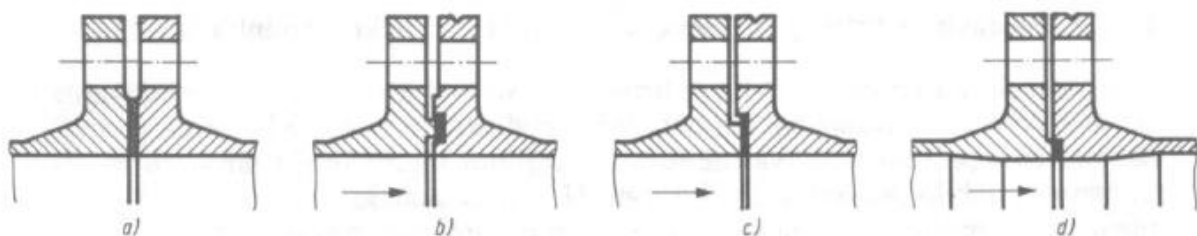
Za tzv. *meke brtve* upotrebljavaju se: *papir*, *karton* (natopljen uljem), *azbest* (u obliku pletiva ili ploča), *guma* (najčešće umjetna, kao što je buna S, perbunan, neopren i silikon), tzv. *It- materijali*, *koža*, *pluto*, *klobučina*, i razni plastici. Za tzv. *tvrde brtve* dolaze u obzir *metali*, kao što su: *olovo*, *aluminij*, *meki bakar*, a za visoke temperature *čelik* (meki čelik legiran Cr, Ni, Mo, V, Mn i Si).

It-materijali (materijali koji prema trgovačkom nazivlju završavaju na -it, npr. klingerit) s različitim fizikalnim i kemijskim svojstvima. Sadrže azbest kao toplinski otporan kostur, te malu količinu sintetičke gume, kao vezivo i punila.

*Meke brtve* mogu biti od jednog dijela ili sastavljene (dijeljene), slika 457. Na slici 458 prikazana je plosnata meka brtva od gume.



Oblikovanje površina koje se brtve *mekim plosnatim brtvama* vrši se zavisno od nazivnog tlaka, kako to pokazuje slika 459. Ravne naležne površine mogu se upotrijebiti i za veće tlakove, s tim da debljina mekih brtvi bude 1 do 2 mm, a za veće tlakove i manja.

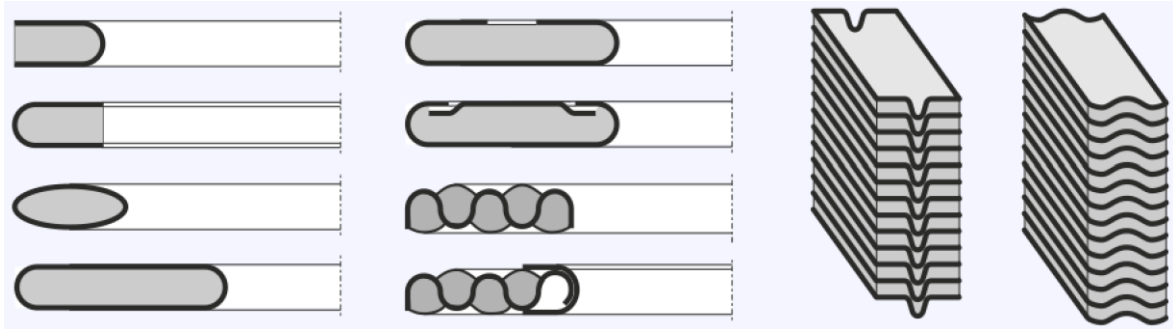


- (a) priрубnica s ravnom radnom površinom, (b) priрубnica s utorom i perom  
(c) priрубnica s izdankom, (d) priрубnica za brtvljenje spoja cijevi

Slika S-08.20 Brtvljenje s plosnatim brtvama



Brtve izrađene od više materijala, (slike 460a, b, c), kombinacija su od metalnih okvira ili uložaka izrađenih od bakarnog, mesinganog, olovnog, aluminijskog, nikalnog ili čeličnog lima, te ispune od mekog materijala za brtvenje.

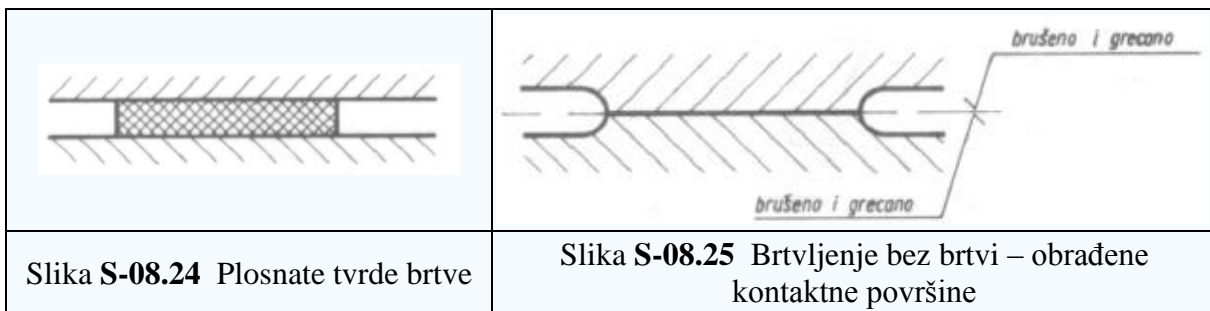


Slika S-08.23 Plosnate kompozitne brtve

Brtvama izrađenim od više materijala se postiže:

- povećanje čvrstoće i trajnosti (*moguća češća demontaža/montaža*) upotrebom punila, ugradnjom skeleta ili oblaganjem (*materijali pogodnijih mehaničkih svojstava*),
- povećanje kemijske otpornosti oblogom od kemijski otpornijeg materijala,
- postizanje nepropusnosti punilima (*potapanje u prikladne otopine*) ili ugradnjom ploča.

Plosnate tvrde brtve, (sl. 461) izrađuju se pretežno od metala visoke elastičnosti, da bi mogle izdržati visoke sile predzatezanja. Otpor prema promjeni oblika ne smije biti previsok, da bi se plastičnom deformacijom mogle izravnati neravnine brtvenih površina. Oblikovanje brtvi i površina brtvenja slično je kao kod plosnatih mekih brtvi.

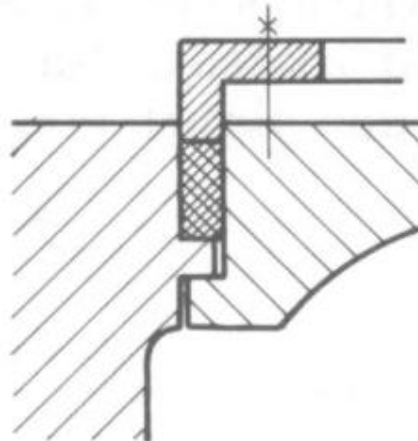


*Brtvenje bez brtvi* vrši se brušenjem i grecanjem brtvenih površina, koje naliježu neposredno jedna na drugu. Prednost takvog brtvenja je u tome da se spoj može proizvoljno mnogo puta rastaviti. Ovim načinom brtvenja moguće je točno održavanje mjera brtvenog spoja, ne može doći do zakošavanja pogrešnim pritezanjem, pogonsko sredstvo ne može biti onečišćeno, a ne postoji ni opasnost od razaranja. Nedostaci su u tome što su za brtvenje materijala velike otpornosti prema promjeni oblika potrebne velike sile da bi se izazvale neophodne plastične deformacije naležnih površina. Brižljivom obradom naležnih površina mogu se potrebne sile održati u prihvatljivim granicama. Na slici 462 shematski je prikazan ovaj način brtvenja.

#### *Brtvenje brtvenicama*

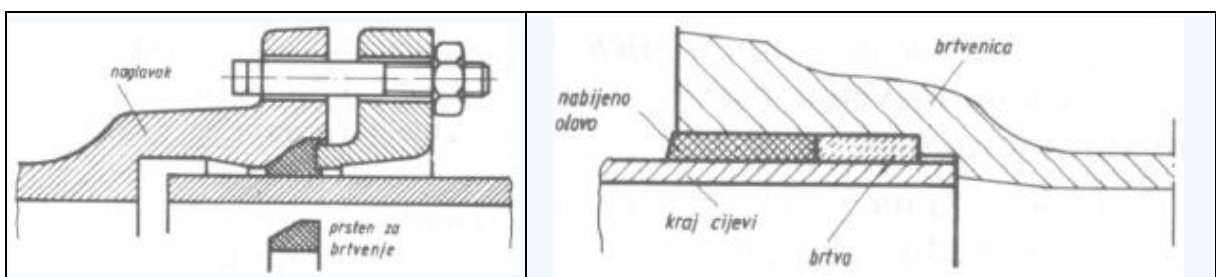
*Brtvenicama* se brtve visokotlačne posude. Prostor između poklopca i stijenke visokotlačne posude zatvoren je u obliku brtvenice (sl. 468). Sile poklopca preuzete su od stijenke posude.

*Elastično brtvenje brtvenicama* (sl. 469) vrši se gumenim prstenom koji se djelovanjem čeličnog prstena tlači. Takvo elastično spajanje cijevi ne omogućava preuzimanje uzdužnih sila, ali omogućava kutne i male uzdužne deformacije.



Slika S-08.26 Korištenje brtvenica – brtvljenje zračnošću

*Kruto brtvenje brtvenicama* (sl. 470). Uže namočeno u bitumen ili katran nabija se u prostor brtvenice i zatvara nabijanjem olova. Olovo preuzima sile koje djeluju na brtvenicu prijanjanjem uz hrapave površine livenih cijevi. Mala elastičnost olova omogućuje samo male deformacije cijevnog voda.



Slika S-08.27 Korištenje brtvenica –  
elastično brtvljenje

Slika S-08.28 Korištenje brtvenica – kruto brtvljenje

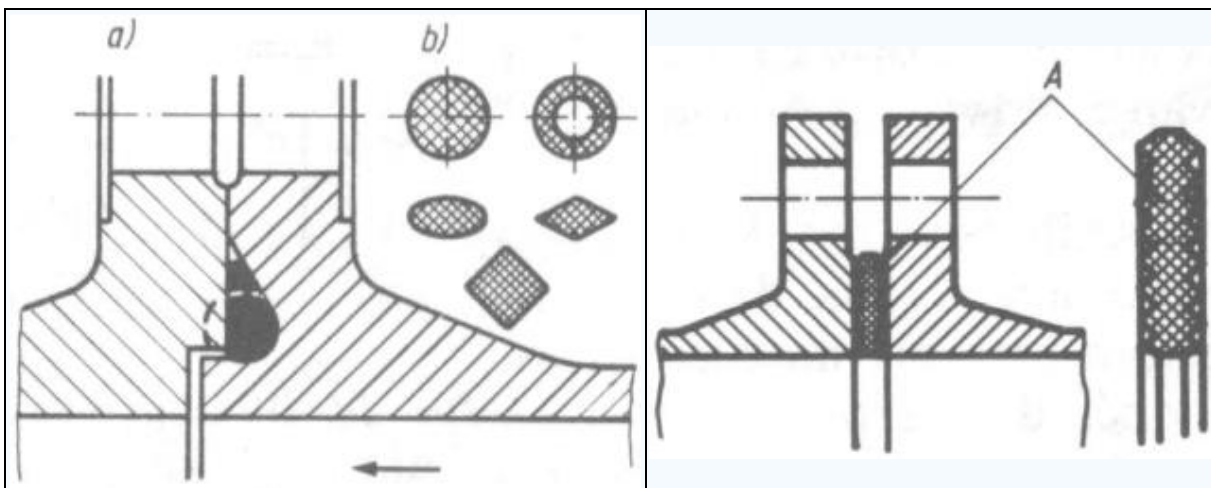
Dok kod plosnatih brtvi tlak djeluje na određenu površinu, kod profilnih brtvi se tlak koncentrira na relativno malu površinu (veličina površine ne može se točno definirati), zavisnu od opterećenja. Podjela na brtve s pretežno elastičnim ili pretežno plastičnim deformacijama govori o tome da se grupe preklapaju.

Kod spojeva koje treba češće rastavljati, brtva smije biti samo elastično deformirana.

*Meke profilne brtve* izrađuju se od gume i azbesta. Kod mekih profilnih brtvi imaju elastično-plastične deformacije u okviru predviđenog prostora određeno značenje. Na slici 463a prikazana je brtva od gume okrugla presjeka. Prvotni okrugli presjek prilagođuje se kod pritezanja vijaka sve više posebnom

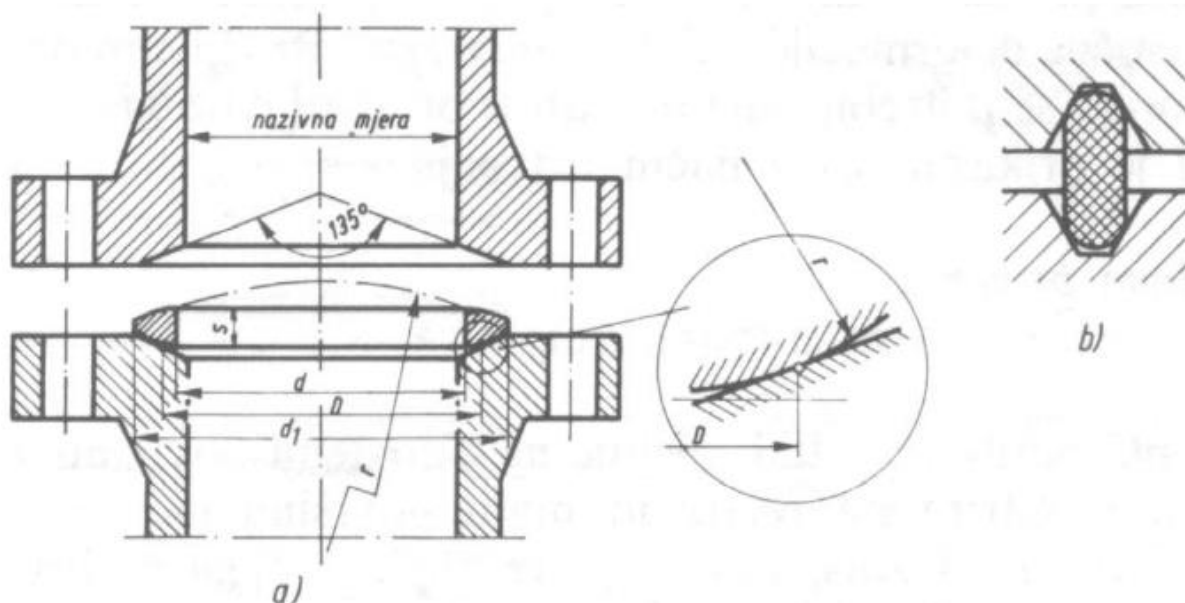
obliku između dviju prirubnica. To prilagođavanje ide sve dotle dok prirubnice ne sjednu jedna na drugu, kada daljnja deformacija nije više moguća. Prostor izrađen između prirubnica oblikovan je tako da tlak medija u cjevovodu deformira brtvu, zavisno od tlaka još dalje, poboljšavajući na taj način efekt brtvenja. Uobičajeni oblici brtvi prikazani su na slici 463b. Kod profiliranih brtvi u obliku češlja (sl. 464) dolazi do nalijeganja na koncentričnim naležnim površinama, na kojima se time povećavaju specifični pritisci.

Time se ispupčenja brtve prilagođuju neravninama naležnih površina. Šupljine se ispunjavaju grafitnom pastom ili tankim It-brtvenim materijalom.

Slika S-08.29 Brtvljenje s pretežito elastičnom  
deformacijom meke brtveSlika S-08.30 Brtvljenje s pretežito  
elastičnom deformacijom meke brtve



Tvrde profilne brtve izrađuju se od mekog željeza (armco) i legiranog čelika, bakra i lakih metala. Dodir u liniji kod neopterećene brtve prelazi opterećenjem u površinski dodir. Ta površina ne smije biti preuska zbog opasnosti da korozija ne prouzroči propusnost. Često se izrađuju kao profilne brtve, da bi snizile sile potrebne za pritezanje. Glavni oblici *tvrdih profilnih brtvi* prikazani su na slikama 465a i b. Materijal se bira zavisno od pogonske temperature. Osim toga je potrebno da pretežni dio elastičnih i plastičnih deformacija kod pritezanja bude u samoj brtvi.

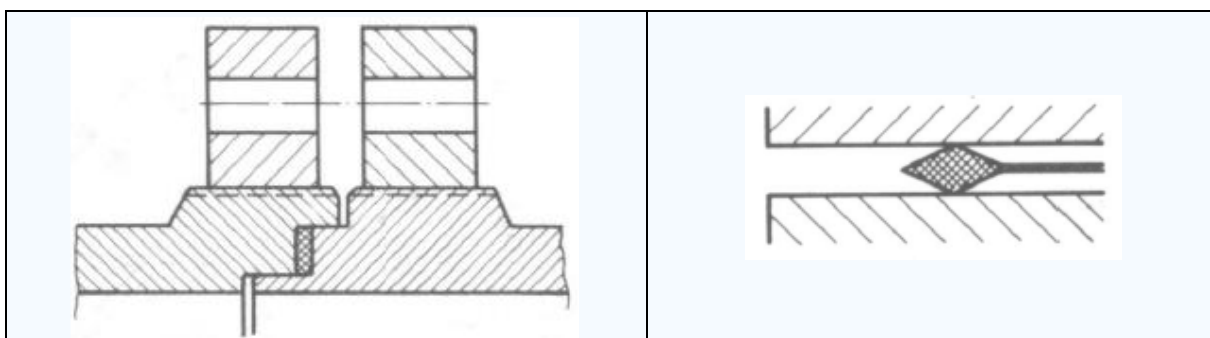


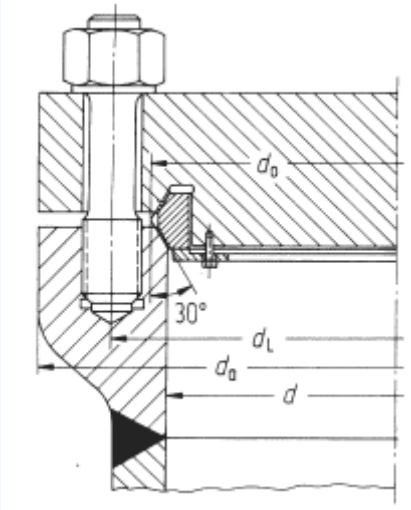
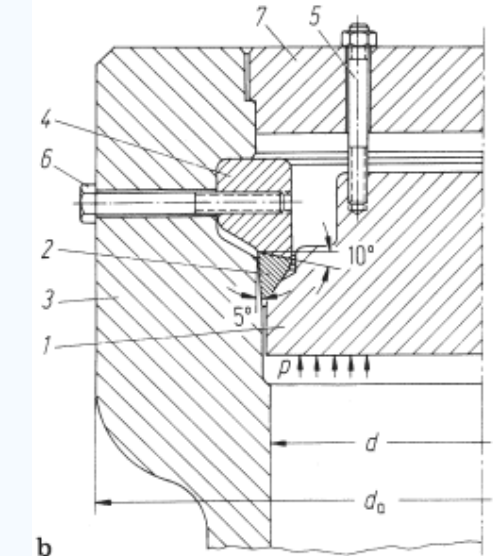
(a) utor za lećastu brtvu, (b) utor za prstenastu brtvu

Slika S-08.31 Brtvljenje s pretežitom elastičnom deformacijom tvrde brtve

Za brtvenje tečenjem materijala (sl. 466) upotrebljavaju se meki metali (aluminij, bakar, a na nižim temperaturama i guma), a brtve se ulažu u posebno oblikovan zatvoren prostor. Brtva se tlačenjem dovodi u stanje tečenja i djeluje kao tekućinom zatvoren prostor, zabrtvljujući sve putove za prolaz.

Za brtvenje pomoću brtvi u obliku romba (sl. 467) upotrebljava se meko željezo (armco). Bez obzira na visoku čvrstoću materijala brtve, dolazi zbog oštrog brida brtve do tečenja materijala, a time i do dobrog i točnog naliježanja naležnih površina i pri relativno slabom tlačenju. Rezultati su to bolji što je zašiljenost veća.



Slika S-08.32 Brtvljenje s tečenjem materijala	Slika S-08.33 Korištenje brtvi u obliku romba
	
Slika S-08.34 Brtvljenje s dvostrukim konusom	Slika S-08.35 Uhde-Bredtschneiderova Brtva

Dva su primjera brtvljenja

Hochdruckdichtungen. a) DN klein (Rohre): (s. Anh. K2 Tab. 1) Kammprofildichtung, Ring-Joint-Dichtung (h<sub>ufiges</sub> \_ffnen), Linsendichtung; b) DN groß (Apparateflansche): (s. Bild 32) Delta-Ring 14, Spaltdichtung 17 oder nach Bild 34 a Doppelkonusdichtung selbst\_tig mit 0;3 bis 1mm Aluminiumfolie als Zwischenlage und Uhde-Bredtschneider-Dichtung (Bild 34b), druckunterst\_tzt, ben\_tigt keine Schrauben und teuren Flansche.

### 8.2.6 Svojstva statičkih brtvljenih spojeva

[Grote2007/K22]

[Grote2007/K33] Haberhauer/262-265



Anh. K 2 Tabelle 1. Dichtungskennwerte für Gase und Dämpfe nach DIN 2505 [21]

Dichtungsart	Dichtungsform	Benennung	Werkstoff	Dichtungskennwerte			
				Vorverformen		Betriebszustand	
				$k_0$ mm	$k_0 \cdot K_D$ N/mm	$k_1$ mm	
Weichstoff- Dichtungen		Flachdichtungen nach DIN EN 1514-1	Gummi PTFE It	– – –	$2 b_D$ $25 b_D$ $b_D \frac{200}{\sqrt{b_D h_D}}$	$0,5 b_D$ $1,1 b_D$ $b_D \left(0,5 + \frac{5}{\sqrt{b_D h_D}}\right)$	
		Metall- Weichstoff- Dichtungen	Spiral-Asbest- dichtung	Asbest/ Stahl	–	$50 b_D$	$1,3 b_D$
			Welldichtung	Al Cu, Ms weicher Stahl	– – –	$30 b_D$ $35 b_D$ $45 b_D$	$0,6 b_D$ $0,7 b_D$ $1 b_D$
Blechummantelte Dichtung	Al Cu, Ms weicher Stahl		– – –	$50 b_D$ $60 b_D$ $70 b_D$	$1,4 b_D$ $1,6 b_D$ $1,8 b_D$		
Metalldichtungen		Metall- Flachdichtung	–	$1 \cdot b_D$	–	$b_D + 5$	
		Metall- Spießkantdichtung	–	1	–	5	
		Metall- Ovalprofil- dichtung	–	2	–	6	
		Metall- Runddichtung	–	1,5	–	6	
		Ring-Joint- Dichtung	–	2	–	6	
		Linsendichtung nach DIN 2696	–	2	–	6	
		Kammprofil- dichtung nach DIN 2697	–	$0,5 \sqrt{Z}$	–	$9 + 0,2 \cdot Z$	

Z = Anzahl d. Kämme

### 8.2.7 Norme statičkih brtvljenih spojeva

## 8.3 Usvajanje statičkih brtvljenih spojeva

### 8.3.1 Zahtjevi

Statički brtvljeni spojevi moraju ispunjavati sljedeće postavljene zahtjeve [Decker1987/456]:

- nepropusnost – često nije potrebna potpuna:  $m = 0,00 \mu\text{g}/(\text{s}\cdot\text{m})$ , koju mogu pratiti veliki troškovi izvedbe brtvljenog spoja (*ograničenja su temeljena na ugrožavanju sustava, zdravlja ljudi i/ili okoline*);
- mehaničke karakteristike – moraju podnijeti aktualna statička i/ili dinamička opterećenja tijekom pogona,
- toplinske karakteristike (*toplinska vodljivost, temperaturna postojanost*),
- kemijska postojanost (*uslijed kontakta brtve s fluidom ne smije dolaziti do kemijskih promjena niti fluida niti materijala brtve*) te postojanost na eroziju,

- (e) pogonska sigurnost (*otkaz brtve u pogonu može imati čak katastrofalne posljedice, npr. trovanja ili požare/eksplozije*),
- (f) tržišno prihvatljiva cijena,
- (g) rastavlјivost (*održavanje, popravke*),
- (h) vijek trajanja.

Pored brtvljenja statičke brtve mogu:

- centrirati spajane elemente (*u fazi montaže*) i
- prenositi opterećenja (*sile, momente i/ili toplinu*).

Statičke brtve, ovisno o električnoj vodljivosti materijala brtve, mogu uzajamno električno izolirati spojene osnovne elemente ili pak između njih provoditi električnu struju.

[Niemann (2005), 890÷892]

## Anforderungen/Funktionen

Zunächst ist sorgfältig zu prüfen, welche Funktionen die Dichtverbindung erfüllen soll und welche Randbedingungen zu beachten sind.

– *Schutzfunktion*: Schutzdichtungen sollen funktionsverschiedene Räume gegeneinander abdichten, zwischen denen keine oder nur eine kleine Druckdifferenz besteht (z. B. bedingt durch einen Ölstand oberhalb Wellenunterkante).

Beispielsweise soll die Schutzdichtung ein Lager gegen den Verlust von Schmierstoff schützen, und/oder die Umgebung gegen Verschmutzen durch das austretende Öl; oder aber die Dichtung soll das Lager gegen

Eindringen von Fremdstoffen (Staub, Abrieb, Feuchtluft, Spritz- oder Kühlwasser) schützen (bei Ölnebelschmierung dürfen Lager *nicht* vollständig abgedichtet sein; hier empfiehlt sich daher eine berührungsfreie Dichtung).

Entsprechend sind Schutzdichtungen Einweg- oder Zweiwegdichtungen (gegen Ein- oder/und Austritt).

– Gegen *Überdruck* abdichten. Druckdichtungen sollen Räume unterschiedlichen Drucks, sowie evtl. unterschiedlicher Stoffe und Temperatur gegeneinander abdichten. Hierzu ist ein Anpreßdruck zwischen den Dichtflächen erforderlich, der größer als der Innendruck ist; dieses Grundgesetz gilt sowohl für statische als auch dynamische Dichtungen.

– *Statisch* abdichten zwischen Elementen ohne Relativbewegung (z.B. zwischen den Flanschen zweier Rohrleitungen) oder *dynamisch* abdichten bei Relativbewegung (z.B. zwischen rotierender Welle oder längsbeweglicher Schubstange und stillstehendem Gehäuse).

– *Dichtheit*; dazu ist zu klären: Wie gefährlich sind Undichtheiten? Können die zu schützenden Maschinenteile oder die Dichtelemente selbst durch aus- oder eintretende Stoffe, z.B. durch Korrosion oder Erosion, beschädigt werden? Besteht Gefahr für Menschen oder Umwelt, z.B. durch giftige Betriebsstoffe?

Vollkommene Dichtheit ist oft nicht erforderlich und würde einen unnötigen Aufwand erfordern, z.B. wenn geringe Leckverluste nicht stören und Undichtheiten leicht zu beheben sind. Mitunter sind sie auch erwünscht; so sollen Stopfbuchspackungen auf eine Mindestleckrate eingestellt werden, gleichmäßig „tropfen“, da andernfalls eine zu große Presung erforderlich wäre, mit der Folge hoher Reibungsverluste und unzureichender Schmierwirkung. Dies gilt im Prinzip auch für viele dynamische Dichtungen. Bei Gas- und Dampfturbinen sind Leckagen unbedenklich, so lange der Wirkungsgrad nicht deutlich beeinträchtigt wird. Dagegen sind Leckagen von Pumpen und Verdichtern in der chemischen Industrie oft nicht zulässig. – Nach [19.3-3] beträgt die zulässige Undichtheit (Leckstrom pro Zeiteinheit und Einheit der Dichtungslänge) für „Normaldichtungen“ für Gas ca.  $10 \dots 100 \mu\text{g}/(\text{s} \cdot \text{m})$ , für Flüssigkeiten ca.  $0,1 \dots 1 \text{ mg}/(\text{s} \cdot \text{m})$ , bei hohen Anforderungen (Hochvakuum-Reaktor-Technik):  $10^{-3} \dots 10^{-5} \mu\text{g}/(\text{s} \cdot \text{m})$ . – Vollkommene Dichtheit erreicht man durch stoffschlüssige (statische) bzw. hermetische (dynamische) Dichtungen.

– *Betriebsstoff* und dessen Zustand (Temperatur und Druck), gegen den abgedichtet werden soll (Gas, Flüssigkeit, Schmutz, Staub). – Ist er giftig, aggressiv für Maschinenteile und Dichtungswerkstoff? Welchen Einfluß hat der Dichtungswerkstoff auf den Betriebsstoff?

– *Lösbarkeit*. Möglichst sollte man unlösbare (kostengünstige) Dichtverbindungen wählen. – Wenn die Verbindung selten gelöst werden muß, z.B. bei Verlegung von Rohrleitungen, sind beschränkt lösbare Verbindungen i. allg. ausreichend (dabei muß ein Teil der Verbindung zerstört werden). Für lösbare Verbindungen sollten wiederverwendbare, vorwiegend elastische Dichtelemente eingesetzt werden, es sollte möglichst keine Nacharbeit an den Sitzen erforderlich sein.

- *Reibungsverluste, Verschleiß* an Dichtelementen sind mitunter ein entscheidendes Auswahlkriterium; Schmierung, Kühlung sind in Betracht zu ziehen, evtl. berührungsfreie Dichtungen zu wählen.
- *Man beachte:* Dichtungen können *keine Führungsfunktion* (Zentrierung) übernehmen.
- *Definitionen:* Eine „unlösbare“ Verbindung kann nur durch Zerstören von Teilen der Bauelemente aufgetrennt und nicht durch einfache Nacharbeit wieder brauchbar gemacht werden.
  - Eine „bedingt lösbare“ Verbindung kann durch Ersatz von Dichtelementen und/oder einfache Nacharbeit der Verbindungsstelle wieder funktionsfähig gemacht werden.
  - Eine „lösbare“ Verbindung kann mit einfachen Mitteln gelöst und ggf. nach Einfügen neuer Dichtelemente ohne Nacharbeit wieder hergestellt werden.



Wegen der erwähnten Vielfalt der Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten wird dem Konstrukteur nachstehend eine – entsprechend der jeweiligen Situation unterschiedliche – Vorgehensweise empfohlen.

- Einfache Dichtungen, insbesondere Schutzdichtungen, kann der Konstrukteur mit den hier angebotenen Informationen selber auswählen und dimensionieren. Die benötigten Dichtelemente werden meist von Spezialfirmen bezogen (z.B. Flachdichtungen, O-Ringe, Radialdichtringe). Geeignete Typen, Größen, Werkstoffe, usw. wählt man i. allg. nach Herstellerkatalogen aus und schreibt die Einbaubedingungen, Bauraum, Bearbeitung, usw. der Dichtflächen vor.
- Für komplizierte Dichtprobleme (hohe Drücke, Temperaturen, Drehzahlen, besondere Betriebsstoffe und Anforderungen an die Dichtheit) werden nachstehend Hinweise zur Auswahl und Gestaltung geeigneter Dichtsysteme geboten sowie Hinweise auf Spezialliteratur. Dies gilt beispielsweise für Gleitringdichtungen und Hydraulikdichtungen. Auf der Basis der hiernach erarbeiteten Vorstellungen sollten dann Empfehlungen der Dichtungshersteller eingeholt werden.
- Zu Dichtungsproblemen in speziellen Anwendungsgebieten (Gas- und Dampfturbinen, Verdichtern, Pneumatik) und bei extremen Anforderungen (extreme Temperaturen, Drücke, aggressive Medien,....) beschränken wir uns auf eine Darstellung der Lösungsmöglichkeiten und Besonderheiten und verweisen auf die Spezialliteratur.
- In kritischen Fällen, insbesondere bei Neuentwicklungen, können oft auch die Dichtungshersteller nur Vorschläge für Versuchsmuster bieten, die unter Betriebsbedingungen erprobt werden müssen.
- Dichtungen in Verbindung mit bestimmten Maschinenelementen werden in den betr. Kapiteln behandelt: Wälzlager s. Kap. 14, Zahnradgetriebe s. Kap. 22 [19.3-5].

*Childs/193-194, Antaki2003/374, Antaki2003/381-387, Mott/538,*

... je sprecavarije da između dva funkcionalno razdvojena prostora dođe do toka medija iz jednog prostora u drugi. Brtve moraju ograničiti gubitke zbog propustivosti u takvoj mjeri da budu u potpunosti zadovoljeni zahtjevi u pogledu sigurnosti, a da pri tome omogućuju ekonomski povoljna konstruktivna rješenja.

Wegen der ganz verschiedenen Anforderungen, die an Dichtverbindungen in den Anwendungen des Maschinen- und Apparatebaues gestellt werden, gibt es keine einheitlichen physikalischen Grundlagen, kein einheitliches Lösungsprinzip. - Es ist daher zweckmasig, zunächst eine Liste der für die betreffende Anwendung erforderlichen Funktionen aufzustellen und damit die Zahl der Lösungsvarianten einzuengen.



### **8.3.2 Oblikovanje statičkih brtvljenih spojeva**

*Decker/455-456, DIN/499-501,502,534-536,611,638,650-653,836,845-846, Niemann/893, Childs/193-197, Shigley/785-801,653-656, Avallone/768-770, Dorf/387-390, Mott/538-541,*

*O-ring brtve Dorf/398-401, Mott/53, Kutzl/1177-1179, Lingaiah/469-471, TimingsN/308-333*

### **8.3.3 Dobri i loši statički brtvljeni spojevi**

*Lingaiah/472,*

### **8.3.4 Proračun statičkih brtvljenih spojeva**

*Haberhauer/257-259,261-264, Niemann/900-902, Childs/195,205, 245, Shigley/785-801, 653-656, Wittel/680-683, Kutzl/1174-,1175, Klebanov/16-18,257-260, Budynas/436,444,463-465, Dorf/398, Lingaiah/451-455,472, Norton/870-875, DINVDI/503-511,*

#### **1. Proračun statičkih brtvljenih spojeva**

### **8.3.5 Usvajanje statičkih brtvljenih spojeva**

*Klebanov/260-262,*

### **8.3.6 Crtanje i označavanje**

*Labish 2008*

## **8.4 Primjena statičkih brtvljenih spojeva**

*Antaki2003/387-390,395-397,473-474,*

### **8.4.1 Postupci brtvljenja statičkim brtvama**

*Steinilper2/248-250, Shigley/801,*

### **8.4.2 Primjeri postupaka brtvljenja statičkim brtvama**

*MuhsF/10(2.13),11(2,14),49(8.17),50(8.21),161,188,190,249,276,*

### **8.4.3 Održavanje statičkih brtvljenih spojeva**

*Antaki2003/387-390, Niemann/892, Steinilper2/244-248, Shigley/790-791,*

Pouzdanost brtvljenog spoja značajno utječe na sigurnost i ekonomičnost pogona strojeva.

Ein Versagen kann Menschenleben gefahrden sowie erhebliche Reparatur- und Folgekosten nach sich ziehen.

Das Versagen einer Dichtung kann schwerwiegende Folgen haben. So sind die Reparaturkosten beim Versagen einer Wellen- oder Kolbenabdichtung in der Regel vielfach groser als der Preis des ausgefallenen Dichtelements. Auserdem sind in besonders kritischen Fallen (z.B. ein undichtetes Bremssystem) Menschen und Umwelt unmittelbar gefahrdet.

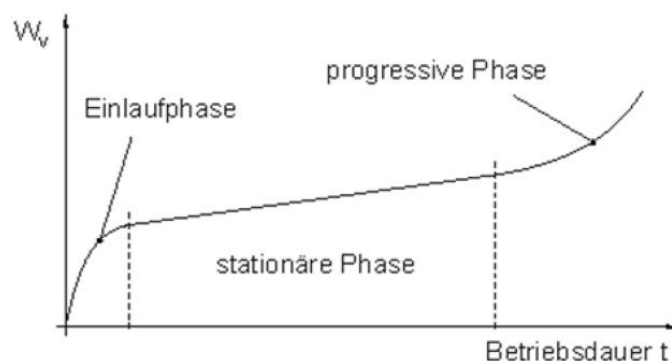
Das Funktionselement „Dichtverbindung“ umfaßt neben dem eigentlichen Dichtelement auch die Bauelemente, die gegeneinander abgedichtet werden sollen, ferner die Anpreßelemente. Außerdem muß bei der Auswahl% und Dimensionierung der Dichtverbindung der Betriebsstoff selbst einbezogen werden, der am Austreten oder Eindringen gehindert werden soll. Schadensanalysen haben gezeigt, daß nur 10% der Schäden auf einem Versagen der Dichtelemente, jedoch 90% auf einem Versagen der Verbindung beruhen [19.3-8]; Montagefehler spielen hierbei eine besondere Rolle.

31/247

Otkazi brtvi prije isteka vijeka trajanja su posljedice različitih uzroka. Primjeri su:

- ⇒ promjene mehaničkih svojstava brtvi uslijed starenja materijala u pogonskim uvjetima,
- ⇒ istiskivanje brtve iz brtvenog prostora,
- ⇒ preveliki tlakovi radnih fluida koji dovode do „propuhivanja“ brtvi,
- ⇒ zasićenje materijala brtve plinom pod visokim tlakom,
- ⇒ pregrijavanje uslijed prevelike radne temperature sustava.

Tijekom uporabe dolazi do trošenja dinamičkih brtvi. 31/247,



Otkazi brtvi prije isteka vijeka trajanja su posljedice niza različitih uzroka. Primjeri su:

- ⇒ ogrebotine, korozijska i druga oštećenja brtvljenih površina elemenata,

- ⇒ promjene mehaničkih svojstava brtvi uslijed starenja materijala u pogonskim uvjetima,
- ⇒ istiskivanje brtvenice ili O-prstena iz brtvenog prostora,
- ⇒ preveliki tlakovi radnih fluida koji dovode do „propuhivanja“ brtvi,
- ⇒ nedovoljno podmazivanje uslijed nedovoljnog kvašenja brtvi mazivom,
- ⇒ zasićenje materijala brtve plinom pod visokim tlakom,
- ⇒ pregrijavanje uslijed prevelike radne temperature ili prevelikog trenja,
- ⇒ ubrzano trošenje brtvi uslijed djelovanja krutih i tekućih nečistoća.

#### ***8.4.4 Odlaganje statičkih brtvljenih spojeva***

## Dodaci

### Literatura

Antaki2003/372÷390,395÷399,403÷404,473÷477, Ashby2002/203,206,213,217÷220,235,241, Ashby2005/145÷148, Avallone2006/767÷770,793÷795,804÷805, Bickford1997, Budynas2011/427,444,463÷465, Carvil2003/322÷340, Childs2004/193÷197,203÷205, Czichos2008/K74, Decker1987/454÷464, DIN2008/502,534÷536, Elcic1973/599÷601,636÷656, Fitney2007, Dorf2005/ch24, Grote2007/662÷663, Haberhauer2011/255÷265, Jelaska2005/81, Klebanov2008/255÷262, Künne12008/422÷429, Kutz1998/648÷857, Kutz12005/1171÷1184, Lingaiah2004/303÷308, 454÷458, Mott2004/537÷545,738÷739,743, Muhs2006/245÷247, Niemann2005/889÷902, Norton2006/870÷871, Pandžić2008/140÷141, Parish2002/9,57÷60, Podhorsky/sv5-328÷331,sv7-637÷638, Shigley1996/801÷802, Shigley2004/653÷656,779÷802, Steinhilper22008/211÷212,218÷220, Wittel2009/676÷685 ##

#### 8.1 Osnove statičkih brtvljenih spojeva

Pandžić2008/140÷141, Deckera/454, Wittel/676-677(*Dichtungen*), Shigley/653-667(*seals*)/779-802(*gaskets*), Haberhauer/266-267, Niemann/889-892, Steinhilper1/211-216, Norton2006/870-871, Klebanov/255-262, Lingaiah/450-482, Mott/537-541, Childs/49-50/192-193, Klasifikacija brtvljenih spojeva Deckera/456/465/472, Wittel/678, Haberhauer/266, Steinhilper1/216-217, Lingaiah/462-463, Childs/193, Haberhauer/42, Materijali za izradu brtvi Pandžić/140, Niemann/890, Steinhilper1/236-237, Lingaiah/304-305, Mott/541-542, Statičke brtve Pandžić/140, Deckera/455-464, Wittel/678-685, Haberhauer/267-276, Niemann/893-902, Steinhilper1/216-220, Klebanov/255-262, Childs/193-197,

*Decker/456-457, GroteD/662-663, Haberhauer/255-256, Steinhilper2/217, Childs/193-194, Wittel/678, Kutz1/1171,1174, Lingaiah/462-463,476, Dorf/387-390,*

*Avallone/768,*

*Shigley/780-785, Mott/541-542,*

#### 8.2 Usvajanje statičkih brtvljenih spojeva

Proračun brtvljenih spojeva Deckera/466/474, Wittel/681-682/694, MuhsF/246-247, Steinhilper1/230-243, Norton/870-875, Lingaiah/306-313/450-459,

#### 8.3 Primjena statičkih brtvljenih spojeva

Ugradba brtve Pandžić/140, Steinhilper1/248-250, Oštećivanje i vijek trajanja brtve Steinhilper1/245-248,

### Dodatak

#### *Literatura*

Childs/203÷204,Fitney/593÷594,Wittel/679

#### *Internet*

Childs/204÷205,

<http://oringswest.com/> – dimenzije O-riga  
<http://www.allorings.com/> – primjeri s O-rinzima  
<http://www.chesterton.com/> – skinuta tri kataloga brtvi  
<http://www.china-dongya.com/> – mehaničke brtve  
<http://www.claron.co.uk/> – jedna profilna prirubnička brtva i velik izbor dinamičkih brtvi  
<http://www.coni-seal.com/> – automobilsku industriju, tablice bez slika  
<http://www.federal-mogul.com/> – svjecice, ispuh i katalogi s tablicama – velika stranica  
<http://www.garlock-inc.com/> – slike  
<http://www.goodway-rubber.com/> – skinut katalog (Kina)  
<http://www.jenp.com.tw/> – dimenzije O-ringa  
<http://www.nicholson.co.uk/> – prstenaste brtve – skinuti listovi s crtežima i podacima  
<http://www.orings.com/> – O-prsteni  
<http://www.pspglobal.com/> – skice s dimenzijama  
<http://www.sev-seal.com.tw/> – O-prsteni, e-katalog  
<http://www.superseal.com/> – O-prsteni i dinamičke brtve  
<http://www.totalseal.com/> – klipni prsteni  
<http://www.trisuntd.com/> – dinamičke brtve  
<http://www.usseal.com/> – različite brtve, elastični gumeni spojevi  
<http://www.ussealinf.com/> – dinamičke brtve

Fitney/499÷502,

<http://www.europeansealing.com/> – podaci o proizvođačima  
<http://www.fluidsealing.com/> – nazivi proizvođača brtvi  
<http://www.gcassociation.co.uk/> – nazivi i web adrese proizvođača  
<http://www.gasketfab.com/> – nazivi i podaci proizvođača brtvi  
<http://www.pumps.org/>  
<http://www.isd.org/>  
<http://www.itetbiology.org/>  
<http://www.jsim.or.jp/>  
<http://www.nfpa.com/>  
<http://www.ste.org/>  
<http://www.bfpa.co.uk/>  
<http://www.vdma.org/>  
<http://www.edehg.org/>  
<http://www.chpsa.org.cn/>  
<http://www.rma.org/>  
<http://www.bhrgroup.com/>  
<http://www.setim.fr/>  
<http://www.me.gatech.edu/>  
<http://www.lma.uni-stuttgart.de/>  
<http://www.nerl-td.co.uk/>  
<http://www.npa.uni-stuttgart.de/>  
<http://www.rapra.net/>  
<http://www.vreinf.com/>

Wittel/679,

Firmenschriften: Burgmann Industries GmbH & Co.KG, Wolfsrathausen (Gleitringdichtungen), ([www.burgmann.com](http://www.burgmann.com)); BusakShamban Deutschland GmbH, Stuttgart (V-Ring, Gamma-Ring), ([www.busakshamban.de](http://www.busakshamban.de)); ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH, Bietigheim-Bissingen (RWDR), ([www.elringklinger-kunststoff.de](http://www.elringklinger-kunststoff.de)); Federal-Mogul Burscheid GmbH, Burscheid (Gleitringdichtungen), ([www.federal-mogul.com](http://www.federal-mogul.com)); Freudenberg Simmering KG, Weinheim (RWDR, Simmerring\_; Formdichtungen), ([www.simrit.de](http://www.simrit.de)); Loctite European Group, München (Dichtmassen), ([www.loctite.com](http://www.loctite.com)); Merkel Freudenberg Fluidtechnik GmbH, Hamburg (Formdichtungen, Stopfbuchspackungen), ([www.freudenberg.de](http://www.freudenberg.de)); Parker Hannifin GmbH, Bietigheim-Bissingen (Formdichtungen), ([www.parker.com](http://www.parker.com)); Ringfeder VBG, Krefeld,



(www.ringfeder.de); SKF GmbH, Scheinfurt (V-Ring), (www.skf.de); Ziller & Co., Hilden (Nilos-Ring); Witzenmann GmbH, Pforzheim (Metallfaltenbalg), (www.witzenmann.de)

Mott/543,

<http://www.americanseal.com/>

<http://www.igscorp.com/>

<http://www.ahpseals.com/>

<http://www.simrit.de/web/public/home> (Freudenberg-Simrit)

<http://www.federalmogul.com/en> (Federal-Mogul)

<http://www.dichtomatik.us/> (Dichtomatik)

<http://www.igscorp.com/> (Industrial Gasket & Shim)

## Oznake

Carvill2003/299÷300, Childs/205, Haberhauer2011/637, Shigley1996/A.2,

$A$	–	površina, $\text{mm}^2$
$D/d$	–	vanjski/unutarnji promjer, mm
$F$	–	sila, N
$m$	–	masa, kg
$L/B/H$	–	duljina/širina/visina, mm
$p$	–	tlak, $\text{N}/\text{mm}^2$
$t$	–	vrijeme, s
$T$	–	apsolutna temperatura, K
$V$	–	volumen, $\text{m}^3$
$v$	–	brzina, m/s
$W$	–	rad, J
$\vartheta$	–	temperatura, $^{\circ}\text{C}$
$\eta$	–	koeficijent gubitaka energije, 1 ; dinamička viskoznost, $\text{Pa}\cdot\text{s}$
$\rho$	–	gustoća, $\text{kg}/\text{dm}^3$ ; električna otpornost, $\mu\Omega\cdot\text{cm}$

$A$	$\text{m}^2$	Gleitfläche
$A_1$	$\text{m}^2$	druckbelastete Fläche
$b$	mm	mittlere Berührbreite
$d$	mm	Durchmesser
$d_1$	mm	Wellendurchmesser
$d_2$	mm	Außendurchmesser
$d_D$	mm	mittlerer Durchmesser der Dichtung
$d_m$	mm	mittlerer Gleitflächendurchmesser

$e$	m	Exzentrizität
$F_{DV}$	N	Dichtungskraft
$F_r$	N	Radialkraft
$h$	m	Spaltdicke = Radiendifferenz
$K_{DV}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	Formänderungswiderstand
$k$	–	Flächenverhältnis
$k_0$	mm	Dichtungskennwert für die Vorverformung
$k_B$	mm	Dichtungskennwert für Betriebsverhalten
$l$	m	Spalllänge
$n$	$\text{min}^{-1}$	Wellendrehzahl
$P$	W	Verlustleistung
$p$	$\text{N}/\text{m}^2$	Druck
	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N}/\text{m}^2 = 0,1 \text{ MPa}$	
$p_L$	$\text{N}/\text{mm}$	spezifische Radialkraft
$p_m$	$\text{N}/\text{mm}^2 = 1 \text{ MPa}$	mittlere Flächenpressung
$\Delta p$	$\text{N}/\text{m}^2$	Druckdifferenz
$Q$	$\text{m}^3/\text{s}$	Volumenstrom
$R_a$	$\mu\text{m}$	arithmetischer Mittenrauhwert
$R_z$	$\mu\text{m}$	gemittelte Rauhtiefe
$\varepsilon$	–	relative Exzentrizität von Welle zu Bohrung
$\eta$	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$	dynamische Viskosität des Betriebsstoffs
$\lambda$	$\text{mg}/(\text{sm})$	spezifische Leckagerate
$\lambda_L$	–	Schmierungskennwert
$\mu$	–	Reibungszahl

## Werkstoffbezeichnungen:

Bz	Bronze
Cr-Ni	Chrom-Nickel
FKM	Fluor-Kautschuk
GJL	Gußeisen mit Lamellengraphit
It	Gummi-Asbest
Ms	Messing
NBR	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk
PA	Polyamid
PTFE	Polytetrafluorethylen (Teflon)
SiC-Si	Keramik
St	Stahl



## Podloge

[Niemann (2005), 866. str.]

- [Kutz1/1171,172](#) Table 1 Common Gasket Materials, Gasket Factors (m), and Minimum Design Seating Stress ( $\gamma$ ) (Table 2-5.1 ASME Code for Pressure Vessels, 1995)
- [Kutz1/1173](#) Table 2 The Most Important Elastomers and Their Properties
- [Haberhauer/263](#)
- [Niemann/889-890,894,901](#)
- [Childs/180,205](#)
- [MuhsF/245-247](#)
- [Künne/422](#)
- [Lingaiyah/460-462,464-465,472-474,480](#)
- [Mott/544-545,](#)

### *Norme*

Fitney/479÷489,Childs/204,

## Razno



## Provjera znanja

Kod prezentacija i računskih zadataka ocjenjuje se: zanimljivost, sadržaj, obim, razina i estetika.

### *Prezentacija*

- *Svaki student u grupi priprema prezentaciju uz korištenje programa: PowerPoint, CorelDraw i Photoshop;*

### *Izračunavanja*

- *Računske zadatke rade timovi od po 3 studenta (2 ili 4);*
- *Tekst se piše u Word-u s formulama pisanim uz korištenje MathType-a;*
- *Crteži se izrađuju u CorelDraw i/ili AutoCAD-u i/ili SolidWorks-u;*
- *Zadacima se prilažu MATLAB semi-programi (format \*.m);*

## 9. Zadatak – **09 Statički brtvljeni spojevi: (60 bodova)**

- (f) Izraditi prezentaciju odabrane teme iz brtvljenih ili statičkih brtvljenih spojeva (20 bodova);
- (g) Usvojiti statički brtvljeni spoj (20 bodova);

### 9. Zadatak – (a) *Prezentacija* (20 bodova)

Izraditi prezentaciju odabrane teme iz brtvljenih ili statičkih brtvljenih spojeva.

Napomena: Naslov teme može biti jednak ili uži od sljedećih naslova tema:

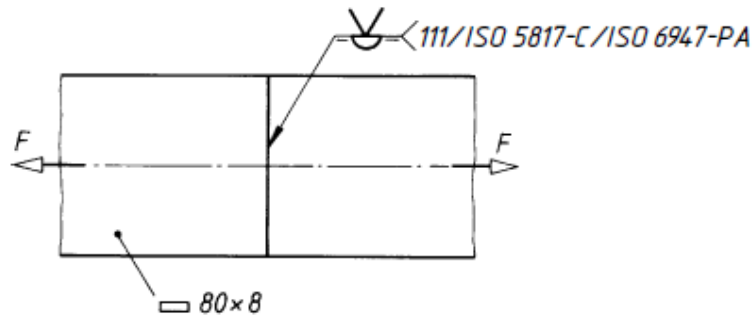
#### *Teme*

- Osnova zavarenih spojeva
- Nazivlje zavarenih spojeva
- Struktura zavarenog spoja
- Fizički temelji zavarenog spoja
- Vrste zavara i zavarenih spojeva
- Ispravno oblikovanje zavarenih spojeva
- Pogreške u oblikovanju zavarenih spojeva
- Primjeri oblikovanja zavarenih spojeva
- Norme zavarenih spojeva
- Proračun zavarenih spojeva

Primjeri usvajanja zavarenih spojeva  
Zavarljivost materijala  
Tehnologija zavarivanja  
Korištenje i odlaganje zavarenih spojeva  
Prednosti i nedostaci zavarenih spojeva  
Osnove zalemljenih spojeva  
Materijali za lemljenje  
Oblikovanje zalemljenih spojeva  
Usvajanje zalemljenih spojeva  
Primjena zalemljenih spojeva

5. Zadatak – (b) Zavareni spoj (20 bodova)

Zadatak **Z-05.01** Traka od čelika S35 sa sučelnim zavarom treba podnijeti vlačno opterećenje od  $F = 125 \text{ kN}$ . [Wittel (2007), str. 19/155/233]



Pri zavarivanju su korištenjem dodatnih pločica izbjegnuti krateri na krajevima zavarrenog spoja.

Kvaliteta zavara nije poznata.

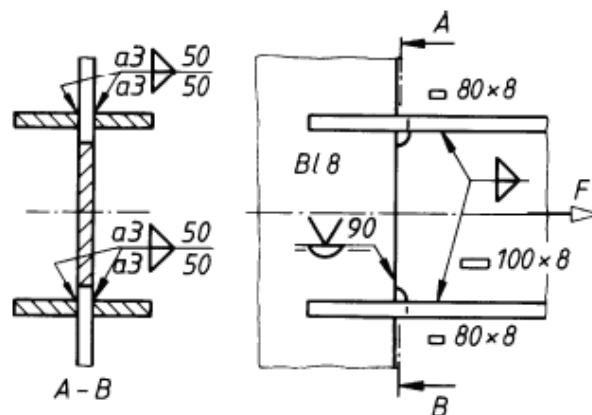
**Odrediti:**

Provjeriti jesu li dimenzije dobro određene?

**Rješenje:**

Dimenzije su dobro određene.

Zadatak **Z-05.02** U profil U80 od čelika S35 spojen je kutnim zavarima na čeličnu ploču. [Wittel (2007), str. 20/156/234]



Štap i zavareni spoj su opterećeni silom od  $F = 90 \text{ kN}$ .

**Odrediti:**

Provjeriti jesu li dimenzije U profila i zavarrenog spoja dobro određene.

**Rješenje:**

Dimenzije su dobro određene.

## Pitanja i zadaci

1. Brtvljenje, brtva, brtvljeni spoj i podjela brtvljenih spojeva prema pokretljivosti dijelova
2. Statički brtvljeni spojevi – definicija, nazivlje i zahtjevi
3. Vrste i oznake statičkih brtvi
4. Materijali za izradu statičkih brtvi

### Zadaci iz proračuna statičkih brtvljenih spojeva

Budynas/454-455, Mott/739,

*[Mott (2003), 528. str.]*

1. Opisati tri slučaja kod kojih je potrebno statičko brtvljenje.
- 2.
26. List eight parameters that should be considered when selecting a type of seal and specifying a particular design.
27. Name three means of sealing a pressurized container under static conditions.
32. Describe an O-ring seal, and sketch its installation.
33. Describe a T-ring seal, and sketch its installation.
34. Describe some advantages of T-ring seals over O-rings.
38. Describe the essential elements of a mechanical face seal.
39. Name at least six kinds of elastomers commonly used for seals.
40. Name at least three kinds of elastomers that are recommended for use when exposed to weather.
41. Name at least three kinds of elastomers that are recommended for use when exposed to petroleum-based fluids.
42. Name at least three kinds of elastomers that are recommended for use when exposed to cold-temperature operation.
43. Name at least three kinds of elastomers that are recommended for use when exposed to high-temperature operation.
44. A sealing application involves the following conditions: exposure to high-temperature petroleum fluids; impermeability. Specify a suitable elastomer for the seal.



## 50 Elementi strojeva 1

45. A sealing application involves the following conditions: exposure to high temperature and weather; impermeability; and high strength and abrasion resistance. Specify a suitable elastomer for the seal.

## Literatura

1. Alfirevic I., Sikic Z., Budin I.: Inzinjerski prirucnik IP 1 – temelji inženjerskih znanja; Školska knjiga, 1996.
2. Ambrosius L.: AutoCAD 2008 3D Modeling Workbook For Dummies; Wiley 2008.
3. Androić B., Dujmović D., Džeba I.: Metalne konstrukcije 1 – Eurocode; Institut građevinarstva Hrvatske, 1994.
4. Antaki G. A.: Piping and Pipeline Engineering – Design, Construction, Maintenance, Integrity, and Repair; Marcel Dekker, 2003.
5. Arndt K.-D., Brüggemann H., Ihme J.: Festigkeitslehre für Wirtschaftsingenieure – Kompaktwissen für den Bachelor; Vieweg+Teubner, 2011.
6. Ashby M. F., Johnson K.: Materials and Design – The Art and Science of Material Selection in Product Design; Butterworth-Heinemann, 2002.
7. Ashby M. F., Messler R. W., Asthana R., Furlani E. P., Smallman R. E., Ngan A. H. W., Mills N.: Engineering Materials and Processes Desk Reference; Butterworth-Heinemann, 2009.
8. Ashby M. F., Shercliff H., Cebon D.: Materials – Engineering, Science, Processing and Design; Butterworth-Heinemann, 2007.
9. Ashby M. F.: Materials Selection in Mechanical Design, 3<sup>rd</sup> Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
10. Attaway S.: MATLAB – A Practical Introduction to Programming and Problem Solving; Butterworth-Heinemann, 2009.
11. Avallone E. A., Baumeister T. Sadegh A.: Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers 11th Edition; McGraw-Hill Professional 2006.
12. Babić A.: Osnove elemenata strojeva – udžbenik za trogodišnje strukovne škole; Školska knjiga, 2008.
13. Balke H.: Einführung in die Technische Mechanik Festigkeitslehre, 2. Auflage; Springer, 2010.
14. Barber J. R.: Intermediate Mechanics of Materials, 2nd Edition; Springer, 2011.
15. Bassin M.G., Brodsky S. M., Wolkoff H.: Statics and Strength of Materials 3rd Edition; McDraw-Hill, 1979.
16. Bećirović - Nacrtna geometrija s tehničkim crtanjem i zbirkom zadataka; Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, 2000.
17. Beer F. P., Johnston R. E. Jr., DeWolf J. T., Mazurek D. F.: Mechanics of Materials, 5<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill Higher Education, 2009.
18. Beer F. P., Johnston R. E. Jr., DeWolf J. T., Mazurek D. F.: Mechanics of Materials, 6<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill Higher Education, 2011.
19. Beer F. P., Johnston R. E. Jr., DeWolf J. T., Mazurek D. F.: Mechanics of Materials, 3<sup>rd</sup> Edition, Solutions Manual; rukopis, 2001.
20. Benenson W., Harris J. W., Stoecker H., Lutz L.: Handbook of Physics; Springer, 2006.
21. Benhabib B.: Manufacturing - Design, Production, Automation, and Integration; Marcel Dekker, 2003.

22. Berger J.: Klausurentrainer Technische Mechanik, 2.Auflage; Vieweg+Teubner, 2005.
23. Berman D. B.: Do Good Design: How Designers Can Change the World; New Rider, 2009.
24. Bickford J. H.: Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints – Non-Gasketed Joints, 4<sup>th</sup> Edition; CRC, 2007.
25. Bickford J.: Gaskets and Gasketed Joints; CRC, 1997.
26. Böge A., Eichler J.: Physik für technische Berufe: Grundlagen, Versuche, Aufgaben, Lösungen, 11. Auflage; Vieweg+Teubner, 2008.
27. Böge A., Schlemmer W.: Aufgabensammlung Technische Mechanik, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
28. Böge A., Schlemmer W.: Lösungen zur Aufgabensammlung Technische Mechanik, 14. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
29. Böge A.: Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik, 22. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
30. Böge A.: Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 20. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
31. Böge A.: Technische Mechanik: Statik – Dynamik – Fluidmechanik – Festigkeitslehre, 29. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
32. Böge A.: Vieweg Handbuch Maschinenbau – Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik, 18. Auflage; Vieweg, 2007.
33. Bouton D. G.: CorelDraw X5 – The Official Guide; McGraw-Hill, 2011.
34. Brown T. H. Jr.: Mark's Calculations For Machine Design; McGraw-Hill, 2005.
35. Browne M. E.: Schaum's Outline Of Theory and Problems of Physics for Engineering and Science; McGraw-Hill, 1998.
36. Brumbaugh J. E., Miller R.: Audel Welding Pocket Reference; Wiley, 2007.
37. Budynas R. G., Nisbett J. K.: Shigley's Mechanical Engineering Design, 9<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill, 2011.
38. Budynas R. G., Nisbett K. J.: Shigley's Mechanical Engineering Design, 8<sup>th</sup> Edition; McGraw-Hill, 2007.
39. Callister Jr. W. D.: Materials Science and Engineering: An Introduction, 7<sup>th</sup> Edition; John Wiley & Sons, New York, 2007.
40. Carvill J.: Mechanical Engineer's Data Handbook; Butterworth-Heinemann, 2003.
41. Case J., Chilver L., Ross C. T. F.: Strength of Materials and Structures, 4th Edition; Arnold 1999.
42. Chandsekaran V. C.: Rubber Seals for Fluid and Hydraulic Systems; Elsevier , 2010.
43. Chang K.-H.: Motion Simulation and Mechanism Design with COSMOSMotion 2007; Schroff Development Corporation, 2008.
44. Chapra S. C.: Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2006.
45. Childs P.: Mechanical Design, 2<sup>nd</sup> Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
46. Corel: CorelDRAW Graphics Suite X3 – Benutzerhandbuch; Corel, 2006.
47. Cross A.: Coordinating Design and Technology Across the Primary School; Falmer, 1998.
48. Cross N.: DesignerlyWays of Knowing; Springer, 2006.

49. Cross N.: Engineering Design Methods – Strategies for Product Design, 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley & Sons, 2005.
50. Czichos H., Habig K.-H.: Tribologie – Handbuch, Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik 3. Auflage, Vieweg+Teubner, 2010.
51. Czichos H., Hennecke M.: Hütte - Das Ingenieurwissen 33. Auflage; Springer, 2008.
52. D. Rasković: Tablice iz otpornosti materijala, XIII izdanje; Građevinska knjiga 1985.
53. D. Rasković: Zbirka zadataka iz Mehanike I; Zavod za izdavanje udžbenika, 1965.
54. D'Amelio J.: Mechanical Estimating Manual - Sheet Metal, Piping and Plumbing; Fairmont - CRC, 2006.
55. da Silva V. D.: ; Springer, 2006.
56. Dankert J., Dankert H.: Statik, Festigkeitslehre, Kinematik / Kinetik, 6. Auflage; Vieweg+Teubner, 2011.
57. Davis T. A.: MATLAB Primer 8th Edition; CRC – Taylor & Francis Group, 2011.
58. Decker K.-H.: Elementi strojeva, 2. izdanje; Tehnička knjiga, 1987.
59. Decker K.-H.: Elementi strojeva, 3. izdanje; Golden marketing - Tehnička knjiga, 2006.
60. Dickenson C. T.: Valves, Piping and Pipeline Handbook, 3<sup>rd</sup> Edition; Elsevier Science, 1999.
61. DIN – Deutsches Institut für Normung: Klein Einführung in die DIN-Normen, 14. Auflage; B.G.Teubner – Beuth, 2008.
62. Dixon J.: The Shock Absorber Handbook, 2nd Edition; Wiley & Sons - Professional Engineering, 2007.
63. Dorf C.: The Engineering Handbook, 2nd Edition; CRC, 2004.
64. Drake P.: Dimensioning and Tolerancing Handbook; McGraw-Hill, 1999.
65. Elčić Z., Grubješić N., Kostelić A., Mađarević B., Oberšmit E., Račić V., Sentič B., Skalicky B., Vojta D.: Praktičar 3 – Strojstvo 2; Školska knjiga, 1973.
66. Ellenberger J. P.: Piping Systems and Pipeline – ASME B31 Code Simplified; McGraw-Hill, 2005.
67. Finkelstein E.: AutoCAD 2004 Bible; Wiley, 2003.
68. Finkelstein E.: AutoCAD 2007 and AutoCAD LT 2007 Bible; Wiley, 2006.
69. Fitney R.: Seals and Sealing Handbook, 5<sup>th</sup> Edition; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007.
70. Fleischer B., Theumert H.: Entwickeln Konstruieren Berechnen – Komplexe praxisnahe Beispiele mit Lösungsvarianten, 2. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.
71. Foster J.: After Effects and Photoshop – Animation and Production Effects for DV and Film, 2nd Edition; Wiley, 2006.
72. French T. EC. J.: A Manual of Engineering Drawing for Students & Draftsmen, 10th Edition; McGraw-Hill, 1966.
73. Frey D.: AutoCAD 2004 and AutoCAD LT 2004 – No Experience Required; SYBEX, 2003.
74. Fritz A. H., Schulze G.: Fertigungstechnik; 8. Auflage; Springer, 2008.
75. Garrett T. K., Newton K., Steeds W.: Motor Vehicle, 13<sup>th</sup>; Butterworth-Heinemann, 2000.
76. Gekeler E. W.: Mathematische Methoden zur Mechanik – Ein Handbuch mit MATLAB-Experimenten; Springer, 2006.
77. Gere J. M., Goodno B. J.: Mechanics of Materials, 7th Edition; Cengage Learning, 2009.



78. Gere J. M., Goodno B. J.: Mechanics of Materials, Brief Edition; Cengage Learning, 2011.
79. Gere J. M.: Mechanics of Materials, 6th Edition; Thomson, 2003.
80. Gilat A.: MATLAB – An Introduction with Applications; John Wiley & Sons, 2004.
81. Glegg G. L.: The Selection of Design; Cambridge University, 1972.
82. Green P.: The Geometrical Tolerancing Desk Reference Creating and Interpreting ISO Standard Technical Drawings; Newnes, 2005.
83. Griffiths B.: Engineering Drawing for Manufacture; Elsevier Science & Technology, 2003.
84. Gross D., Hauger W., Schröder J., Wall W. A., Bonet J.: Engineering Mechanics 2 – Mechanics of Materials; Springer, 2011.
85. Grote K.-H., Antonsson E. K.: Springer Handbook of Mechanical Engineering; Springer, 2009.
86. Grote K.-H., Feldhusen J.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage; Springer, 2007.
87. Habenicht G.: Kleben – Grundlagen, Technologien, Anwendungen, 5. Auflage; Springer, 2006.
88. Haberhauer - Maschinenelemente – Gestaltung Berechnung Anwendung, 16. Auflage; Springer, 2011.
89. Haberhauer H., Bodenstern F.: Maschinenelemente – Gestaltung, Berechnung, Anwendung, 15. Auflage; Springer, 2009.
90. Hahn B., Valentine D. T.: Essential MATLAB – For Engineers and Scientists, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann / Elsevier, 2007.
91. Hall A. S. Holowenko A. R., Laughlin H. G.: Schaum's Outline of Theory and Problems of Machine Design; McGraw-Hill, 1968.
92. Harten U.: Physik – Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler, 4. Auflage; Springer 2009.
93. Hartog J.P.D.: Advanced [Strength of Materials](#); Dover 1952.
94. Hearn E. J.: Mechanics of Materials 1 – An Introduction to the Mechanics of Elastic and Plastic Deformation of Solids and Structural Materials, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 1997.
95. Hearn E. J.: Mechanics of Materials 2 – The Mechanics of Elastic and Plastic Deformation of Solids and Structural Materials, 3rd Edition; Butterworth-Heinemann, 1997.
96. Hering E., Martin R., Stohrer M.: Physik für Ingenieure, 10. Auflage; Springer, 2007.
97. Hering E., Schröder B.: Springer Ingenieurtabellen; Springer, 2004.
98. Hibbeler R. C.: Mechanics of Materials, 8th Edition; Prentice Hall, 2010.
99. Hibbeler R. C.: Statics and Mechanics of Materials SI Edition; Prentice Hall, 2004.
100. Hicks T. G.: Standard Handbook of Engineering Calculations, 4th Edition; McGraw-Hill, 2004.
101. Higham D. J., Higham N.J.: MATLAB Guide, 2nd Edition; Society for Industrial and Applied Mathematics, 2005.
102. Hodzic S., Mašić S.: Zbirka riješenih zadataka iz otpornosti materijala i teorije elastičnosti; 2004.
103. Hodžić S.: Otpornosti materijala i teorije elastičnosti; Rudarsko geološko građevinski fakultet; 2004
104. Hoischen H.: Technisches Zeichnen – Grundlagen, Normen, Beispiele, Darstellende Geometrie, 27. Auflage; Cornelsen-Girardet, 1998.

105. Hsu T.C.: Foundations of Physics; CPO Science, 2004.
106. Humpston G., Jacobson D. M.: Principles of Soldering; ASM International, 2004.
107. Hunt B. R., Lipsman R. L., Rosenberg J. M., Coombes K. R., Osborn J. E., Stuck G. J.: A Guide to MATLAB – For Beginners and Experienced Users, 2nd Edition; Cambridge University, 2006.
108. Huston R., Joseph H.: Practical Stress Analysis in Engineering Design, 3<sup>rd</sup> Edition; CRC, 2009.
109. Jelaska D.: Elementi strojeva – skripta za studente Industrijskog inženjerstva; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2005.
110. Karam F., Kleismit C.: Using Catia V5, Thomson Learning, prevedeno na srpski; Svetlost, 2004.
111. Kaw A. K.: Mechanics of Composite Materials, 2nd Edition; CRC 2005.
112. Khan W. A., Raouf A.: Standards for Engineering Design and Manufacturing; CRC – Taylor & Francis, 2006.
113. Klebanov B. M., Barlam D. M., Nystrom F. E.: Machine Elements – Life and Design; CRC Taylor & Francis Group, 2008.
114. Kljajin M., Opalić M.: Inženjerska grafika; Sveučilišni udžbenik; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2010.
115. Knight A.: Basic of MATLAB and Beyond; Chapman & Hall / CRC, 1999.
116. Koludrović Ć., Koludrović-Harbić I., Koludrović R.: Tehničko crtanje u slici s kompjutorskim aplikacijama, 5. izdanje, Ć.I.R. – Rijeka, 1994. .
117. Kolumbić Z., Kozak D.: Fizika – podloge za studij strojarstva; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2010.  
<http://www.sfsb.hr/~zkolum/Fizika/>
118. Kolumbić Z., Tomac N.: Materijali – podloge za diskusiju; Odsjek za politehniku Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, 2005. <http://www.ffri.uniri.hr/~zvonomir/Materijali>
119. Kraut B.: Strojarski priručnik, 9. izdanje; Tehnička knjiga, 1988.
120. Kreith F., Goswami D. Y.: The CRC Handbook of Mechanical Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition; CRC 2005.
121. Kudumović Dž., Alagić S.: Zbirka riješenih zadataka iz otpornosti materijala; Promoteks, 2000.
122. Kulak G. L., Fisher J. W., Struik J. H. A.: Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, 2nd Edition; Wiley-Interscience, 1987.
123. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 1, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
124. Künne B.: Köhler Rognitz Maschinenteile Vol 2, 10. Auflage; Vieweg + Teubner, 2008.
125. Kurz U., Wittel H.: Böttcher/Forberg Technisches Zeichnen – Grundlagen, Normung, Darstellende Geometrie und Übungen, 25 Auflage; Vieweg+Teubner, 2010.
126. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 1: Materials and Mechanical Design; Wiley, 2005.
127. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 2: Instrumentation, Systems, Controls, and MEMS; Wiley, 2005.
128. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 3: Manufacturing and Management; Wiley, 2005.
129. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook – Four Volume Set, 3rd Edition – Volume 4: Energy and Power; Wiley, 2005.

130. Kutz M.: Mechanical Engineers' Handbook, 2nd Edition; Wiley, 1998.
131. Läßle V.: Einführung in die Festigkeitslehre – Lehr- und Übungsbuch; Viewegs Fachbücher der Technik, 2006.
132. Läßle V.: Einführung in die Festigkeitslehre – Lehr- und Übungsbuch, 2. Auflage; Vieweg+Teubner, 2008.
133. Läßle V.: Lösungsbuch zur Einführung in die Festigkeitslehre – Ausführliche Lösungen und Formelsammlung; Viewegs Fachbücher der Technik, 2007.
134. Läßle V.: Lösungsbuch zur Einführung in die Festigkeitslehre – Aufgaben Ausführliche Lösungswege Formelsammlung, 2. Auflage; Vieweg+Teubner, 2008.
135. Lawson B.: How Designers Think – The Design Process Demystified, 4th Edition; Architectural, 2005.
136. Leckie F. A., Dal Bello D. J.: Strength and Stiffness of Engineering Systems; Springer, 2009.
137. Lee R. R.: Pocket Guide to Flanges, Fittings, and Piping Data, 3rd Edition; Gulf Professional, 1999.
138. Letić D.: U Praksi – CAD Mašinskih elemenata i konstrukcija; Kompjuter biblioteka, 2004.
139. Levi M.: The Mathematical Mechanic – Using Physical Reasoning to Solve Problems; Princeton, 2009.
140. Lidsky V., Ovsyannikov L., Tulaikov A., Shabunin M.: Problems in Elementary Mathematics; Mir, 1973.
141. Lingaiah K.: Machine Design Databook, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw-Hill, 2002.
142. Lombard M.: SolidWorks 2007 Bible; Wiley 2007.
143. Loomis A.: Successful Drawing; Viking Adult, 1951.
144. Lyshevski S. E.: Engineering and Scientific Computations Using Matlab; John Wiley & Sons, 2003.
145. Mack W., Lugner P., Plöchl M.: Angewandte Mechanik – Aufgaben und Lösungen aus Statik und Festigkeitslehre; Springer, 2006.
146. Mancuso J. R.: Couplings and Joints - Design, Selection and Application; Marcel Dekker, 1999.
147. Manzini R., Regattieri A., Pham H., Ferrari E.: Maintenance for Industrial Systems; Springer, 2009.
148. Marchand P., Holland T. O.: Graphics and GUIs with MATLAB, 3rd Edition; Chapman & Hall / CRC, 2003.
149. Marghitu D. B.: Mechanical Engineer's Handbook; Academic Press, 2001.
150. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – Getting started with MATLAB – Version 6; MathWorks, 2001.
151. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – MATLAB Function Reference Volume 1 A-E – Version 6; MathWorks, 2001.
152. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – MATLAB Function Reference Volume 2 F-O – Version 6; MathWorks, 2001.
153. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – MATLAB Function Reference Volume 3 P-Z – Version 6; MathWorks, 2001.
154. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – Using MATLAB – Version 6; MathWorks, 2001.

155. MathWorks: MATLAB – The Language of Technical Computing – Using MATLAB Graphics – Version 6; MathWorks, 2001.
156. McFarlane B.: Beginning AutoCAD 2004; Elsevier-Newnes, 2004.
157. McMahon D.: MATLAB Demystified; McGraw-Hill, 2007.
158. Messler R. W.: Integral Mechanical Attachment – A Resurgence of the Oldest Method of Joining; Butterworth-Heinemann, 2006.
159. Messler R. W.: Joining of Materials and Structures From Pragmatic Process to Enabling Technology; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
160. Messler R. W.: Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy; Wiley VCH, 2004.
161. Middlebrook M.: AutoCAD 2005 For Dummies; Wiley, 2005.
162. Mobley R. K.: Maintenance Fundamentals, 2nd Edition; Butterworth-Heinemann, 2004.
163. Moore H.: MATLAB for Engineers, 2nd Edition; Pearson - Prentice Hall, 2008.
164. Mott R. L.: Machine Elements in Mechanical Design, 4<sup>th</sup> Edition; Prentice Hall, 2004.
165. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Becker M., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Interaktive Formelsammlung auf CD-ROM, 8. Auflage; Vieweg, 2006.
166. Muhs D., Wittel H., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Aufgabensammlung – Aufgaben, Lösungshinweise, Ergebnisse, 14. Auflage; Vieweg, 2007.
167. Muscroft S.: Plumbing – For Level 2 Technical Certificate and NVQ, 2<sup>nd</sup> Edition; Elsevier Newness, 2007.
168. Niemann G., Winter H., Höhn B.-R.: Maschinenelemente – Band 1 – Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, 4. Auflage; Springer, 2005.
169. Norton R. L.: Design of Machinery – An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, 2<sup>nd</sup> Edition; WCB/McGraw-Hill, 1999.
170. Norton R. L.: Machine Design – An Integrated Approach, 3<sup>rd</sup> Edition; Prentice Hall, 2006.
171. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 27<sup>th</sup> Edition; Industrial Press, 2004.
172. Oberg E., Jones F. D., Horton H. L., Ryffel H. H.: Machinery's Handbook 28<sup>th</sup> Edition; Industrial Press, 2008.
173. Olson D. L., Siewert T. A., Liu S., Edwards G. R.: ASM Handbook – Volume 06 Welding Brazing and Soldering 10th Edition; ASM International, 1993.
174. Onstott S.: Enhancing CAD Drawings with Photoshop; SYBEX, 2005.
175. O'Sullivan B.: Constraint-Aided Conceptual Design; Professional Engineering, 2002.
176. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung, 7. Auflage; Springer, 2007.
177. Pahl G., Beitz W.: Engineering Design – A Systematic Approach; Design Council 1988.
178. Palmer R.: Maintenance Planning and Scheduling Handbook, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2005.
179. Pandžić J., Pasanović B.: Elementi strojeva – udžbenik s DVD-om za 2. razred tehničkih škola u području strojarstva i brodogradnje; Neodidacta, 2008.
180. Parisher R. A., Rhea R. A.: Pipe Drafting and Design, 2<sup>nd</sup> Edition; Gulf Professional Publishing – Butterworth-Heinemann, 2002.

181. Parmley R. O.: Machine Devices and Components Illustrated Sourcebook; McGraw-Hill, 2005.
182. Patnaik S., Hopkins D.: Strength of Materials – A New Unified Theory for the 21st Century; Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
183. Pietruszka W. D.: MATLAB und Simulink in der Ingenieurpraxis – Modellbildung, Berechnung und Simulation, 2. Auflage; Teubne, 2006.
184. Plancharde D. C., Plancharde M. P.: Drawing and Detailing with SolidWorks 2005; Schroff Development Corporation, 2005.
185. Plancharde D. C., Plancharde M. P.: Engineering Design with SolidWorks 2001Plus – A Competency Project Based Approach Utilizing 3D Solid Modeling; Schroff Development Corporation, 2001.
186. Podhorsky R.: Tehnička enciklopedija, svske 1÷13; Leksikografski zavod, 1963÷1997.
187. Podrug S.: Elementi strojeva – predavanja za stručni i preddiplomski studij brodogradnje; Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, 2008.
188. Polyanin A. D., Manzhirov A. V.: Handbook of Mathematics for Engineers and Scientists; Chapman and Hall/CRC, 2006.
189. Prestly D. R.: Do-It-Yourself – Plumbing for Dummies; Wiley 2007.
190. Pritchard D.: Soldering Brazing and Welding – A Manual of Techniques; Trafalgar Square, 1997.
191. Protić V., Filipović R., Marković M.: Autodesk Mechanical Desktop 6 – osnovni kurs – srpski (en. Autodesk Mechanical Desktop 6 Fundamentals Courseware); CET, 2002.
192. Pustaic D., Cukor I.: Teorija plasticnosti i viskoelastinosti - sazetak predavanja; Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2009.
193. Pytel A., Kiusalaas J.: Mechanics of Materials, 2nd Edition; Cengage Learning, 2011.
194. Pytel A.: Strength of Materials – Solutions Manual
195. Richard H. -A., Sander M.: Technische Mechanik – Festigkeitslehre – Lehrbuch mit Praxisbeispielen Klausuraufgaben und Lösungen; Vieweg+Teubner, 2006.
196. Richard H. -A., Sander M.: Technische Mechanik – Festigkeitslehre – Lehrbuch mit Praxisbeispielen Klausuraufgaben und Lösungen, 2. Auflage; Vieweg+Teubner, 2008.
197. Richard H. -A., Sander M.: Technische Mechanik – Festigkeitslehre – Lehrbuch mit Praxisbeispielen Klausuraufgaben und Lösungen; Vieweg & Sohn, 2006.
198. Rothbart H. A., Brown T. H.: Mechanical Design Handbook – Measurement, Analysis and Control of Dynamic Systems, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw Hill, 2006.
199. Schier K.: Finite Elemente Modelle der Statik und Festigkeitslehre – 101 Anwendungsfälle zur Modellbildung; Springer 2011.
200. Sclater N., Chironis N. P.: Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook, 4th Edition; McGraw-Hill, 2006.
201. Serway R. A., Jewett J. W.: Physics for Scientists and Engineers – with PhysicsNOW and InfoTrac, 6th Edition; Thomson Brooks/Cole, 2004.
202. Shakarchi R.: Problems and Solutions for Undergraduate Analysis; Springer, 1997.
203. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 2<sup>nd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 1996.
204. Shigley J. E., Mischke C. R.: Standard handbook of machine design, 3<sup>rd</sup> Edition; McGraw-Hill Professional, 2004.
205. Šimić V.: Otpornost materijala 1, II izdanje; Školska knjiga 2002.

206. Šimić V.: Otpornost materijala 2; Školska knjiga, 1995.
207. Simmons C. H., Maguire D. E.: Manual of Engineering Drawing – to British and International Standards, 2nd Edition; Elsevier – Newnes, 2004.
208. Smith E. H.: Mechanical Engineer's Reference Book 12th Edition; Butterworth-Heinemann, 2000.
209. Smith R., Hawkins B.: Lean Maintenance – Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share; Butterworth-Heinemann, 2004.
210. Smith R., Mobley R. K.: Industrial Machinery Repair - Best Maintenance Practices Pocket Guide; Butterworth-Heinemann, 2003.
211. Smith R., Mobley R. K.: Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers; Butterworth-Heinemann, 2007.
212. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – Sheet Metal and Weldments; SolidWorks Corporation, 2006.
213. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – SolidWorks Essentials – Drawings; SolidWorks Corporation, 2006.
214. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – SolidWorks Essentials – Parts and Assemblies; SolidWorks Corporation, 2006.
215. SolidWorks – SolidWorks 2006 Training Manual – SolidWorks File Management; SolidWorks Corporation, 2006.
216. Spotts M. F.: Design of Machine Elements; 3<sup>rd</sup> Edition; Prentice Hall, 1961.
217. Stark R.: Festigkeitslehre – Aufgaben und Lösungen; Springer, 2006.
218. Steinhilper W., Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1 – Grundlagen der Berechnung und Gestaltung von Maschinenelementen, 7. Auflage; Springer, 2008.
219. Steinhilper W., Sauer B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2 – Grundlagen von Maschinenelementen für Antriebsaufgaben, 6. Auflage; Springer, 2008.
220. Timings R.: Mechanical Engineer's Pocket Book, 3rd Edition; Newnes, 2005.
221. Timings R.: Newnes Workshop Engineer's Pocket Book; Newnes, 2000.
222. Totten G. E., Xie L., Funatani K.: Modeling and Simulation for Material Selection and Mechanical Design; Marcel Dekker, 2004.
223. Trzesniowski M.: Rennwagentechnik – Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme, 2. Auflage; Vieweg + Teubner, 2010.
224. Turtur C. W.: Prüfungstrainer Mathematik. Klausur- und Übungsaufgaben mit vollständigen Musterlösungen; Teubner, 2006.
225. Ulbrich H., Weidemann H.-J., Pfeiffer F.: Technische Mechanik in Formeln Aufgaben und Lösungen; Teubner, 2006.
226. Ullman D. G.: The Mechanical Design Process, 4<sup>th</sup> Edition; 2010.
227. Vitas D. J., Trbojevic M. D.: Masinski elementi I, 10. izdanje; Naučna knjiga, 1990.
228. Wang S. K.: Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, 2nd Edition; McGraw-Hill, 2000.
229. Whitney D. E.: Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development; Oxford University Press, 2004.
230. Wittel H., Muhs D., Jannasch D., Voßiek J.: Roloff/Matek Maschinenelemente – Lehrbuch und Tabellenbuch – Normung, Berechnung, Gestaltung, 19. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009.
231. Woan G.: The Cambridge Handbook of Physics Formulas; Cambridge University, 2000.



232. Woodson D.R.: 2009 international plumbing codes handbook; McGraw-Hill Professional, 2009.