

BUŠENJE I

Formule



NIZ BUŠAČIH ALATKI

✚ Površina prstenastog presjeka

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

Gdje su:

- A – površina prstenastog presjeka (m²)
- D – vanjski promjer prstenastog presjeka (m)
- d – unutarnji promjer prstenastog presjeka (m)

✚ Polarni moment otpora prstenastog presjeka

$$W_p = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D}$$

Gdje su:

- W_p – polarni moment otpora prstenastog presjeka (m³)
- D – vanjski promjer prstenastog presjeka (m)
- d – unutarnji promjer prstenastog presjeka (m)

✚ Uzgon

$$U = \frac{\rho_{\check{c}} - \rho_i}{\rho_{\check{c}}}$$

Gdje su:

- U – uzgon (-)
- ρ_č – gustoća čelika (7850 kg/m³)
- ρ_i – gustoća isplake (kg/m³)

✚ Opterećenje na dlijeto

$$P_{dl} = x \cdot q_{t\check{s}} \cdot l_{t\check{s}} \cdot U$$

ili

$$P_{dl} = P'_{dl} \cdot D_{dl}$$

Gdje su:

- P_{dl} – opterećenje na dlijeto (kN)
- x – dio teških šipki s kojima je ostvareno opterećenje na dlijeto (dijelovi cijelog)

$q_{tš}$ – jedinična težina teških šipki (kN/m)
 $l_{tš}$ – duljina teških šipki (m)
 U – uzgon (-)
 P_{dl} – jedinično opterećenje na dlijeto (kN/m promjera dlijeta)
 D_{dl} – promjer dlijeta (m)

✚ Opterećenje na dlijeto (usmjerene bušotine)

$$P_{dl} = x \cdot q_{tš} \cdot l_{tš} \cdot U \cdot \cos(\alpha)$$

Gdje su:

P_{dl} – opterećenje na dlijeto (kN)
 x – dio teških šipki s kojima je ostvareno opterećenje na dlijeto (dijelovi cijelog)
 $q_{tš}$ – jedinična težina teških šipki (kN/m)
 $l_{tš}$ – duljina teških šipki (m)
 U – uzgon (-)
 α – kut odklona kanala bušotine (°)

✚ Naprezanje u bušaćim alatcima u trenutku kad se dlijeto nalazi neposredno iznad dna bušotine (formula a) i u trenutku kada se ostvari određeno opterećenje na dlijeto (formula b)

$$\sigma = \frac{U \cdot (Q_{dl} + q_{st} \cdot l_{st} + q_{tš} \cdot l_{tš} + q_{tbš} \cdot l_{tbš} + q_{bš} \cdot l_{bš})}{A} \quad a)$$

$$\sigma = \frac{U \cdot (Q_{dl} + q_{st} \cdot l_{st} + q_{tš} \cdot l_{tš} + q_{tbš} \cdot l_{tbš} + q_{bš} \cdot l_{bš}) - P_{dl}}{A} \quad b)$$

Gdje su:

σ – uzdužna naprezanja u bušaćim alatcima (kN/m²)
 U – uzgon (-)
 Q_{dl} – težina dlijeta (kN)
 q_{st} – jedinična težina stabilizatora (kN/m)
 l_{st} – duljina stabilizatora (m)
 $q_{tš}$ – jedinična težina teških šipki (kN/m)
 $l_{tš}$ – duljina teških šipki (m)
 $q_{tbš}$ – jedinična težina teških bušaćih šipki (kN/m)
 $l_{tbš}$ – duljina teških bušaćih šipki (m)
 $q_{bš}$ – jedinična težina bušaćih šipki (kN/m)
 $l_{bš}$ – duljina bušaćih šipki (m)
 P_{dl} – opterećenja na dlijeto (kN)
 A – površina poprečnog presjeka u određenoj karakterističnoj točki (m²)

✚ Torzijsko naprezanje

$$\tau = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{N \cdot \lambda \cdot \eta_p}{w_p \cdot n_r}$$

Gdje su:

τ – torzijsko naprezanje (MN/m²)
 N – snaga motora (kW)

λ – koeficijent preopterećenja (-)
 η_p – koeficijent korisnog djelovanja prijenosnog mehanizma (-)
 w_p – polarni moment otpora prstenastog presjeka (cm³)
 n_r – broj okretaja vrtaćeg stola (min⁻¹)

✚ Reducirano naprezanje

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2}$$

Gdje su:

σ_{red} – reducirano naprezanje (MN/m²)
 σ – vlačno naprezanje (MN/m²)
 τ – torzijsko naprezanje (MN/m²)

✚ Odabir kakvoće čelika mora zadovoljiti sljedeći uvjet

$$\sigma_e \geq \sigma_{red} \cdot KS$$

Gdje su:

σ_e – granica razvlačenja (MN/m²)
 σ_{red} – reducirano naprezanje (MN/m²)
 KS – koeficijent sigurnosti (ukoliko nije zadan uzima se vrijednost 1,25)

✚ Kut za koji se zaokrene kolona bušaćih šipki kada na nju djeluje okretni moment

$$\varphi = 0,0014 \cdot \frac{l_{bš}}{D_{bš}} \cdot \tau$$

Gdje su:

φ – kut zaokreta kolone bušaćih šipki (°)
 $l_{bš}$ – duljina bušaćih šipki (m)
 $D_{bš}$ – vanjski (nominalni) promjer bušaćih šipki (m)
 τ – torzijsko naprezanje (MN/m²)

✚ Broj punih zaokreta kolone bušaćih šipki

$$n_T = 3,89 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{l_{bš}}{D_{bš}} \cdot \tau$$

Gdje su:

n_T – broj zaokreta kolone bušaćih šipki (okretaja)
 $l_{bš}$ – duljina bušaćih šipki (m)
 $D_{bš}$ – vanjski (nominalni) promjer bušaćih šipki (m)
 τ – torzijsko naprezanje (MN/m²)

ODABIR ZAŠTITNIH CIJEVI

Konstruktivski koeficijenti sigurnosti:

- 1,1 – za naprezanje uslijed djelovanja unutrašnjeg tlaka
- 1,125 – za naprezanje uslijed djelovanja vanjskog tlaka
- 1,8 ili 500 kN (uzima se veća vrijednost) – za naprezanje uslijed djelovanja vlačnih sila

Rezultanta unutrašnjeg tlaka

- **uvodna i tehničke kolone**

- ✚ **Položaj linije odabira zaštitnih cijevi na njihovom dnu računa se prema jednadžbi:**

$$p_d = g \cdot [(G_f + x_f) \cdot H_d - H_d \cdot \rho_{sv}] \cdot K_1$$

Gdje su:

- p_d - unutrašnji tlak na dnu niza zaštitnih cijevi (Pa)
- g - gravitacija (m/s^2)
- G_f - gradijent tlaka razdiranja naslaga izražen kao ekvivalent gustoće isplake (kg/m^3)
- x_f - korekcija za točnost određivanja tlaka razdiranja naslaga (kg/m^3)
- H_d - dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi (m)
- ρ_{sv} - gustoća slojne vode (kg/m^3)
- K_1 - faktor sigurnosti kod naprezanja uslijed djelovanja unutrašnjeg tlaka (-)

- ✚ **Ako se kod odabira uzme u obzir pretpostavka da podizanje slojnog fluida unutar kolone zaštitnih cijevi neće iznositi više od $2/3 H_{zc}$, onda se vrijednost odabira na vrhu zaštitnih cijevi računa prema jednadžbi:**

$$p_u = g \cdot [(G_f + x_f) \cdot H_d - H_v \cdot \rho_{in} - (H_d - H_v) \cdot \rho_f] \cdot K_1$$

Gdje su:

- p_u - unutarnji tlak na vrhu kolone zaštitnih cijevi (Pa)
- H_v - dubina vrha stupca plina u zaštitnim cijevima (ako nije zadan iznosi $1/3 H_d$) (m)
- g - gravitacija (m/s^2)
- G_f - gradijent tlaka razdiranja naslaga izražen kao ekvivalent gustoće isplake (kg/m^3)
- x_f - korekcija za točnost određivanja tlaka razdiranja naslaga (kg/m^3)
- H_d - dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi (m)
- ρ_{in} - gustoća isplake za nastavak bušenja (kg/m^3)
- K_1 - faktor sigurnosti kod naprezanja uslijed djelovanja unutrašnjeg tlaka (-)
- ρ_f - gustoća slojnog fluida (kg/m^3)

✚ **Položaj linije odabira u razini vrha stupca plina računa se prema jednadžbi:**

$$p_v = p_u + [g \cdot H_v \cdot (\rho_{in} - \rho_{sv})] \cdot K_1$$

Gdje su:

- p_v - unutrašnji tlak na vrhu stupca plina (Pa)
- p_u - unutarnji tlak na vrhu kolone zaštitnih cijevi (Pa)
- H_v - dubina vrha stupca plina u zaštitnim cijevima (ako nije zadan iznosi $1/3 H_d$) (m)
- g - gravitacija (m/s^2)
- ρ_{in} - gustoća isplake za nastavak bušenja (kg/m^3)
- K_1 - faktor sigurnosti kod naprezanja uslijed djelovanja unutrašnjeg tlaka (-)
- ρ_{sv} - gustoća slojne vode (kg/m^3)

➤ **Proizvodna kolona**

✚ **Položaj linije odabira na dnu bušotine:**

$$p_d = (p_{sl} - \rho_{sv} \cdot g \cdot H_d) \cdot K_1$$

Gdje su:

- p_d - unutarnji tlak na dnu proizvodne kolone (Pa)
- p_{sl} - slojni tlak (Pa)
- ρ_{sv} - gustoća slojne vode (kg/m^3)
- g - gravitacija (m/s^2)
- H_d - dubina ugradnje proizvodne kolone (m)
- K_1 - faktor sigurnosti kod naprezanja uslijed djelovanja unutrašnjeg tlaka (-)

✚ **Položaj linije odabira na dnu istražne bušotine za slučaj gušenja bušotina u sloj računa se prema izrazu:**

$$p_d = \{g \cdot H_d \cdot [(G_f + x_f) - \rho_{sv}] + \Delta p_{tr}\} \cdot K_1$$

Gdje su:

- p_d - unutarnji tlak na dnu proizvodne kolone (Pa)
- g - gravitacija (m/s^2)
- H_d - dubina ugradnje proizvodne kolone (m)
- G_f - gradijent tlaka razdiranja naslaga izražen kao ekvivalent gustoće isplake (kg/m^3)
- x_f - korekcija za točnost određivanja tlaka razdiranja naslaga (kg/m^3)
- ρ_{sv} - gustoća slojne vode (kg/m^3)
- Δp_{tr} - gubitak tlaka zbog trenja tijekom gušenja (Pa)
- K_1 - faktor sigurnosti kod naprezanja uslijed djelovanja unutrašnjeg tlaka (-)

- ✚ **Položaj linije odabira zaštitnih cijevi za unutrašnji tlak neposredno iznad pakera računa se prema jednadžbi:**

$$p_p = \{g \cdot [H_d \cdot (G_f + x_f) - H_d \cdot \rho_f + H_p \cdot \rho_{pf} - H_p \cdot \rho_{sv}] + \Delta p_{tr}\} \cdot K_1$$

Gdje su:

- P_p – unutrašnji tlak neposredno iznad paker (Pa)
- g – gravitacija (m/s^2)
- H_d – dubina ugradnje proizvodne kolone (m)
- G_f - gradijent tlaka razdiranja naslaga izražen kao ekvivalent gustoće isplake (kg/m^3)
- x_f - korekcija za točnost određivanja tlaka razdiranja naslaga (kg/m^3)
- ρ_f – gustoća slojnog fluida (kg/m^3)
- ρ_{pf} – gustoća paker fluida (kg/m^3)
- ρ_{sv} – gustoća slojne vode (kg/m^3)
- H_p – dubina ugradnje pakera (m)
- Δp_{tr} – gubitak tlaka zbog trenja tijekom gušenja (Pa)
- K_1 - faktor sigurnosti kod naprezanja uslijed djelovanja unutrašnjeg tlaka (-)

- ✚ **Položaj linije odabira zaštitnih cijevi za unutrašnji tlak neposredno ispod pakera računa se prema jednadžbi:**

$$p_{ip} = \{g \cdot [H_d \cdot (G_f + x_f) - (H_d - H_p) \cdot \rho_f - H_p \cdot \rho_{sv}] + \Delta p_{tr}\} \cdot K_1$$

Gdje su:

- P_{ip} – unutrašnji tlak neposredno ispod pakera (Pa)
- g – gravitacija (m/s^2)
- H_d – dubina ugradnje proizvodne kolone (m)
- G_f - gradijent tlaka razdiranja naslaga izražen kao ekvivalent gustoće isplake (kg/m^3)
- x_f - korekcija za točnost određivanja tlaka razdiranja naslaga (kg/m^3)
- ρ_f – gustoća slojnog fluida (kg/m^3)
- ρ_{sv} – gustoća slojne vode (kg/m^3)
- H_p – dubina ugradnje pakera (m)
- Δp_{tr} – gubitak tlaka zbog trenja tijekom gušenja (Pa)
- K_1 - faktor sigurnosti kod naprezanja uslijed djelovanja unutrašnjeg tlaka (-)

- ✚ **Položaj linije odabira zaštitnih cijevi za unutrašnji tlak na ušću bušotine dobiva se iz sljedećeg izraza:**

$$p_u = \{g \cdot [H_d \cdot (G_f + x_f) - H_d \cdot \rho_f] + \Delta p_{tr}\} \cdot K_1$$

Gdje su:

- P_u – unutrašnji tlak na ušću bušotine (Pa)
- g – gravitacija (m/s^2)
- H_d – dubina ugradnje proizvodne kolone (m)
- G_f - gradijent tlaka razdiranja naslaga izražen kao ekvivalent gustoće isplake (kg/m^3)

- x_f - korekcija za točnost određivanja tlaka razdiranja naslaga (kg/m^3)
- ρ_f - gustoća slojnog fluida (kg/m^3)
- Δp_{tr} - gubitak tlaka zbog trenja tijekom gušenja (Pa)
- K_1 - faktor sigurnosti kod naprezanja uslijed djelovanja unutrašnjeg tlaka (-)

Rezultanta vanjskog tlaka

➤ **uvodna i tehničke kolone**

✚ **Linija odabira zaštitnih cijevi na njihovom dnu definirana je jednadžbom:**

$$p_d = g \cdot [H_d \cdot \rho_{uzc} - (H_d - H_i) \cdot \rho_{in}] \cdot K_2$$

Gdje su:

- p_d - vanjski tlak na dnu zaštitnih cijevi (Pa)
- g - gravitacija (m/s^2)
- H_d - dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi (m)
- ρ_{uzc} - gustoća isplake u trenutku ugradnje zaštitnih cijevi (kg/m^3)
- H_i - dubina vrha stupca isplake u zaštitnim cijevima (m)
- ρ_{in} - gustoća isplake za nastavak bušenja (kg/m^3)
- K_2 - faktor sigurnosti (-)

✚ **Dubina vrha stupca isplake u zaštitnim cijevima računa se prema izrazu:**

$$H_i = \frac{H_g \cdot (\rho_{in} - \rho_{sv})}{\rho_{in}}$$

Gdje su:

- H_i - dubina vrha stupca isplake u zaštitnim cijevima (m)
- H_g - dubina gubljenja isplake (m)
- ρ_{in} - gustoća isplake za nastavak bušenja (kg/m^3)
- ρ_{sv} - gustoća slojne vode (kg/m^3)

✚ **Položaj linije odabira za vanjski tlak na razini vrha stupca isplake računa se prema sljedećem izrazu:**

$$p_g = g \cdot H_i \cdot \rho_{uzc} \cdot K_2$$

Gdje su:

- p_g - naprezanje uslijed vanjskog tlaka na vrhu stupca isplake (Pa)
- g - gravitacija (m/s^2)
- H_i - dubina vrha stupca isplake u zaštitnim cijevima (m)
- ρ_{uzc} - gustoća isplake u trenutku ugradnje zaštitnih cijevi (kg/m^3)
- K_2 - faktor sigurnosti (-)

- ✚ **Položaj linije odabira zaštitnih cijevi s obzirom na vanjski tlak na dnu bušotine tijekom i neposredno nakon cementacije računa se prema jednadžbi:**

$$p_d = g \cdot H_d (\rho_{ck} - \rho_{tc}) \cdot K_2$$

Gdje su:

- p_d - tlak na dnu kolone zaštitnih cijevi tijekom i odmah po završetku cementacije (Pa)
- g – gravitacija (m/s^2)
- H_d – dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi (m)
- ρ_{tc} - gustoća isplake tijekom cementacije zaštitnih cijevi (kg/m^3)
- ρ_{ck} - gustoća cementne kaše (kg/m^3)
- K_2 - faktor sigurnosti (-)

Položaj linije odabira zaštitnih cijevi s obzirom na vanjski tlak na dnu bušotine tijekom i neposredno nakon cementacije (u slučaju upotrebe cementnih kaša različite gustoće) računa se prema jednadžbi:

$$p_d = g \cdot [(\rho_{ck1} \cdot h_1 + \rho_{ck2} \cdot h_2 + \dots + \rho_{ckn} \cdot h_n) - \rho_{tc} \cdot H_d] \cdot K_2$$

Gdje su:

- p_d - tlak na dnu kolone zaštitnih cijevi tijekom i odmah po završetku cementacije (Pa)
- g – gravitacija (m/s^2)
- H_d – dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi (m)
- ρ_{tc} - gustoća isplake tijekom cementacije zaštitnih cijevi (kg/m^3)
- $\rho_{ck1}, \rho_{ck2}, \rho_{ckn}$ - gustoće cementnih kaša (kg/m^3)
- h_1, h_2, h_n – visina prstenastog prostora koje popunjava pojedina cementna kaša (m)
- K_2 - faktor sigurnosti (-)

Na ušću bušotine nema naprezanja na vanjski tlak, tj. $p_u=0$.

➤ **Proizvodna kolona**

- ✚ **Položaj linije vanjskog tlaka na dnu kolone zaštitnih cijevi računa se prema jednadžbi:**

$$p_d = p_{sl} \cdot K_2$$

Gdje su:

- p_d – vanjski tlak na dnu proizvodne kolone (Pa)
- p_{sl} – slojni tlak (Pa)
- K_2 - faktor sigurnosti (-)

- ✚ **Položaj linije vanjskog tlaka na dnu kolone zaštitnih cijevi kod istražnih bušotine (nema podataka o slojnom tlaku) računa se prema jednadžbi:**

$$p_d = g \cdot H_d \cdot \rho_{uzc} \cdot K_2$$

Gdje su:

- p_d – vanjski tlak na dnu proizvodne kolone (Pa)
- ρ_{uzc} - gustoća isplake u trenutku ugradnje zaštitnih cijevi (kg/m^3)
- H_d – dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi (m)
- K_2 - faktor sigurnosti (-)

Na ušću bušotine nema naprezanja na vanjski tlak, tj. $p_u=0$.

Proračun uzdužnih opterećenja

Tlačna sila na dnu zaštitnih cijevi:

$$U = p_h \cdot A = \rho_{uzc} \cdot g \cdot H_d \cdot A$$

Gdje su:

- U – tlačna sila na dnu zaštitnih cijevi (N)
- p_h – hidrostatički tlak stupca isplake (Pa)
- A - površina presjeka tijela cijevi (m^2)
- ρ_{uzc} - gustoća isplake u trenutku ugradnje zaštitnih cijevi (kg/m^3)
- g – gravitacija (m/s^2)
- H_d – dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi (m)

Vrh zaštitnih cijevi:

$$Q_{zc} = q_{zc} \cdot l_{zc}$$

Gdje su:

- Q_{zc} – težina niza zaštitnih cijevi (N)
- q_{zc} – jedinična težina zaštitnih cijevi (N/m)
- l_{zc} – duljina niza zaštitnih cijevi (m)

Rezultantska sila:

$$F_R = Q_{zc} - U$$

Gdje su:

- F_R – rezultantska uzdužna sila koja djeluje na niz zaštitnih cijevi (N)
- Q_{zc} – težina niza zaštitnih cijevi (N)
- U – tlačna sila na dnu zaštitnih cijevi (N)

I uvjet sigurnosti

Rezultantska sila uvećana za koeficijent sigurnosti:

$$F_{RK} = K_2 \cdot F_R$$

Gdje su:

F_{RK} – rezultantska sila uvećana za koeficijent sigurnosti (N)

K_2 – koeficijent sigurnosti (=1,8)

F_R – rezultantska uzdužna sila koja djeluje na niz zaštitnih cijevi (N)

II uvjet sigurnosti

Vrijednost kontrolne linije na vrhu zaštitnih cijevi:

$$F_v = F_R + 500$$

Gdje su:

F_v – uzdužna sila na vrhu kolone zaštitnih cijevi (kN)

F_R – rezultantska uzdužna sila koja djeluje na niz zaštitnih cijevi (kN)

Vrijednost kontrolne linije na dnu zaštitnih cijevi:

$$F_d = 500 - U$$

Gdje su:

F_d – uzdužna sila na dnu kolone zaštitnih cijevi (kN)

U – tlačna sila na dnu zaštitnih cijevi (kN)

Proračun kombiniranih opterećenja

Tlačna sila tijekom cementacije na dno zaštitnih cijevi

$$F_{tc} = g \cdot H_d \cdot (\rho_{ck} \cdot A_{vzc} - \rho_{tc} \cdot A_{uzc})$$

Gdje su:

F_{tc} – tlačna sila tijekom cementacije na dno zaštitne cijevi (N)

g – gravitacija (m/s^2)

H_d – dubina ugradnje kolone zaštitnih cijevi (m)

ρ_{ck} – gustoća cementne kaše (kg/m^3)

A_{vzc} – površina vanjskog presjeka zaštitne cijevi (m^2)

ρ_{tc} – gustoća isplake tijekom cementacije (kg/m^3)

A_{uzc} – površina unutarnjeg presjeka zaštitne cijevi (m^2)

Vlačna sila tijekom cementacije na vrhu zaštitnih cijevi

$$F_{vc} = Q_{zc}$$

Gdje su:

- F_{vc} – vlačna sila tijekom cementacije na vrhu zaštitnih cijevi (N)
- Q_{zc} – težina niza zaštitnih cijevi (N)

Rezultantska sila tijekom cementacije

$$F_c = F_{vc} - F_{tc}$$

Gdje su:

- F_c – rezultantska sila tijekom cementacije (N)
- F_{vc} – vlačna sila tijekom cementacije na vrhu zaštitnih cijevi (N)
- F_{tc} – tlačna sila tijekom cementacije na dno zaštitne cijevi (N)

Korekcija za kombinirana naprezanja na ušću

$$\%_u = \frac{F_c}{\sigma_{min} \cdot A} \cdot 100$$

Gdje su:

- $\%_u$ - postotak od nominalne otpornosti zaštitne cijevi (%)
- F_c – rezultantska sila tijekom cementacije (N)
- σ_{min} – minimalno naprezanje do granice razvlačenja (Pa)
- A - površina presjeka tijela cijevi (m²)

Korekcija za kombinirana naprezanja na dnu zaštitnih cijevi

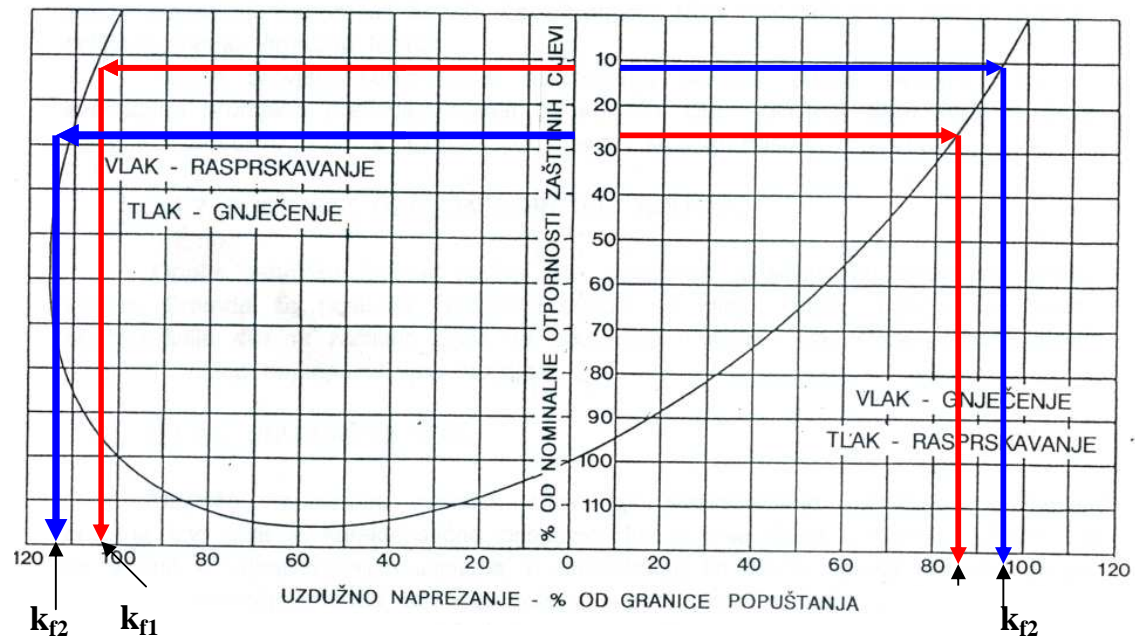
$$\%_d = \frac{F_{tc}}{\sigma_{min} \cdot A} \cdot 100$$

Gdje su:

- $\%_d$ - postotak od nominalne otpornosti zaštitne cijevi (%)
- F_{tc} – tlačna sila tijekom cementacije na dno zaštitne cijevi (N)
- σ_{min} – minimalno naprezanje do granice razvlačenja (Pa)
- A - površina presjeka tijela cijevi (m²)

Uzdužne sile mijenjaju otpornost zaštitnih cijevi na djelovanje vanjskog i unutrašnjeg tlaka

- djelovanje vlačnog opterećenja - smanjenje otpornosti na vanjski tlak
- povećanje otpornosti na unutrašnji tlak
- djelovanje tlačnog opterećenja - povećanje otpornosti na vanjski tlak
- smanjenje otpornosti na unutrašnji tlak



UŽE

Koeficijenti za izračunavanje vlačne sile u bušaćem užetu za pojedine operacije i različite koloturne mehanizme

Radna operacija	Oznaka sile	Koloturni mehanizam				Težina alata
		2 x 3	3 x 4	4 x 5	5 x 6	
		Broj radnih struna				
		4	6	8	10	
Izvlačenje alatki	F _{ir}	0,26288	0,17877	0,13675	0,11156	Q _{uk}
	F _{im}	0,24494	0,15996	0,11752	0,09208	Q _{uk}
Spuštanje alatki	F _{sr}	0,23763	0,15520	0,11402	0,08933	Q _{uk}
	F _{sm}	0,25505	0,17344	0,13267	0,10824	Q _{uk}
Bušenje	F _b	0,25000	0,16667	0,12500	0,10000	Q _{ukb}

F_{ir} – vlačna sila u radnom kraju užeta tijekom izvlačenja alatki (kN)

F_{im} – vlačna sila u mrtvom kraju užeta tijekom izvlačenja alatki (kN)

F_{sr} – vlačna sila u radnom kraju užeta tijekom spuštanja alatki (kN)

F_{sm} – vlačna sila u mrtvom kraju užeta tijekom spuštanja alatki (kN)

F_b – vlačna sila u mrtvom i radnom kraju užeta tijekom bušenja ili mirovanja alatki (kN)

Q_{uk} – ukupna težina alata (kN)

Q_{ukb} – ukupna težina alata tijekom bušenja (kN)

Prosječno opterećenje pojedine žice bušaćeg užeta

$$F_{\dot{z}} = \frac{F}{n_{\dot{z}}}$$

Gdje su:

F_ž – prosječno opterećenje pojedine žice bušaćeg užeta (kN)

F – sila u užetu (kN)

n_ž - broj žica u bušaćem užetu

Vlačna sila u radnoj struni bušaćeg užeta

$$F_{rs} = \frac{Q_{uk}}{n_{rs}}$$

Gdje su:

F_{rs} – vlačna sila u radnoj struni bušaćeg užeta (kN)

Q_{uk} – ukupna težina alata (kN)

n_{rs} - broj radnih struna bušaćeg užeta

Dimenzioniranje (odabiranje) bušačeg užeta

$$Q_p = \mu_{\min} \cdot F_{\max}$$

Gdje su:

- μ_{\min} – minimalni koeficijent sigurnosti (koeficijent sigurnosti kreće se od 3 do 5)
- Q_p – prekidna sila užeta (kN)
- F_{\max} – maksimalna sila koja se pojavljuje u bušačem užetu (kN)

Rad užeta

- Rad užeta koji se obavi kod spuštanja i zadizanja alatki za neku definiranu dubinu

$$R_H = 0,981 \cdot \left[p \cdot H \cdot (H + l_p) + 4 \cdot H \cdot \left(P + \frac{d}{2} \right) \right] \cdot 10^{-3}$$

Gdje su:

- R_H – rad užeta (daN.km)
- H – dubina na koju se spušta odnosno s koje se izvlači alat (m)
- l_p – duljina pasa (jedna, dvije ili tri šipke ovisno o mogućnostima postrojenja) (m)
- p – jedinična težina bušačkih šipki uronjena u isplaku (kg/m)
- d – dodatna težina zbog teških šipki i dlijeta (kg)
- P – težina kuke, elevatora, stremenova, pomičnog koloturja (kg)

$$d = L_{tš} \cdot U \cdot (q_{tš} - q_{bš})$$

Gdje su:

- d – dodatna težina zbog teških šipki i dlijeta (kg)
- $L_{tš}$ – duljina teških šipki (m)
- $q_{tš}$ – jedinična težina teških šipki (kg/m)
- $q_{bš}$ – jedinična težina bušačkih šipki (kg/m)
- U – uzgon (-)

- Rad užeta kod bušenja do određene dubine

$$R_{bH} = 3 \cdot R_H$$

Gdje su:

- R_{bH} – rad užeta tijekom bušenja do određene dubine (daN.km)
- R_H – rad užeta kod spuštanja i izvlačenja alatki do navedene dubine(daN.km)

- Rad užeta tijekom bušenja od dubine H_1 do dubine H_2

$$R_{b(H_1-H_2)} = 3 \cdot (R_{H_2} - R_{H_1})$$

Gdje su:

$R_{b(H_1-H_2)}$ – rad užeta tijekom bušenja od dubine H_1 do dubine H_2 (daN.km)

R_{H_1} – rad uzeta kod spuštanja i izvlačenja alatki do dubine H_1 (daN.km)

R_{H_2} – rad uzeta kod spuštanja i izvlačenja alatki do dubine H_2 (daN.km)

- Rad užeta kod jezgrovanja od dubine H_1 do H_2

$$R_{j(H_1-H_2)} = 2 \cdot (R_{H_2} - R_{H_1})$$

Gdje su:

$R_{j(H_1-H_2)}$ – rad užeta tijekom jezgrovanja od dubine H_1 do dubine H_2 (daN.km)

R_{H_1} – rad uzeta kod spuštanja i izvlačenja alatki do dubine H_1 (daN.km)

R_{H_2} – rad uzeta kod spuštanja i izvlačenja alatki do dubine H_2 (daN.km)

DRILOGRAM

Pokazivanje indikatora težine u pojedinom trenutku

$$p = \frac{Q_k + Q_o}{k}$$

ili

$$p = \frac{Q_k}{k} + p_0$$

Gdje su:

- p – pokazivanje indikatora težine kada na kuki visi teret (podjelak)
 - Q_k – težina alata koji visi na kuki (kN)
 - Q_o – težina pomičnog koloturja, kuke, streменова i elevatora (kN)
 - p_0 – pokazivanje indikatora težine kada na kuki nema tereta („uvjetna nula“)
- (podjelak)
- k – vrijednosti jednog podjeljka (kN)

Određivanje vrijednosti jednog podjeljka (k) indikatora težine

$$k = \frac{Q_o + Q_k}{p}$$

ili

$$k = \frac{Q_k}{p - p_0}$$

Gdje su:

- p – pokazivanje indikatora težine kada na kuki visi teret (podjelak)
 - Q_k – težina alata koji visi na kuki (kN)
 - Q_o – težina pomičnog koloturja, kuke, streменова i elevatora („uvjetna nula“) (kN)
 - p_0 – pokazivanje indikatora težine kada na kuki nema tereta („uvjetna nula“)
- (podjelak)
- k – vrijednosti jednog podjeljka (kN)

PRIHVAT BUŠAĆIH ALATKI

Utvrdjivanje mjesta prihvata

$$L = \frac{\lambda \cdot E \cdot A_b}{P}$$

Gdje su:

- L – dubina mjesta prihvata (m)
- λ – elastično produljenje alatki (m)
- E - modul elastičnosti čelika - $2,0594 \cdot 10^5$ (MN/m²)
- A_b – površina poprečnog presjeka bušaćih šipki (m²)
- P – sila rastezanja (MN)

Razlika visine stupaca nafte

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{(\rho_i - \rho_n) \cdot g}$$

Gdje su:

- Δh – razlika visina stupca nafte u bušaćim alatkama i u prostoru oko njih (m)
- Δp – razlika tlaka od razlike težina stupaca kapljevine u alatkama i u prostoru oko njih (Pa)
- ρ_i – gustoća isplake (kg/m³)
- ρ_n – gustoća nafte (kg/m³)
- g – gravitacija (m/s²)

Obujam nafte potreban za naftnu kupku

$$V_n = V_{ot} + V_{ob} + V_{ut} + V_{ub}$$

Gdje su:

- V_n – obujam nafte potreban za naftnu kupku (m³)
- V_{ot} – obujam nafte u prostoru oko teških šipki (m³)
- V_{ob} – obujam nafte u prostoru oko bušaćih šipki (m³)
- V_{ut} – obujam nafte u teškim šipkama (m³)
- V_{ub} – obujam nafte u bušaćim šipkama (m³)

Obujam isplake potreban da se nafta protisne u područje prihvata bušaćih alatki

$$V_i = H_i \cdot V'_{ub} + V_p$$

Gdje su:

- V_i - obujam isplake potreban da se nafta protisne u područje prihvata bušaćih alatki (m³)
- H_i – dubina razdjelnice „isplaka – nafta“ u bušaćim alatkama (m)
- V'_{ub} – unutrašnji obujam jednog metra bušaćih šipki (m³)
- V_p – obujam površinskih vodova (m³)

HORIZONTALNE I USMJERENE BUŠOTINE

Polumjer zakrivljenja

$$R = \frac{360 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

Gdje su:

R – polumjer zakrivljenja (m)

l - duljina jediničnog intervala na koji se odnosi povećanje kuta otklona (m)

n - dio koji se u definiranju povećanja kuta otklona odnosi na broj stupnjeva (°)

Povećanje kuta otklona

$$PKO = \frac{360 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

Gdje su:

PKO – povećanje kuta otklona (°/m)

R – polumjer zakrivljenja (m)

l - duljina jediničnog intervala na koji se odnosi povećanje kuta otklona (m)

Proračunavanje putanje uz konstantno povećavanje kuta otklona

✚ Visina zakrivljenog intervala

$$\Delta TVD = R \cdot (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1)$$

Gdje su:

ΔTVD - visina zakrivljenog intervala (m)

R – polumjer zakrivljenja (m)

α_1 i α_2 početni i završni kut (°)

✚ Duljina zakrivljenog intervala

$$L = \frac{l \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)}{n}$$

Gdje su:

L - duljina zakrivljenog intervala (m)

l - duljina jediničnog intervala na koji se odnosi povećanje kuta otklona (m)

α_1 i α_2 početni i završni kut (°)

n - dio koji se u definiranju povećanja kuta otklona odnosi na broj stupnjeva (°)

✚ Horizontalni otklon zakrivljenog intervala

$$\Delta HD = R \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

Gdje su:

ΔHD - horizontalni otklon zakrivljenog intervala (m)

R – polumjer zakrivljenja (m)

α_1 i α_2 početni i završni kut (°)

Najmanji polumjer zakrivljenja i najveća duljina nesavitljivih bušaćih alatki

$$R_{\min} = \frac{l^2 + 4 \cdot (D_a^2 - D_b^2)}{8 \cdot (D_b - D_a)}$$

$$l_{\max} = 2 \cdot [D_b^2 - D_a^2 + 2 \cdot R \cdot (D_b - D_a)]^{\frac{1}{2}}$$

Gdje su:

R_{\min} – najmanji polumjer zakrivljenja (m)

l_{\max} – najveća duljina nesavitljivih bušaćih alatki (m)

D_a – promjer alatki (m)

D_b – promjer bušotine (m)

l – duljina nesavitljivih alatki (m)

R – stvarni polumjer zakrivljenja kanala bušotine (m)

