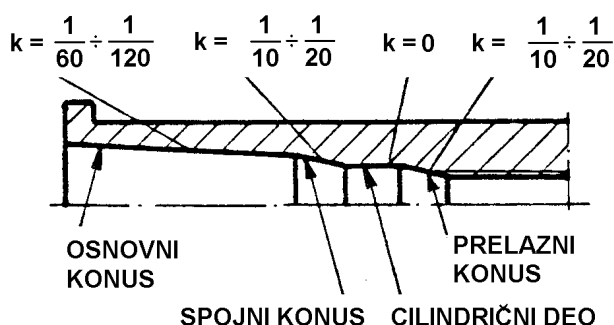


PROJEKTOVANJE MONOBLOK CEVI

Unutrašnja trasa cevi

Unutrašnja trasa cevi sastoji se od barutne komore i vodišta zrna. U barutnu komoru se smešta barutno punjenje u čauri ili bez čaure. Vodište zrna služi da projektilu da potreban pravac i brzinu. Oblik unutrašnjosti cevi može da bude cilindričan ili konusan, a poprečni presek je krug. Najrasprostranjenije su cevi sa cilindričnim kanalom.

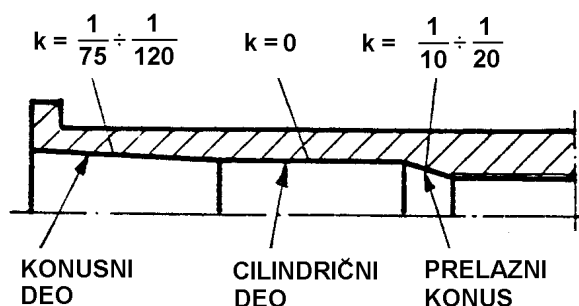
Oblik barutne komore zavisi od načina punjenja, odnosno da li je oruđe opremljeno sjedinjenim metkom, razjedinjenim metkom ili barutnim punjenjem bez čaure. Pri projektovanju barutne komore treba koristiti katalog komora postojećih oruđa, kako bi se obezbedio pravilan izbor osnovnih dimenzija novoprojektovane komore.



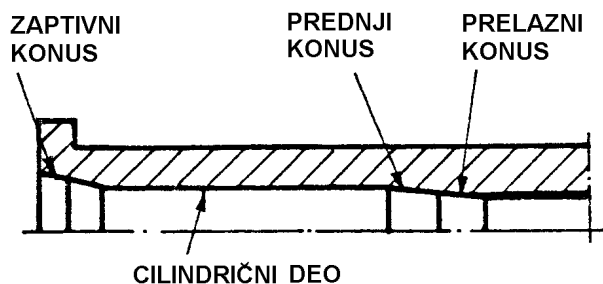
Slika 1. Barutna komora za sjedinjeni metak

Nezavisno od tipa komore njima se postavlja niz opštih zahteva:

- Osa komore mora da se poklapa sa osom cevi da bi se pri punjenju izbeglo zakošenje zrna u čauri i raspertlovanje metka. Pored toga, nepoklapanje osa komore i cevi dovodi do neravnomernog početka žljebova. U tom slučaju vodeći prsten neće pokrivati žljebove, što dovodi do prodora barutnih gasova po dnu žljebova i prevremenog oštećenja kanala cevi.
- Komora mora da bude okrugla u svakom preseku, bez tragova obrade na prelazima sa jednog konusa na drugi. Zahteva se visok stepen kvaliteta obrade, da bi se obezbedilo sigurno izbacivanje prazne čaure.
- Prelazni konus mora da ima odgovarajuću konusnost (k), da bi se izbeglo zapinjanje projektila pri punjenju. Velika konusnost prelaznog konusa smanjuje život cevi.



Slika 2. Barutna komora za razjedinjeni metak



Slika 3. Barutna komora za punjenje bez čaure

Da bi se obezbedilo naleganje oboda čaure na zadnju površinu cevi ukupna dužina barutne komore za sjedinjeni metak mora da bude veća od dužine čaure za veličinu širine vodećeg prstena i proizvodnu toleranciju izrade:

$$(1) \quad L_{\text{kom}} = l_{\text{č}} + h_{\text{vp}} + \Delta h$$

gde je

- $l_{\text{č}}$ - dužina čaure
- h_{vp} - srednja širina vodećeg prstena
- Δh - tolerancija izrade

Koeficijent širenja barutne komore kod savremenih oruđa je

- $\chi = 1.05 \div 2.5$ za sjedinjeni metak
- $\chi = 1.05 \div 1.8$ za razjedinjeni metak

Zapremina barutne komore se određuje kao zbir zapremina

$$(2) \quad W_{\text{kom}} = W_0 + W_{\text{č}} + W_{\text{zd}}$$

gde je

- W_0 - slobodna zapremina barutne komore dobijena unutrašnjebalističkim proračunom
- $W_{\text{č}}$ - zapremina čaure $W_{\text{č}} \approx (0.03 \div 0.05) W_0$
- W_{zd} - zapremina dela projektila iza vodećeg prstena $W_{\text{zd}} \sim 0.562 d^2$

Razjedinjeni metak može da se upotrebi kod oruđa svih kalibara. Međutim, brzometnost oruđa sa razjedinjenim metkom je znatno manja nego kod oruđa sa sjedinjenim metkom. Zato se razjedinjeni metak koristi kod oruđa sa promenljivim barutnim punjenjem (haubice), pa se pri punjenju projektil snažno potiskuje da bi se vodeći prsten urezao u žljebove cevi.

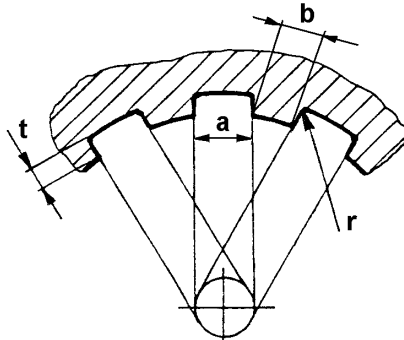
Pri razradi načina vođenja zrna u cevi nastoji se da se obezbedi:

- Dobro centriranje projektila.
- Pouzdano zaptivanje barutnih gasova između projektila i zidova cevi.
- Visoka preciznost gađanja, što se postiže ne samo jednoobraznim vođenjem projektila u cevi već i njegovom stabilnošću na putanji.
- Pogodnost punjenja.
- Jednoobraznost proizvodnje i dug život cevi.

Vođenje projektila pomoću žljebova u cevi i vodećeg prstena na projektilu najbolje zadovoljavaju sve navedene zahteve. Međutim, teško je obezbediti zahtev za dug život cevi pošto na život utiče mnogo faktora različitog karaktera, kao što su:

- ugao nagiba i vrsta žljebova (konstantan ili progresivan ugao uvijanja),
- dubina, širina i broj polja i žljebova,
- konfiguracija i materijal vodećeg prstena.

Profil žljeba kod savremenih oruđa je pravougaoni, a krajevi žljebova su paralelni sa radijusom povučenim ka sredini žljeba (slika 4). Ovakav profil žljebova nije sasvim racionalan, pošto se pri urezivanju vodećeg prstena obrazuju zazori između strana žljebova i “zuba” vodećeg prstena. Pri kretanju projektila u cevi zazor na neopterećenoj strani se povećava, usled čega dolazi do habanja vodećeg prstena i erozije površine kanala cevi.



Slika 4. Pravougli profil žljebova

Da bi se smanjio prodor barutnih gasova žljebovi se ponekad izrađuju tako da im se širina ili dubina smanjuje prema ustima cevi. Kod progresivnog ugla uvijanja zazor koji se obrazuje se neutrališe sa promenljivim uglom nagiba žljebova.

Pri izboru elemenata profila i broja žljebova potrebno je da se obezbedi lako urezivanje, što zahteva mali broj žljebova male dubine, i istovremeno pouzdano vođenje zrna u cevi, što zahteva veći broj žljebova veće dubine. Parametri žljebova zavise od moći oruđa (početne brzine projektila), kao i od materijala i oblika vodećeg prstena.

Širina žljebova se usvaja polazeći od uslova jednake otpornosti zuba vodećeg prstena i polja izljubljenog dela cevi. Ako je vodeći prsten izrađen od mesinga, čija otpornost je $1.5 \div 2.5$ puta manja od otpornosti materijala cevi, širina žljeba će biti $1.5 \div 2.5$ puta veća od širine polja:

$$\frac{a}{b} = 1.5 \div 2.5$$

gde je

a – širina žljeba

b – širina polja

Pri orijentacionom izboru širine polja obično se usvaja

$$3b > a > 1.5b \quad \text{za oruđa sa } V_0 \leq 800 \text{ m/s}$$

$$2b > a > b \quad \text{za oruđa sa } V_0 > 800 \text{ m/s}$$

Da bi se zadovoljio uslov otpornosti zuba vodećeg prstena u zavisnosti od kalibra (d) uzima se

$$a + b \geq (10 \div 15) \text{ mm}$$

Posle izbora širine polja i žljebova broj žljebova se određuje iz izraza:

$$n = \frac{\pi d}{a + b}$$

(3)

Dobijena vrednost n se zaokružuje do broja deljivog sa 4, a zatim se izračunavaju tačne vrednosti a i b.

Dubina žljebova se takođe bira u zavisnosti od moći artiljerijskog oruđa:

$$\begin{aligned} t &= (0.010 \div 0.015) d && \text{za oruđa sa } V_0 \leq 800 \text{ m/s} \\ t &= (0.015 \div 0.040) d && \text{za oruđa sa } V_0 > 800 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Opterećenje polja cevi se karakteriše pritiskom koji je određen izrazom:

$$P_N = \frac{N}{h_{vp} t}$$

(4)

gde je normalna sila na polje cevi nastala usled pritiska vodećeg prstena na bojevu stranu polja:

$$N = \frac{\lambda}{n} (p S \operatorname{tg} \alpha + K_{\alpha} m_p V^2)$$

(5)

ovde je

- p - pritisak barutnih gasova
- S - površina poprečnog preseka kanala cevi sa uzimanjem u obzir žljebova
- α - ugao uvijanja žljebova
- m_p - masa projektila
- V - brzina projektila

$$\lambda = \left(\frac{\rho}{d/2} \right)^2, \quad A = m_p \rho^2 - \text{polarni moment inercije projektila; } \rho - \text{radijus inercije}$$

$$\lambda = 0.56 \quad \text{za pancirne projekte}$$

$$\lambda = 0.6 \div 0.68 \quad \text{za projekte parčadno-rušećeg dejstva}$$

$$K_{\alpha} = \frac{d(\operatorname{tg} \alpha)}{dx}$$

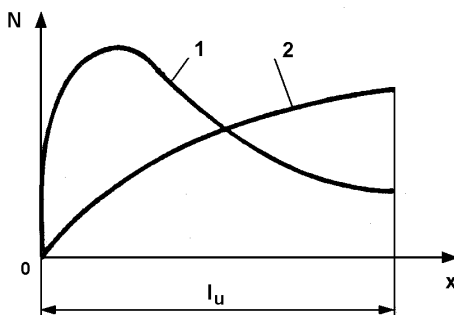
Za konstantan ugao uvijanja $\operatorname{tg} \alpha = \text{const}$ i $K_{\alpha} = 0$. U ovom slučaju jednačina (5) postaje

$$N = \frac{\lambda}{n} p S \operatorname{tg} \alpha$$

(6)

Iz jednačina (5) i (6) proizilazi da normalna sila na bojevu stranu polja cevi nije konstantna, već se menja u zavisnosti od pritiska barutnih gasova u cevi, veličine i karaktera promene ugla uvijanja i brzine projektila.

Ako žljebovi u cevi imaju konstantan ugao uvijanja pritisak na bojevu stranu se menja proporcionalno promeni pritiska barutnih gasova. U slučaju progresivnog uvijanja karakter promene sile N je blizak karakteru krive promene brzine projektila. U slučaju konstantnog ugla uvijanja sila pritiska na bojevu stranu polja ima maksimalnu vrednost u oblasti maksimalnog pritiska, a u slučaju progresivnog ugla uvijanja na ustima cevi, gde je pritisak barutnih gasova najmanji (slika 5).



Slika 5. Promena sile N pri konstantnom (1) i progresivnom (2) uvijanju

Primena progresivnog uvijanja umesto konstantnog omogućava:

- smanjivanje vrednosti sile N_{\max} za 30÷40 % i pomeranje napadne tačke ove sile u odnosu na položaj projektila pri p_{\max} , čime se povećavaju otpornost i život cevi,
- poboljšanje uslova urezivanja vodećeg prstena u žljebove cevi, čime se praktično izbegava pojava smicanja vodećeg prstena.

Sa povećanjem pritiska P_N odnos širine žljeba i širine polja se smanjuje ($\frac{a}{b} = 1.2 \div 1.4$), ali se širina vodećeg prstena povećava do $h_{vp} = (0.02 \div 0.025)d$.

Zaobljenje r (slika 4) povećava otpornost žljebova i olakšava čišćenje cevi. Radijus zaobljenja žljebova se obično usvaja

$$r = \frac{t}{2 \div 3} \text{ mm}$$

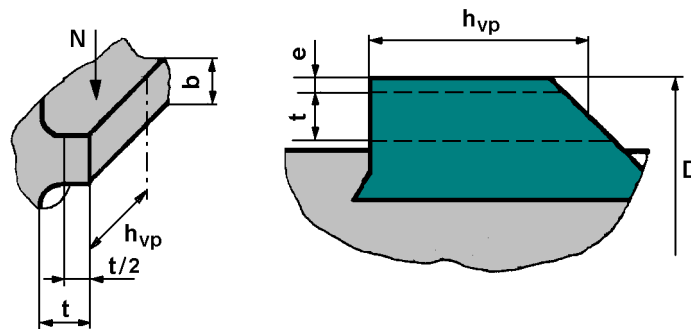
Pored određivanja dozvoljenog pritiska žljebovi i polja se proveravaju na savijanje i smicanje (slika 6).

Maksimalno naprezanje na savijanje je

$$(\sigma_{sav})_{\max} = \frac{(M_{sav})_{\max}}{W} \quad (7)$$

gde je

$$(M_{sav})_{\max} = \frac{N_{\max} t}{2} \quad - \text{ maksimalni moment savijanja}$$



Slika 6. Uz proračun polja na savijanje i smicanje

$$W = \frac{h_{vp} b^2}{6} \quad - \text{ otporni moment preseka}$$

Maksimalno naprezanje na smicanje je

$$\tau_{\max} = \frac{N_{\max}}{b h_{vp}} \quad (8)$$

Svedeno ukupno naprezanje se određuje po formuli

$$(\sigma_{sv})_{\max} = \sqrt{(\sigma_{sav})_{\max}^2 + 4 \tau_{\max}^2} \leq \sigma_s \quad (9)$$

gde je

σ_s - granica otpornosti materijala cevi.

Navedeni način proračuna je približan pošto ne uzima u obzir dejstvo radijalnog pritiska vodećeg prstena na izljubljeni deo cevi.

Jedan od osnovnih problema pri projektovanju žljebljenog dela cevi je izbor ugla uvijanja žljebova na ustima cevi pošto od njegove veličine zavisi stabilnost projektila na putanji. Ovaj problem postaje složeniji kod oruđa koje ima više vrsta punjenja. Ugao uvijanja je definisan veličinom ugla nagiba žljebova prema osi cevi. Žljebovi sa konstantnim uglom uvijanja imaju konstantan ugao nagiba po celoj dužini cevi. Kod žljebova sa progresivnim uglom uvijanja ugao nagiba raste prema ustima cevi. Primenuju se i žljebovi sa kombinovanim uglom uvijanja koji imaju delove sa progresivnim i delove sa konstantnim uglom uvijanja.

Pri određivanju ugla uvijanja polazi se od zadovoljenja dva zahteva: otpornost vodećeg prstena i stabilnost leta projektila na putanji. Ako je cev kratka ($< 25d$), a projektilu treba dati veći broj obrtaja, primenjuje se progresivno uvijanje žljebova, jer bi inače bilo teško obezbediti otpornost vodećeg prstena.

Korak žljeba je rastojanje duž ose cevi na kojem projektil napravi jedan puni obrt. Korak žljeba se izražava u kalibrima.

Za konstantno uvijanje žljebova ($\alpha = \text{const}$) korak žljeba je:

$$h_z = \frac{\pi d}{\operatorname{tg} \alpha} \quad \text{ili u kalibrima} \quad \eta = \frac{h_z}{d} = \frac{\pi}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (10)$$

Za progresivno uvijanje korak žljeba u svakoj tački je različit, pa je korak žljeba na početku izljebljenog dela cevi:

$$\eta_0 = \frac{h_{z,0}}{d} = \frac{\pi}{\operatorname{tg} \alpha_0} \quad (11)$$

a korak žljeba na ustima cevi

$$\eta_u = \frac{h_{z,u}}{d} = \frac{\pi}{\operatorname{tg} \alpha_u} \quad (12)$$

Gde su α_0 i α_u uglovi nagiba žljebova na početku izljebljenog dela i na ustima cevi.

Maksimalni korak žljeba na ustima cevi $\eta_{u,\max}$, odnosno minimalni ugao nagiba žljeba na ustima cevi $\alpha_{u,\min}$, definisani su najmanjom ugaonom brzinom projektila na ustima cevi koja obezbeđuje stabilnost projektila. Ugao nagiba žljeba na ustima cevi se usvaja tako da bude $\alpha_u > \alpha_{u,\min}$, a početni ugao nagiba žljeba α_0 se usvaja prema sledećoj relaciji:

$$\frac{\alpha_0}{\alpha_u} = 0.21 + 0.65 \frac{p_{sr}}{p_{\max}} \quad (13)$$

Odnos srednjeg i maksimalnog pritiska barutnih gasova p_{sr}/p_{\max} je koeficijent punoće indikatorskog dijagrama $p=f(x)$, koji je važna karakteristika oruđa kao termodinamičke mašine. Ugao α_0 mora da bude utoliko manji ukoliko je živost baruta veća.

Funkcija progresivnog uvijanja žljebova $y=f(x)$ je obično parabola ili sinusoida. Promenom pojedinih parametara ove funkcije može se menjati položaj tačke delovanja maksimalnog normalnog pritiska na bojevu stranu polja cevi.

Kriva uvijanja žljebova je najčešće parabola drugog reda: $y=2px^2$. Parametar p se određuje diferenciranjem funkcije na početku žljebova i na ustima cevi:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = 2 p x_0 \quad \text{i} \quad \operatorname{tg} \alpha_u = 2 p x_u$$

odakle je

$$\operatorname{tg} \alpha_u - \operatorname{tg} \alpha_0 = 2 p (x_u - x_0) = 2 p l_u \quad (14)$$

pa je funkcija progresivnog uvijanja žljebova:

$$y = \frac{\operatorname{tg} \alpha_u - \operatorname{tg} \alpha_0}{2 l_u} x^2 \quad (15)$$

Pomoću jednačine (15) može da se konstruiše kriva radnog profila pomoću koga se vrši žljebljenje cevi na specijalnom strugu.

Redosled proračuna neojačanih – monoblok cevi

Pri projektovanju cevi nastoji se da se maksimalno zadovolje osnovni zahtevi koji se postavljaju cevima.

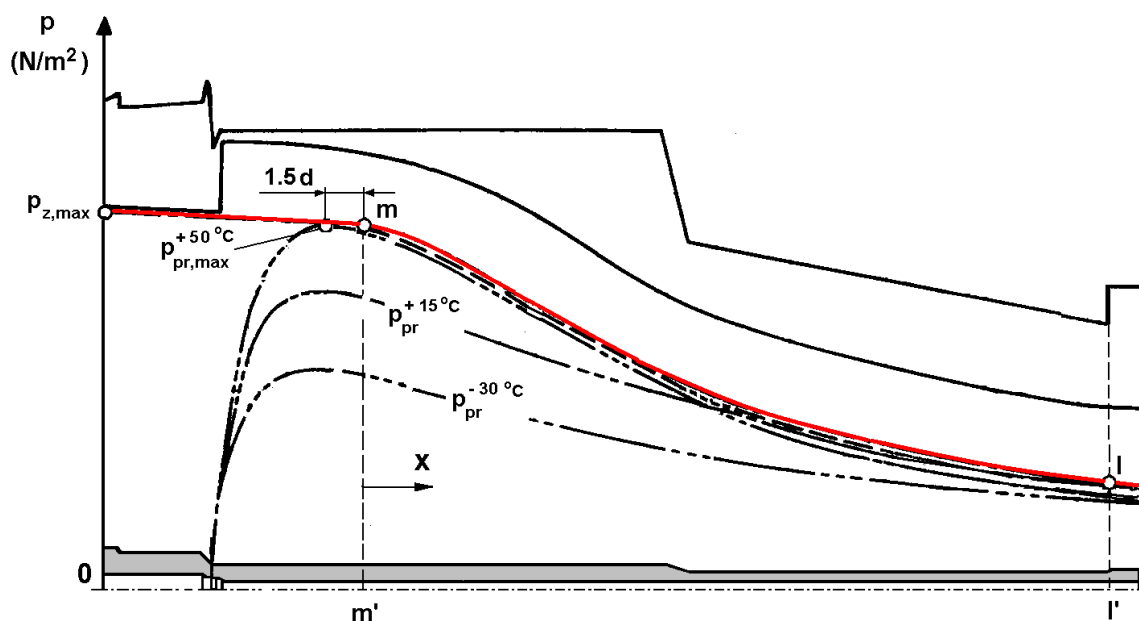
Unutrašnjebalistički proračun daje sve potrebne podatke za formiranje komore i izljebljenog dela cevi.

Pri formiranju spoljašnjih kontura cevi treba uzeti u obzir način njenog vođenja pri trzanju (konstrukcija kolvke) i osiguranja od obrtanja, način vezivanja zadnjaka (ako nije izrađen kao celina sa cevi), sistem vezivanja gasne kočnice i protivtrzajućih uređaja. Kod tenkovskih cevi razmatra se postavljanje produvnika barutnih gasova. Kod brzometnih oruđa razmatra se problem hlađenja ili brze zamene cevi.

Cev ne sme da ima nagle prelaze koji bi mogli da izazovu koncentraciju napona. Debljina zidova na ustima cevi ne sme da bude manja od $0.1d$. Projektovanju cevi treba da prethodi brižljivo proučavanje postojećih konstrukcija cevi i artiljerijskih oruđa u celini.

Proračun otpornosti cevi vrši se sledećim redosledom:

1. Određuje se položaj projektila u kanalu cevi i u razmeri se crta presek cevi.
2. Crtaju se krive pritiska barutnih gasova na dno projektila za temperature barutnog punjenja $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 12. Određivanje elastične otpornosti monoblok cevi

3. Konstruiše se kriva maksimalnog pritiska barutnih gasova na zidove cevi.
 - a) Položaj tačke maksimalnog pritiska na dno projektila za temperaturu $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ pomera se za $1.5d$ prema ustima cevi (tačka **m** na slici 7). Ovo se radi zato što položaj projektila u trenutku postizanja maksimalnog pritiska barutnih gasova na njegovo dno ($p_{pr,max}$) može u izvesnoj meri da se razlikuje od položaja projektila dobijenog UB proračunom.
 - b) Određuje se maksimalni pritisak na dno barutne komore na temperaturi $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ $p_{z,max}$.
 - c) Formira se obvojnica krivih pritiska na dno projektila između tačke **m** i usta cevi.
 - d) Tačke $p_{z,max}$ i **m** se spajaju pravom linijom.

4. Konstruiše se kriva željene otpornosti cevi, radi čega se ordinata krive maksimalnih pritiska barutnih gasova množi sa koeficijentom sigurnosti η :

- u komori $\eta = 1$
- od početka žljebova do preseka u kome se nalazi tačka maksimalnog pritiska
 - $\eta = 1.1$ - za jednocentno žljebljenje
 - $\eta = 1.2$ - za dvocentno žljebljenje
- od tačke udaljene $2d$ od usta cevi do kraja cevi $\eta = 1.9$
- od tačke maksimalnog pritiska do tačke na $2d$ od usta cevi koeficijent sigurnosti se menja po linearnom zakonu:

$$\eta_i = 1.1 + 0.8 \frac{x_i}{m'l'} \quad \text{za jednocentno žljebljenje}$$

$$\eta_i = 1.2 + 0.7 \frac{x_i}{m'l'} \quad \text{za dvocentno žljebljenje}$$

gde je

- x_i – rastojanje do razmatranog preseka
- $m'l'$ – dužina odsečka cevi između tačaka m i l

Na osnovu pritiska izraženih ordinatama krive željene otpornosti vrši se proračun cevi.

5. Bira se spoljašnji poluprečnik cevi prema

$$r_2 = (\sqrt{2} \div 2) r_1$$

zaokružujući do 5 mm u veću stranu, pri čemu je

$$r_1 = \frac{d}{2} + t = (0.51 \div 0.52) d$$

6. Bira se materijal za cev. Ovo može da se uradi na dva načina:

a) Iz uslova maksimalne vrednosti granice elastične otpornosti cevi ($p_1 = p_{z,max}$)

$$\sigma_e = \frac{2}{3} p_{z,max} \frac{2r_{2k}^2 + r_{1k}^2}{r_{2k}^2 - r_{1k}^2}$$

gde je r_{1k} najveći unutrašnji poluprečnik komore. Dobijena vrednost σ_e se zaokružuje na prvu veću standardnu vrednost.

b) Na osnovu analize postojećih konstrukcija usvaja se odgovarajući materijal (σ_e) i nalazi se r_{2k} po formuli:

$$r_{2k} = r_{1k} \sqrt{\frac{3\sigma_e + 2p_{z,max}}{3\sigma_e - 4p_{z,max}}}$$

odnosno određuju se spoljne dimenzije komore.

7. Za poznati materijal nalazi se spoljašnji prečnik cevi

$$r_2 = r_1 \sqrt{\frac{3\sigma_e + 2p_1}{3\sigma_e - 4p_1}}$$

gde je p_1 određen ordinatom krive željene otpornosti cevi.

Proračunata dimenzija spoljašnjeg poluprečnika na delu 2d od usta cevi uvećava se za 2÷3 mm ako nema gasne kočnice, odnosno za 5÷6 mm ako ima gasne kočnice.

8. Konstruiše se izlomljena linija **stvarne otpornosti cevi** radi čega se u svakom preseku cevi gde se menja spoljašnji i unutrašnji prečnik izračunava granica elastične otpornosti cevi:

$$p_1 = \frac{3}{2} \sigma_e \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2}$$

Stvarna otpornost cevi ne sme da bude manja od željene otpornosti. Stvarni koeficijent sigurnosti u svakoj tački je količnik ordinate stvarne otpornosti cevi i ordinate obvojnice maksimalnih pritisaka na zidove cevi.