

3.0 PROVODNICI VODE (hidrotehničke građevine za transport vode)

Voda se od mjesta zahvata u prirodi do mjesta korištenja dovodi provodnicima, koji se koriste i za distribuciju (raspodjelu) vode na mjestu korištenja te za odvod vode natrag u prirodu.

Provodnici se prvenstveno razlikuju prema konstrukciji, te ih u tom slučaju dijelimo na **kanale, tunele i cijevi (cjevovodi)**. Na provodnicima se izvode odgovarajuće građevine i ugrađuje prema potrebi oprema. Druga podjela prema kojoj se razlikuju provodnici odnosi se na uvjete tečenja te razlikujemo provodnike kod kojih je tečenje sa slobodnim vodnim licem i tečenje pod tlakom. Kanali su u pravilu provodnici sa slobodnim vodnim licem a cjevovodi provodnici s tečenjem pod tlakom. Razlikujemo tunele s tečenjem sa slobodnim vodnim licem i tečenjem pod tlakom. U kanalizaciji (odvodnja naselja) koriste se cijevi s tečenjem sa slobodnim vodnim licem, kod kojih ovisno o rješenju povremeno nastupa i tečenje pod tlakom. Kanali su obrađeni u poglavlju 2.3, te se u ovom poglavlju više ne obrađuju.

3.1 CJEVOVODI

Cjevovod je sustav povezanih cijevi i uređaja koji služe za provođenje i/ili raspodjelu (distribuciju) vode, plina, nafte i sl.

3.1-1 Cijev

Cijev je šuplji građevni ili strojarski proizvod, obično kružnog presjeka ali može biti, ovisno o namjeni, i drugih presjeka (eliptičnih, jajolikih i sl.). Proizvodi se u različitim veličinama i od različitih materijala. Proizvodi se tvornički te doprema i ugrađuje na mjestu korištenja (cijevi manjih dimenzija) ili se izvodi na licu mjesta (u cijelosti ili od dopremljenih dijelova – cijevi većih dimenzija).

Tvornički se cijevi proizvode u različitim veličinama i od različitih materijala. Dimenzije cijevi (duljina, promjer, debljina stjenke i dr.) uglavnom su normirane. Duljina cijevi je prilagođena transportnim uvjetima.

Na licu mjesta se proizvode armiranobetonske i čelične cijevi većih dimenzija. Pri tome se limovi mogu savijati na gradilištu ili se dopremaju već savijeni, te se spajaju zavarivanjem na gradilištu.

Cijevi u graditeljstvu služe:

- kao elementi za izradu cjevovoda, koji su namijenjeni za provođenje vode (transport vode),
- za izradu metalnih konstrukcija, kao i za izradu raznih vrsta građevinskih skela,
- za drenažu i navodnjavanje (posebne cijevi).

U hidrotehničkoj se praksi cijevi koriste za izradu tlačnih cjevovoda za transport i distribuciju vode (vodoopskrba, navodnjavanje, hidroelektrane) te cjevovoda za odvod voda (odvodnja otpadnih voda i oborinskih voda), koji mogu biti s tečenjem sa slobodnim vodnim licem i povremeno pod tlakom.

Cijevi se proizvode od različitih materijala:

- armiranobetonske, prednapregnute armiranobetonske,
- čelične (šavne i bešavne),
- lijevano-željezne, nodularni lijev – duktilne,
 - od umjetnih materijala raznih vrsta (plastika i drugi sintetički materijali)
 - keramičke i glinene
 - olovne, bakrene i sl.

- gumene, cijevi od tkanine (vatrogasne)
- drvene
- (ranije i azbestcementne).

3.1-1.1 Armiranobetonske cijevi

Armiranobetonske cijevi se tvornički izrađuju za tlak do 10 bara, unutarnjeg promjera od 300 do 3000 mm, duljine 4 - 6 m. Novim centrifugalnim postupcima omogućuje se proizvodnja cijevi tanjih stjenki i većih duljina.

Prednosti u odnosu na čelične i lijevano-željezne su:

- postojanost na koroziju,
- mala električna provodljivost.

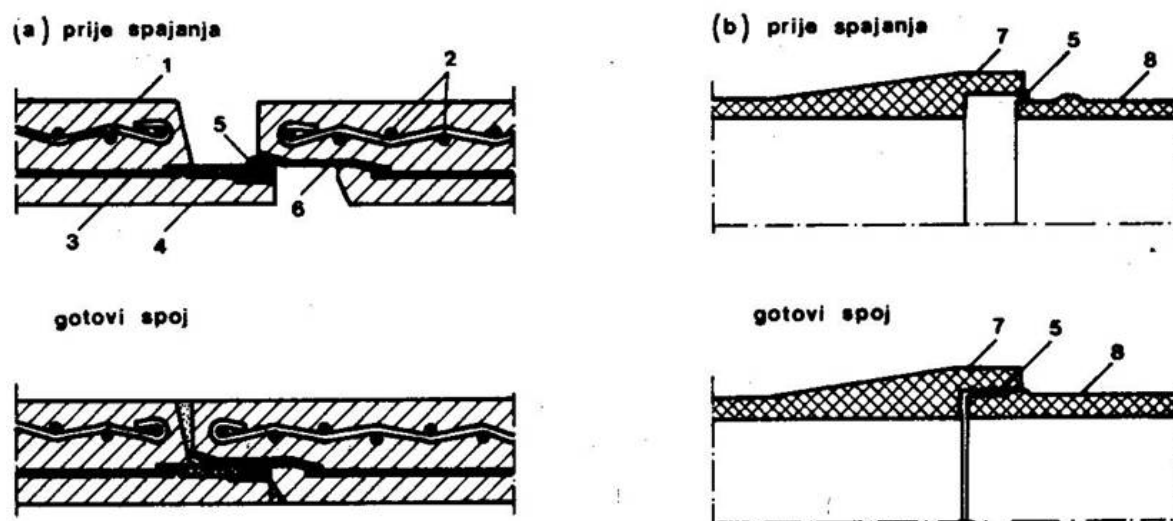
Loše strane su:

- velika težina cijevi,
- velik broj spojeva (nedovoljna vodonepropusnost),
- velika hidraulička hrapavost,
- osjetljivost betona na niz spojeva u agresivnim tlima (blizina mora), zbog čega je potrebno provesti posebnu zaštitu cijevi.

Za izvođenje spojeva te ugradnju armature koriste se čelični i lijevano-željezni fazonski komadi s prirubnicama.



Slika 3.1-1 Armiranobetonska cijev



Slika 3.1-2 Spajanje armiranobetonskih cijevi

(a) spoj s ravnim krajem, (b) spoj s naglavkom

- 1 – uzdužna armatura,
- 2 – spiralna armatura,
- 3 – cilindar od čeličnog lima,
- 4 – prsten ravnog kraja cijevi,

- 5 – gumeni prsten,
- 6 – prsten naglavka,
- 7 – naglavak,
- 8 – ravni kraj cijevi

3.1-1.2 Čelične cijevi

Ove cijevi imaju značajne prednosti u odnosu na lijevano-željezne jer su čvršće i elastičnije te otpornije na lom. Zato se koriste za dionice s velikim tlakovima i u uvjetima koji zahtijevaju otpor dinamičkim utjecajima i savijanjima.

Izrađuju se od čeličnog lima s uzdužnim ili spiralnim varenjem (šavne cijevi) i valjanjem (bešavne cijevi). Bešavne cijevi su skuplje pa se koriste za dionice manjih profila (do 600 mm), dok se šavne koriste za profile veće od 600 mm sve do 1600 mm.

Proizvode se u duljinama 4 - 12 m, za tlakove 10, 15, 25, 40, 60, 80 i 100 bara.

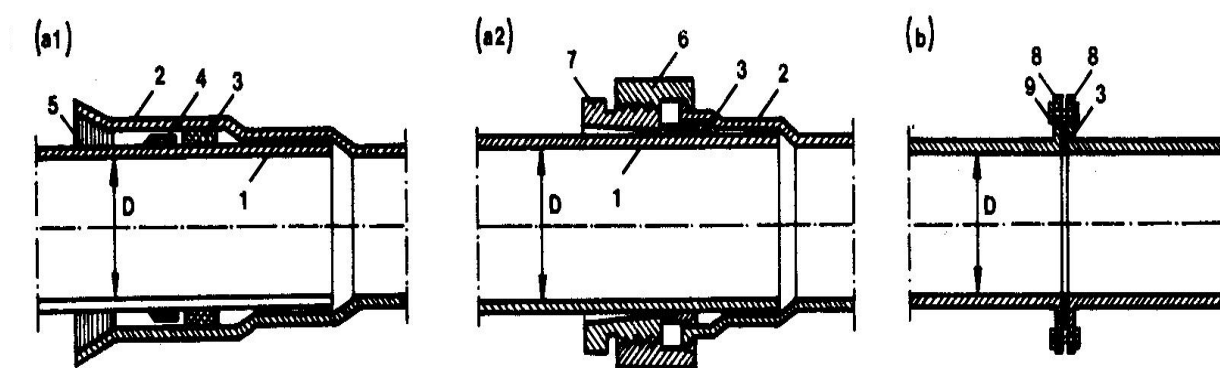
Prednosti čeličnih cijevi:

- lagane su (jednostavne za transport i manipulaciju, tanje od lijevano-željeznih),
- mogu izdržati velike unutrašnje tlakove,
- fleksibilne i otporne na udarce,
- imaju dobra hidraulička svojstva (glatkoća stjenki).

Nedostaci čeličnih cijevi:

- osjetljivost na koroziju (posebni zaštitni premazi bitumenom),
- visoka cijena,
- potrebna zaštita od električne struje (tzv. katodna zaštita).

Spajanje cijevi se izvodi kao spoj s naglavkom, spoj s priрубnicama i spoj zavarivanjem krajeva.

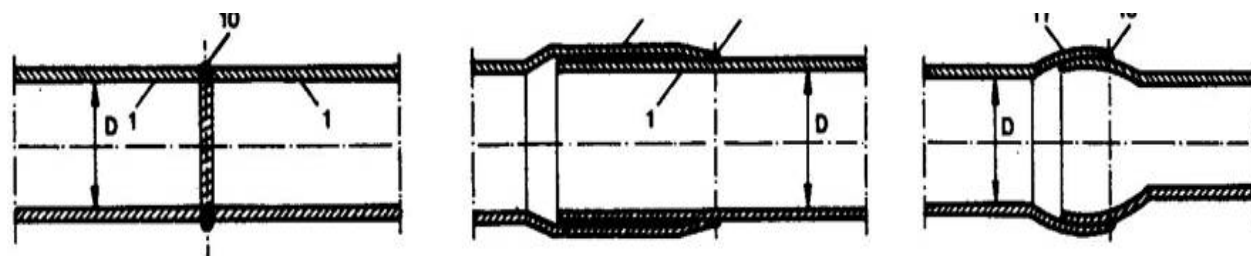


Spajanje čeličnih cijevi s naglavkom

- 1 – cijev
- 2 – naglavak
- 3 – brtveni prsten
- 4 – zavareni zaštitni prsten
- 5 – nabijeno impregnirano uže
- 6 – čep s navojem

Spajanje čeličnih cijevi s priрубnicama

- 7 – tlačni prsten s navojem
- 8 – priрубnica
- 9 – vijak s maticom
- 10 – var
- 11 – kuglasti naglavak



Spajanje čeličnih cijevi zavarivanjem

- 1 – cijev; 2 – var; 3 – kuglasti naglavak

Cijevi od lijevanog željeza

Ove su cijevi najrasprostranjenije kod izvedbe vodovodnih mreža i svoj primat drže posljednjih 200 godina.

- Vijek trajanja im je preko 100 godina.
- Cijevi se proizvode:

- Lijevanjem u kalupe
- Centrifugalnim lijevanjem (tanje, čvršće i otpornije na udarce)

Proizvode se za tlakove 10, 15 i 20 bara, unutarnjeg promjera 50 - 600 (700) mm i duljina 3 - 6 m.

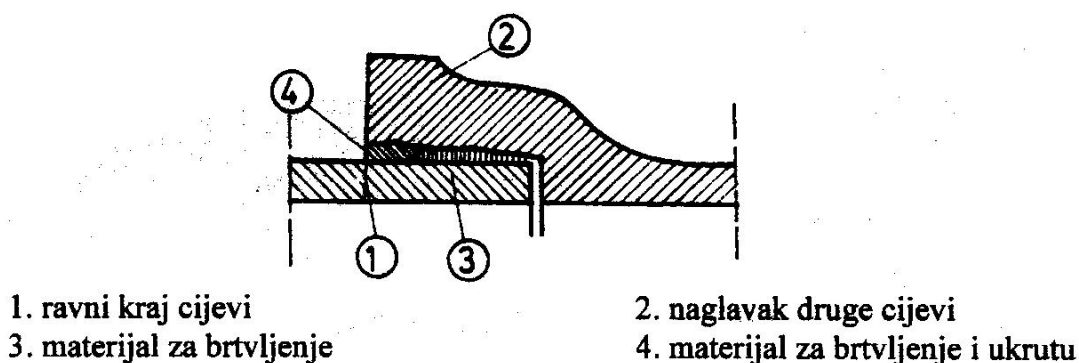
Lijevano željezne cijevi su neotporne na agresivne vode i sredine (more) pa zahtijevaju dodatnu zaštitu asfaltnim, bitumenskim i drugim premazima.

Lijevano željezne cijevi spajaju se:

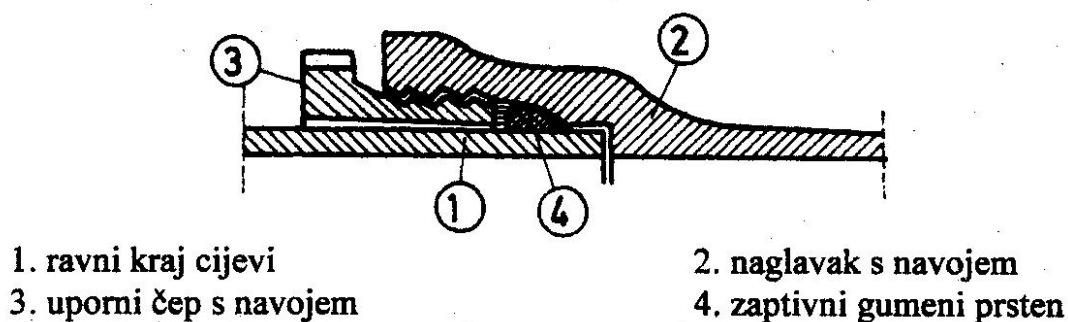
- Spojem s naglavkom (kolčak)- manja vodonepropusnost
- Spojem s prirubnicom (pelešom, flanšom) – veća nepropusnost

Spajanje im je loša strana s obzirom na težinu i neelastičnost spojeva kod slijeganja tla.

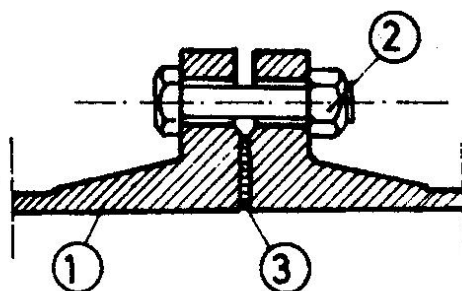
U pogonu se javlja inkrustracija – taloženje vapnenca na stijenke.



Slika 3.1-3 Spoj čeličnih cijevi naglavkom



Slika 3.1-4 Spoj s brtvenim prstenom



1. prirubnica

2. zavrtnji za pritezanje

3. gumeni ili metalni zaptivni prsten

Slika 3.1-5 Spoj s prirubnicama

3.1-1.3 Cijevi nodularnog lijeva – duktilne

Lijevano-željezne cijevi proizvode se i tzv. duktilnim lijevom, tako što se lijevu dodaju male količine magnezija. Novom tehnologijom uklanjaju se žarišta mogućih napuklina i lomova cijevi. Duktilne cijevi se proizvode u promjerima 60 – 1800 mm, duljine 6 m i za tlakove od 30 do 40 bara. Takve cijevi imaju unutrašnju i vanjsku zaštitu - izolaciju.

Vrsta tla	Z a š t i t a	
	Vanjska zaštita	Unutarnja zaštita
Lako korozivna	standardna obloga od metaliziranog cinka + premaz bitumenom	centrifugalno primijenjen cementni mort
Vrlo korozivna	standardna + polietilenska obloga	aluminijev cementni mort
Jako korozivna	posebna poliuretanska obloga	

Slika 3.1-6 Postupci zaštite cijevi

3.1-1.4 Plastične cijevi ili cijevi od sintetičkih materijala

Plastične cijevi su se počele koristiti u novije vrijeme (unazad 50-tak godina).

Osnovna podjela je na:

- cijevi od PVC materijala,
- cijevi od poliesterskih materijala,
- cijevi od tvrdog polietilena (PE).

Dobra strana plastičnih cijevi :

- velika otpornost prema koroziji (agresivna tla i vode),

- mala težina (lakši transport i ugradnja),
- otpornost na mraz,
- otpornost na lutajuće struje,
- mala toplinska provodljivost,
- dobre hidrauličke osobine (glatkoća),
- laka obrada (rezanje, kraćenje).

Loše strane plastičnih cijevi:

- znatno istezanje na visokim temperaturama,
- zapaljivost,
- opadanje čvrstoće kod temperatura većih od 20°C,
- krutost PVC cijevi na temperaturama manjim od 0°C.



Slika 3.1-7 PVC cijevi



Slika 3.1-8 Poliesterske cijevi

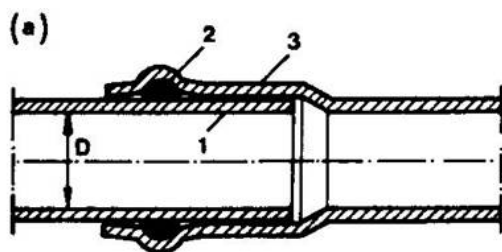


Slika 3.1-9 Polietilenske cijevi



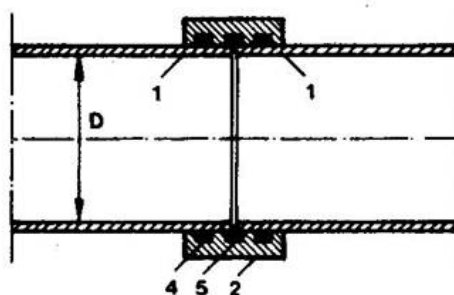
Slika 3.1-10 Polietilenske cijevi

Cijevi od PVC-a proizvode se od umjetne mase izrađene sintetičkom polimerizacijom vinil-klorida. Ugriyani granulat polivinilklorida potiskuje se kroz mlaznicu i potom hladi. Cijevi se proizvode za tlakove 6 i 10 bara, unutarnjeg promjera 60 - 450 mm, duljine 6 m.



Slika 3.1-11 Spajanje PVC cijevi

- 1 – PVC cijev
- 2 – brtveni prsten
- 3 – naglavak



Slika 3.1-12 Spajanje poliesterskih cijevi

- 1 – poliesterska cijev
- 2 – prstenasta spojnica
- 4 – brtveni prstenovi
- 5 – srednji gumeni prsten za razmak

Cijevi od poliestera proizvode se lijevanjem (profili do 1000 mm) ili lijepljenjem (veći profili). Proizvode se iz smjese kvarcnog pijeska, staklenih vlakana i poliesterske smole. Proizvode se za tlakove 4, 6, 10, 16, 20 i 25 bara, profila 200 - 1600 mm, duljine 6 m. Spojevi se izrade prstenovima izrađenima također od poliestera, a vodonepropusnost se osigurava brtvenim prstenovima ili lijepljenjem.

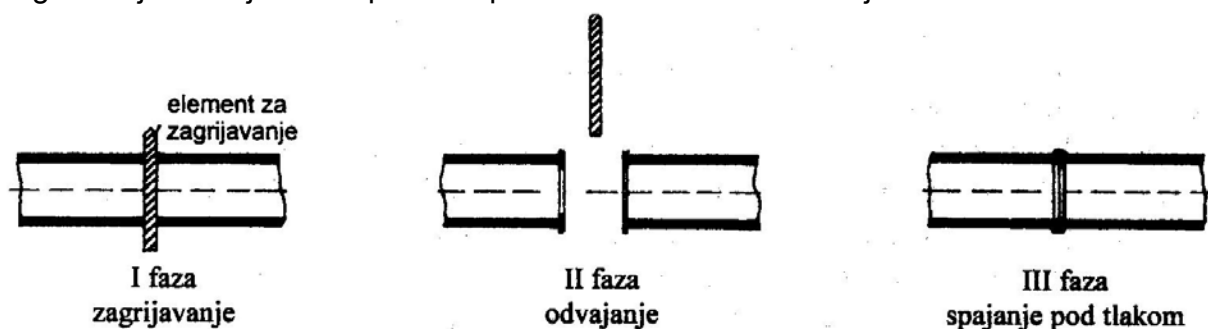
Cijevi od polietilena (PE) proizvode se polimerizacijom etilena (slično kao PVC). Spojevi se izrade varenjem što ih čini potpuno vodonepropusnima. Postoje dvije vrste polietilenskih cijevi:

- cijevi od polietilena niske gustoće (PELD) i
- cijevi od polietilena visoke gustoće (PEHD).

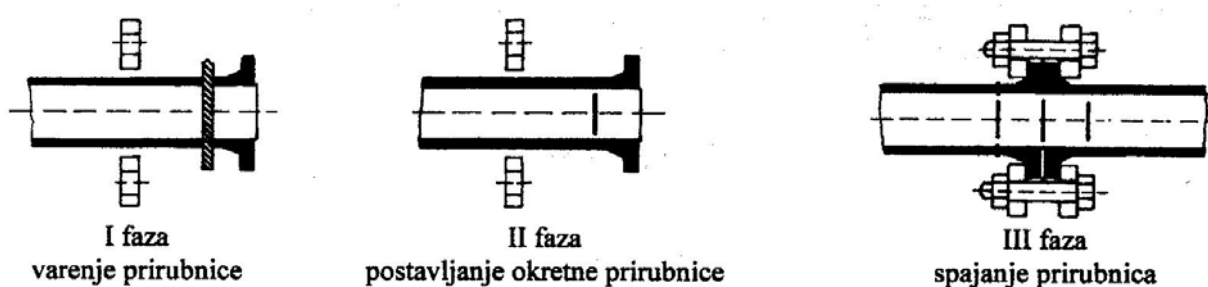
PELD cijevi se proizvode za tlakove 2.5, 6 i 10 bara, promjera 10 – 130 mm, a isporučuju u namotajima do 400 m duljine.

PEHD cijevi se proizvode za tlakove 2.5, 3.2; 4, 6 i 10 bara unutarnjeg promjera 15 – 1150 mm, duljina 6 i 12 m.

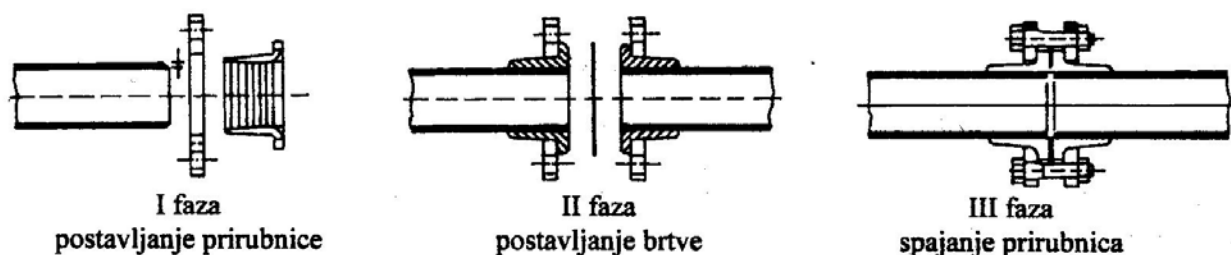
Zbog savitljivosti cijevi nisu potrebni posebni komadi za izvođenje krivina.



Slika 3.1-13 Spajanje polietilenskih (PEHD) cijevi sučelnim zavarivanjem



Slika 3.1-14 Spajanje polietilenskih (PEHD) cijevi metalnim prirubnicama



Slika 3.1-15 Spajanje polietilenskih (PEHD) cijevi PE priрубnicama

Cijevi se spajaju u cjevovodu cijevnim spojevima. Cijevni spojevi su kod industrijske proizvodnje različiti patentirani tipovi spojeva, što ovisi o vrsti materijala, proizvođaču i veličini tlaka (opterećenja).

Najpoznatiji tipovi spojeva su:

- spoj na naglavak (kolčak),
- spoj s priрубnicom (flanša),
- zavareni spoj.

U cjevovode se ovisno o svrsi i veličini cjevovoda ugrađuju zatvarači (zasuni, ventili), muljni ispusti, zračni ventili, povratni, redukcijski i sigurnosni ventili. Ugrađena oprema osigurava pouzdano korištenja cjevovoda, doziranje vode te otvaranje i zatvaranje cjevovoda u slučajevima kvarova, pregleda, dogradnje i sl.

Cjevovodi se izvode iznad terena, u rovu, u tunelu i u građevinama. Većina cjevovoda se izvodi ispod površine terena (zatrpavanjem u rovu), a ostala se rješenja primjenjuju u zavisnosti od veličine, svrhe, terenskih uvjeta (konfiguracija terena i njegova svojstva).

Na tlačnim se cjevovodima prije korištenje odnosno nakon popravka i uklanjanja kvarova na postojećim dionicama provodi tlačna proba cjevovoda – provjera pogonske upotrebljivosti cjevovoda. Tlačno se ispitivanje provodi prema propisanim postupcima uspostavom potrebnih ispitnih tlakova na ispitnoj dionici. Pretproba se provodi na maksimalni pogonski tlak. Glavna se tlačna proba provodi na propisani povećani tlak, a zajednička tlačna proba provjerava uz pogonski tlak ispravnosti povezivanja pojedinih ispitanih dionica (ogranaka).

3.1.-2 Tlačni cjevovodi

Tlačni cjevovodi izvode se

- nadzemno,
- podzemno,
- podvodno,
- u građevinama (branama).

Nadzemno se u pravilu izvode čelični cjevovodi većih promjera i u sklopu hidroenergetskih postrojenja (veći tlakovi). Prednosti nadzemnih cjevovoda su jednostavnija i jeftinija izvedba te dostupnost (kontrola). Mane su izloženost vremenskim prilikama i izloženost ljudima.

Podzemni se cjevovodi izvode zasipani u rovu ili u tunelu (kao dio obloge ili kao slobodno položen cjevovod unutar tunela). Prednosti su im zaštićenost od vanjskih utjecaja i održavanje konstantne temperature (vodoopskrba). Mana je teže otkrivanje kvarova i održavanje.

Podvodni cjevovodi uglavnom su vezani na ispuste otpadnih voda u recipijent i dopremu vode na otoke (vodoopskrba).

U građevinama se izvode zbog razvoda vode, odvodnje otpadnih voda, pražnjenja akumulacija (u brani), preljeva i sl.

Tečenje je pod tlakom i u redovitom radu uspostavlja se stacionarno tečenje, te se računaju hidraulički gubici poznatim izrazima (lokalni i linijski gubici). Prilikom promjene tečenja (otvaranje, zatvaranje, promjena protoka) dolazi do nestacionarnih pojava (vodni udar) koje treba uzeti u obzir pri dimenzioniranju cjevovoda. Povećanje tlaka pri zatvaranju je:

$$\Delta p_{\max} = 2\rho Lv / T_z \quad [\text{N/m}^2],$$

gdje je ρ gustoća vode [kg/m^3],

L duljina cjevovoda na kojem djeluje vodni udar [m],

v promjena brzine [m/s],

T_z vrijeme zatvaranja (promjene) [s].

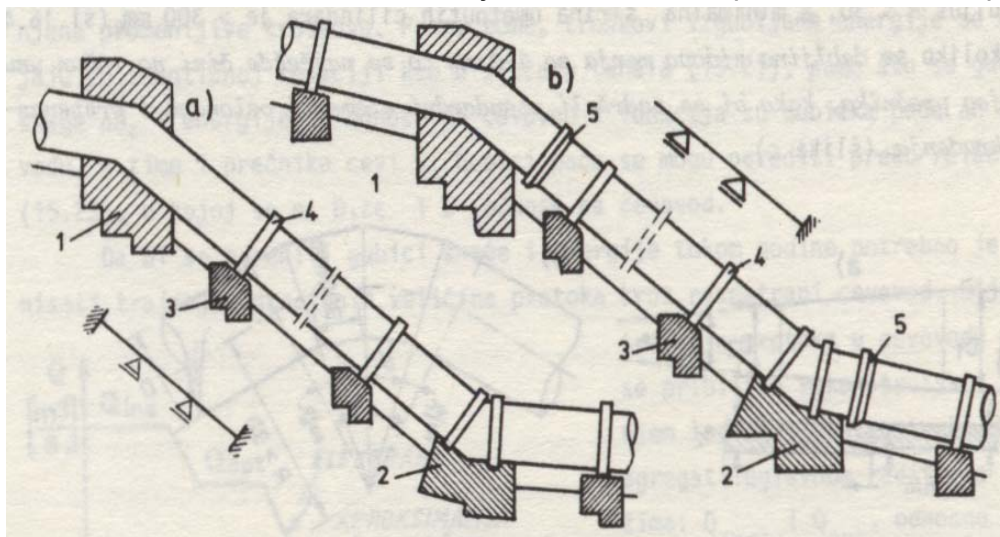
U nastavku ovog poglavlja težište se stavlja na čelične nadzemne i armiranobetonske cjevovode u rovu koji se najčešće koriste kod hidroenergetskih postrojenja.

Trasa se cjevovoda postavlja sa stajališta topografije, geoloških i geomehaničkih svojstava zemljišta, funkcionalnosti, sigurnosti i ekonomičnosti – što vodi ka najkraćoj trasi. Niveleta cjevovoda prati teren i postavlja se čitavom dužinom najmanje 1 – 2 m ispod najnižeg pijezometarskog nivoa.

3.1-2.1 Čelični cjevovodi (nadzemni)

Izvode se od čeličnih bešavnih cijevi (promjera do 600 mm; duljine 6 – 8 m, unutarnji tla 10 – 15 bara), ili zavarivanjem čeličnih limova kod većih profila. Tvornički se izrađuju cilindri koji se poprečnim varenjem spajaju na gradilištu. Kod promjera većih od 3 m zbog uvjeta transporta u tvornici se izvode u polucilindrima i na gradilištu se zavaruje uzdužno i poprečno. Poprečno spajanje čeličnih cjevovoda se kod manjih profila obavlja pema slikama u točki 3.1-1.2.

Nadzemni čelični cjevovodi se izvode iznad tla, fiksiraju se čvrstim točkama (sidrenim blokovima) i oslanjaju na sedla. Na svakom lomu (vertikalni i horizontalni) postavlja se sidreni blok, a između je cijev u pravcu. Udaljenost sidrenih blokova ne prelazi 150 – 200 m. Cijev se između blokova oslanja na sedla (pomični ležajevi) postavljena na 6 – 15 m razmaka. Na isti se način izvodi i cjevovod slobodno položen u tunelu i prati trasu tunela.



Slika 3.1-16 Tlačni cjevovod – izvedba iznad tla – osnovne sheme

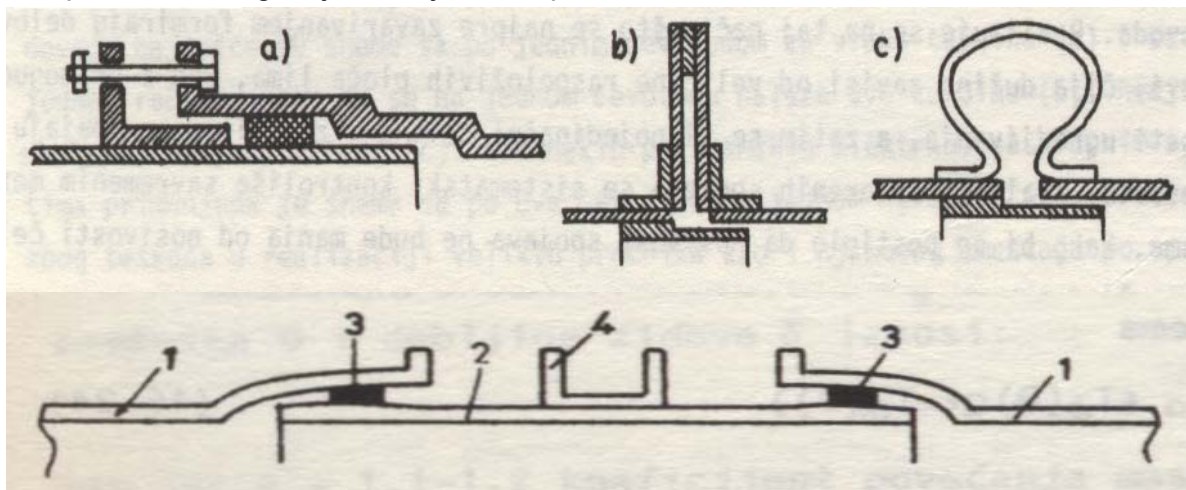
1 i 2 - sidreni blok (čvrsta točka)

3 - sedlo

4 – obujmica (prsten)

5 – toplinski kompenzator

Toplinski kompenzator omogućuje uzdužne pomake (aksijalne pomake). Kombinirani kompenzator omogućuje i manje kutne pomake.



Slika 3.1-17 Dilatacijski kompenzator

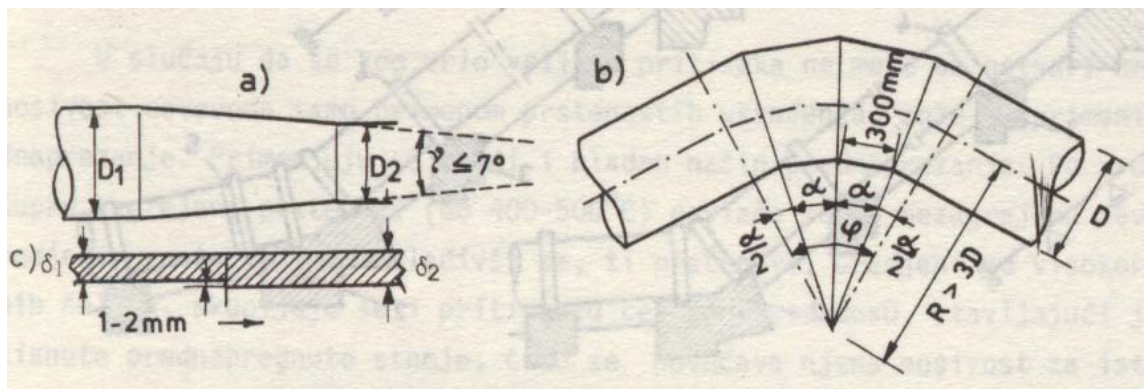
1. uzvodna i nizvodna cijev

2. spojni cilindar

3. brtve

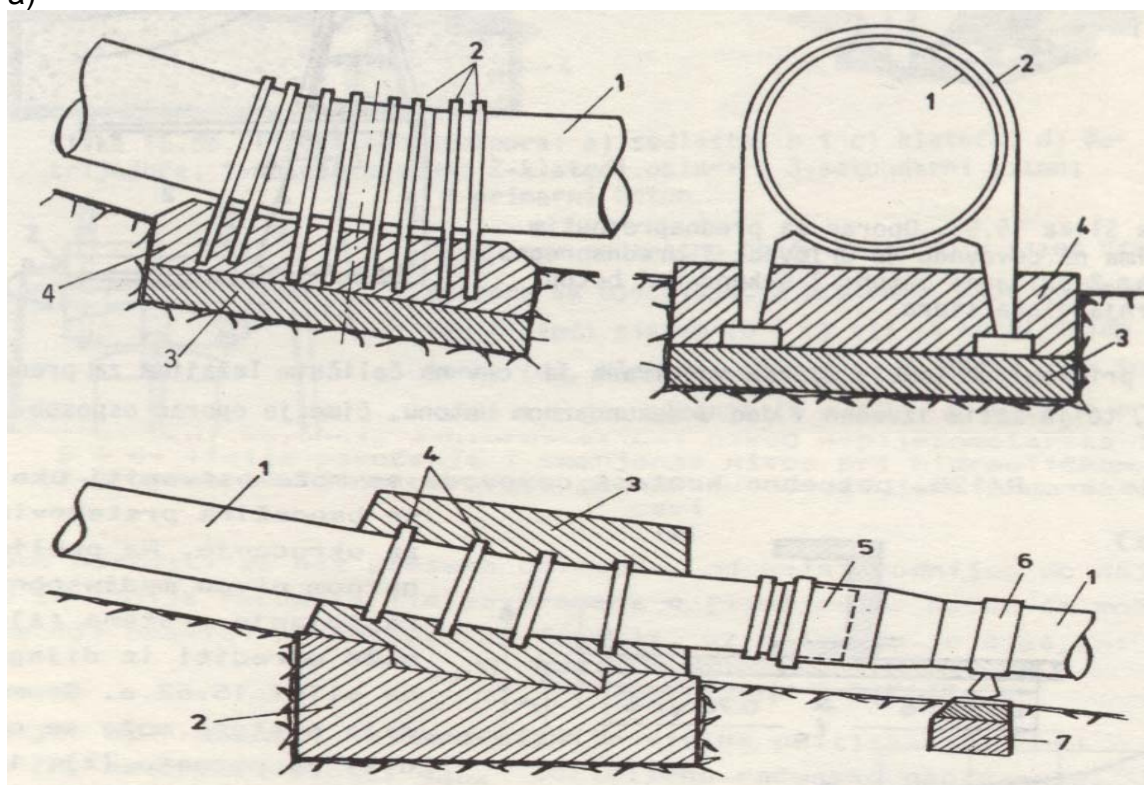
4. ukrućenje spojnog cilindra

Koljeno cjevovoda se izvodi umetanjem cilindričnih elemenata ($R > 3D$). Dijametar i debljina stijenke se po potrebi mijenjaju duž trase.



Slika 3.1-18 a) Promjena promjera, b) Koljeno, c) Promjena debljine stijenke

a)

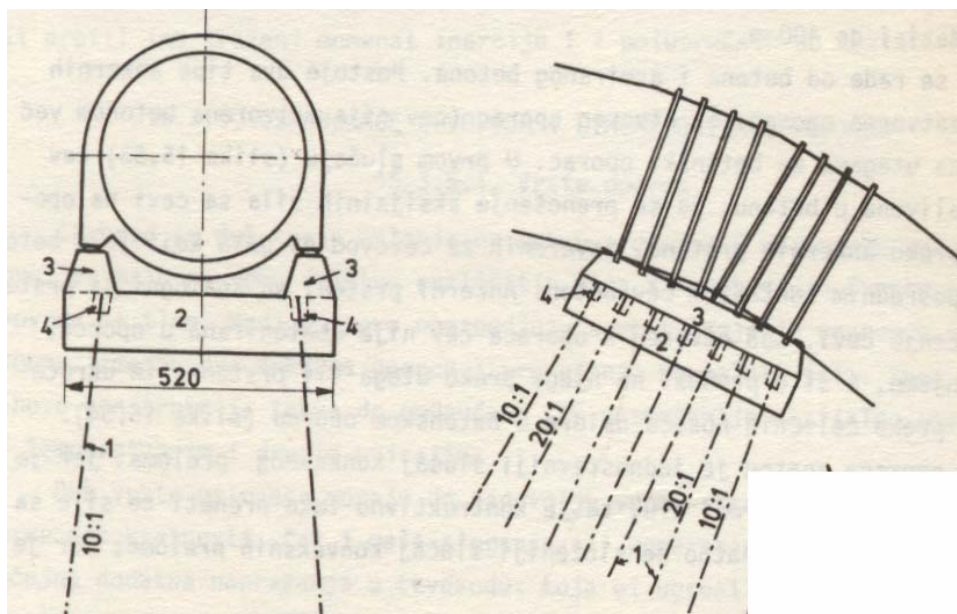


b)

Slika 3.1-19 Sidrenje cjevovoda

- a) 1 - cijev
2 - obujmica
3 - temelj sidrenog boka
4 - sekundarni armirani beton sidrenog bloka
b) 1 - cijev

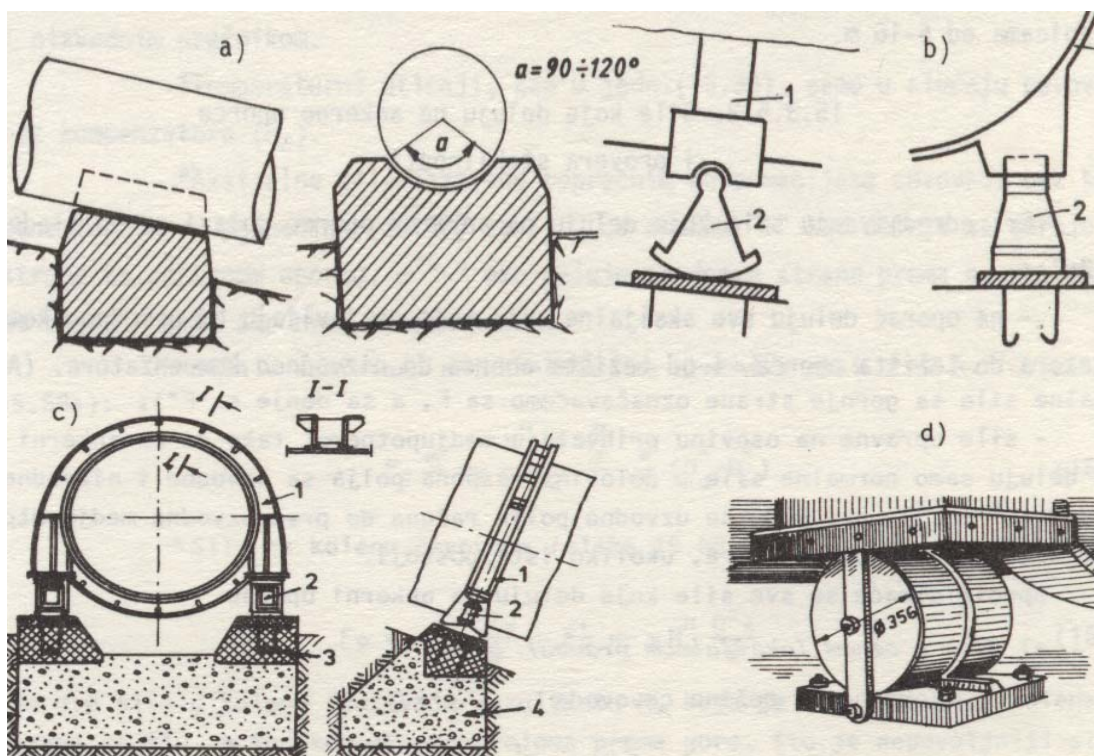
- 2 - temelj sidrenog bloka
3 - sekundarni beton sidrenog bloka
4 - obujmica (prsten) sidrenog bloka
5 - dilatacijski kompenzator
6 - obujmica na sedlu
7 - temelj sedla



Slika 3.1-20 Primjer sidrenja čvrste točke prednapregnutim sidrima

1 – prednapregnuta sidra
2 – primarni beton

3 – sekundarni beton
4 – gornja glava sidra



Slika 3.1-21 Primjeri izvedbe sedla

1 – noseći prsten
2 – klateći ležaj

3 – sekundarni armirani beton
4 – primarni beton

Projektiranje se čeličnih cjevovoda provodi na osnovi Tehničkih propisa za čelične konstrukcije (Narodne novine, br. 112, 2008). Konstrukcija se definira kao cjelina (globalno, cjevovod), a zatim se provodi kontrola elemenata konstrukcije (presjeci, spojevi, blokovi, ležajevi). Glavna djelovanja su: vlastita težina i težina vode, promjena temperature, vjetar, snijeg, led, hidrostatski i hidrodinamički tlakovi, potres, tlo (temelj, nadsloj), valovi,...

Podzemni se cjevovod oslanja po cijeloj svojoj dužini na posteljicu (elastična podloga) dok se nadzemni cjevovod oslanja na niz nosača (sedala) i fiksiran je čvrstim točkama (sidrenim blokovima).

Djelovanja se mogu podijeliti na uzdužna djelovanja (aksijalna), normalna i radijalna.

Preliminarno se potrebna debljina stijenke (δ) može odrediti prema kotlovskoj formuli:

$$\delta = pd / 2\sigma_{dop} = pr / \sigma_{dop}$$

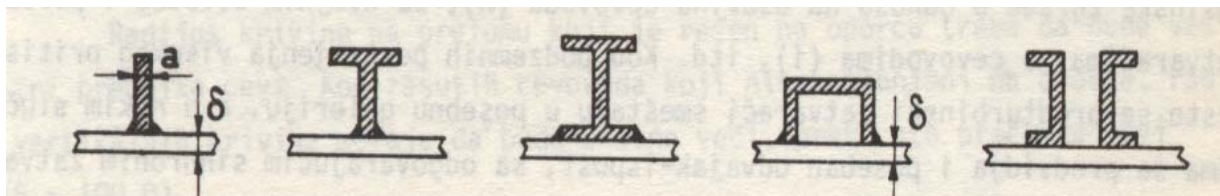
(p -unutarnji pritisak vode, d/r – dijametar/radius, σ_{dop} – dopuštena naprezanja) ili po nekom drugom iskustvenom izrazu (odnosno prema propisu ako je definiran)

Kritični tlak se može procijeniti iz

$$p_{kr} = (\delta / d)^3 2E_{\sigma} / F_s,$$

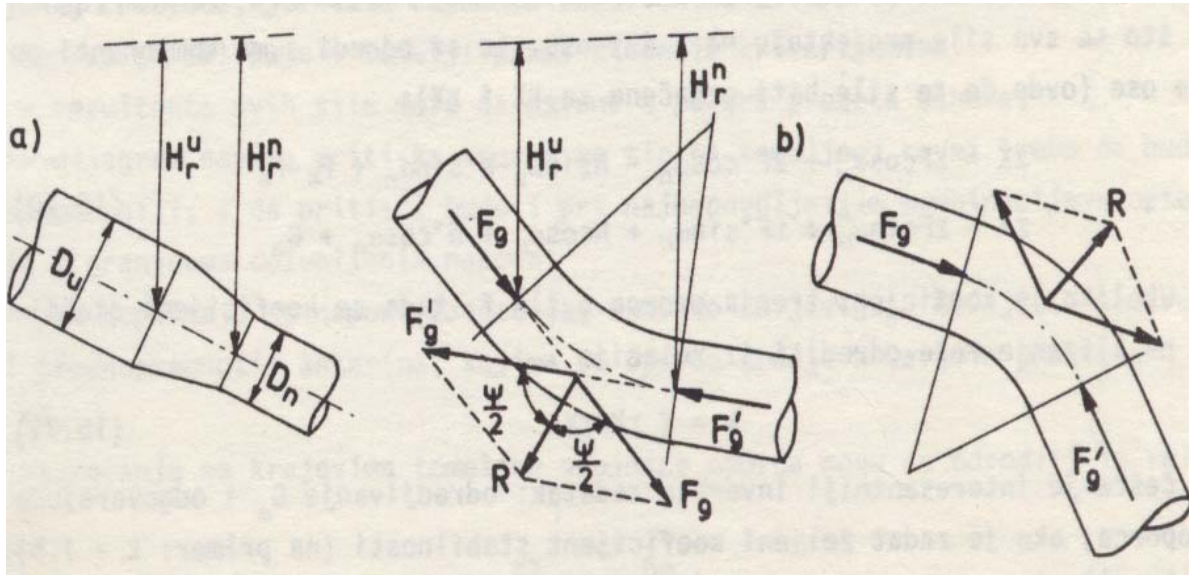
gdje je F_s faktor sigurnosti; za $F_s=2$ i uz pretpostavku nastanka vakuuma u cjevovodu ($p = 0.1$ [MPa]) slijedi $\delta / d = 1/130$.

Ako debljina stijenke ne zadovoljava ovaj uvjet cijevi se ojačavaju prednaprežanjem ili bandažama (prstenovi) (bez ojačanja se izvode cijevi do debljine 40-50mm, ali ne više od 80 mm). Prednaprežanje se primjenjuje kod vrlo velikih unutarnjih tlakova a izvodi se vrućim i hladnim postupkom.

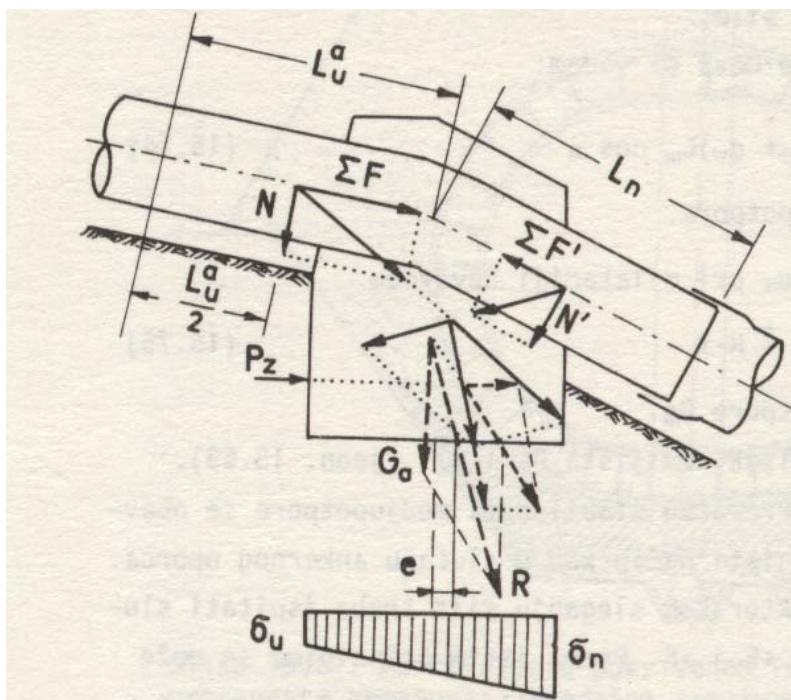


Slika 3.1-24 Ojačanja cijevi prstenovima za ukrućenje različitih oblika

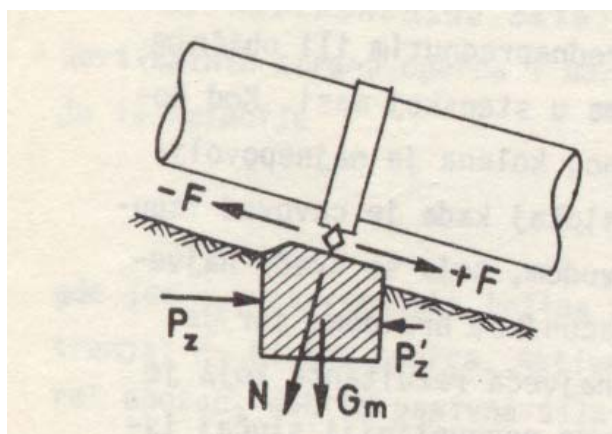
U slijedećem se koraku dimenzioniraju sidreni blokovi i sedla. Provjera se provodi na prevrtanje i klizanje. (Detaljnije pogledati kod betonskih masivnih gravitacijski brana).



Slika 3.1-25 Primjer suženja i koljena na cjevovodu



Slika 3.1-26 Sidreni blok (čvrsta točka)



Slika 3.1-27 Sedlo

3.1-2.2 Armiranobetonski cjevovodi

Armiranobetonski cjevovodi se koriste za manje tlakove i veće protoke. Klasično armirani primjenjuju se do tlakova 2 – 3 bara, a prednapregnuti i kombinirani (AB cijev obložena unutra čeličnim limom) i do 30 bara.

U pravilu se izvode podzemni (u rovu i zatrpani). Minimalni sloj zemlje iznad tjemena je kod nas 1m (zaštita od temperaturnih promjena).

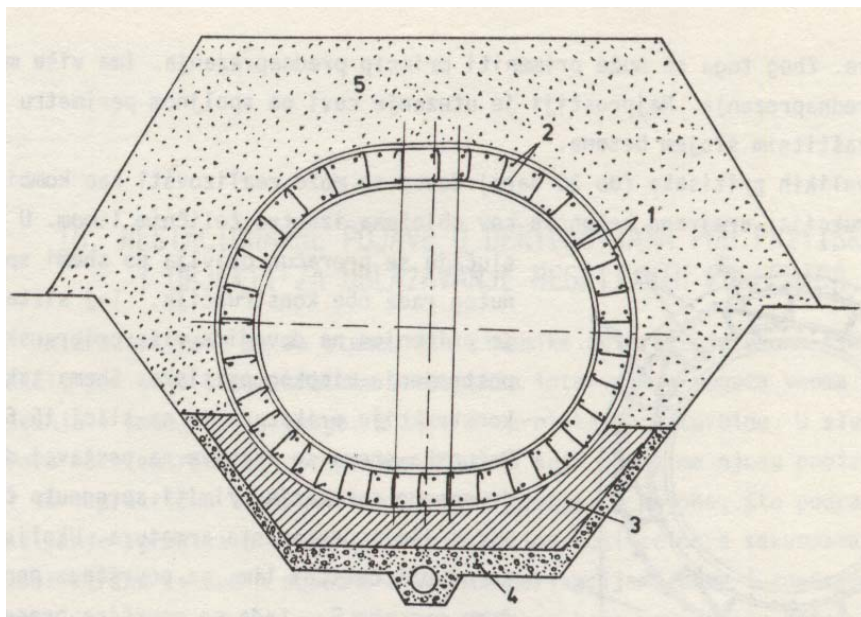
Cjevovod je kružnog presjeka, ali je kod većih promjera i manjih tlakova povoljnije izvesti spljošteni oblik.

Debljina stijenke AB cjevovoda može se procijeniti sa:

$$\delta \approx 0,06 D + 3 ; \quad \delta, D [\text{cm}]$$

AB cjevovodi izvode se u uzdužnom smjeru na posteljici, a kut nalijezanja kreće se od 90° do 180° . AB cjevovodi do 1.5 m promjera izvode se od prefabriciranih cijevi, koje se spajaju na gradilištu (najčešće ogrlicom). Cjevovodi većih promjera izvode se na licu mjesta. Betoniranje se izvodi u kampadama, tako da se napreduje sa svakom drugom, kako bi se preostale dionice betonirale tek poslije završenog procesa skupljanja betona.

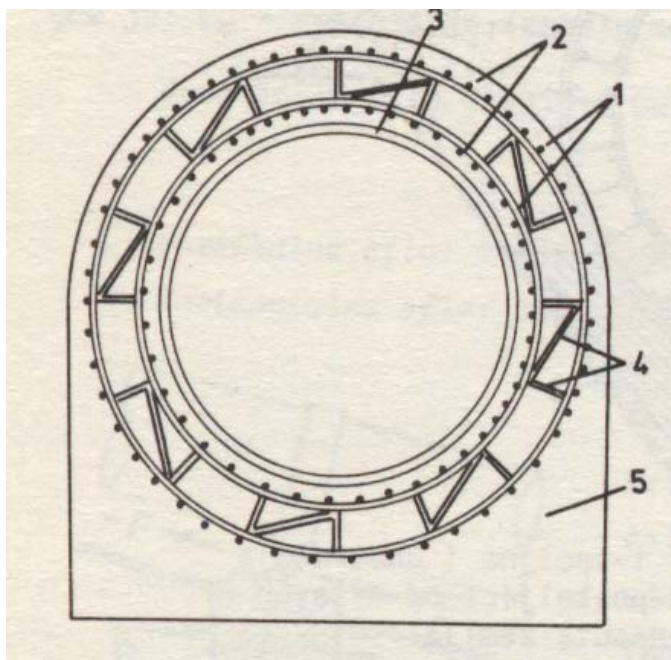
Spajanje pojedinih dionica obavlja se obično elastičnim brtvama također nakon završetka procesa skupljanja betona.



Slika 3.1-28 Armiranobetonski cjevovod

1 - vanjska i unutarnja prstenasta armatura,
2 - uzdužna armatura,
3 - posteljica,

4 - tampon,
5 nasuta zemlja



Slika 3.1-29 AB cjevovod ojačan čeličnom unutarnjom cijevi

1 i 2 - armatura,
3 - čelična cijev,
4- ukrućenja,
5- beton

3.2 HIDROTEHNIČKI TUNELI

Tunel je podzemni prolaz, koji je najmanje dvostruko dulji od širine, zatvoren je sa svih strana osim otvora na svakom kraju. Izvodi se iskopom u stijeni ili tlu i po potrebi se oblaže. Uz tunele se povezuju i podzemne prostorije koje se izvode istom ili sličnom tehnologijom.

Tuneli i podzemne prostorije imaju vrlo široku primjenu u graditeljstvu pa tako i u hidrotehnici. U hidrotehnici se koriste kao provodnici vode, kao pristupni tuneli do podzemnih prostorija gdje su smještene strojarne HE, kao energetske tuneli (vodovi, i sl.). Poznata je i primjena tunela kao dijela plovnog puta. Minimalni promjer tunela je 2 m.

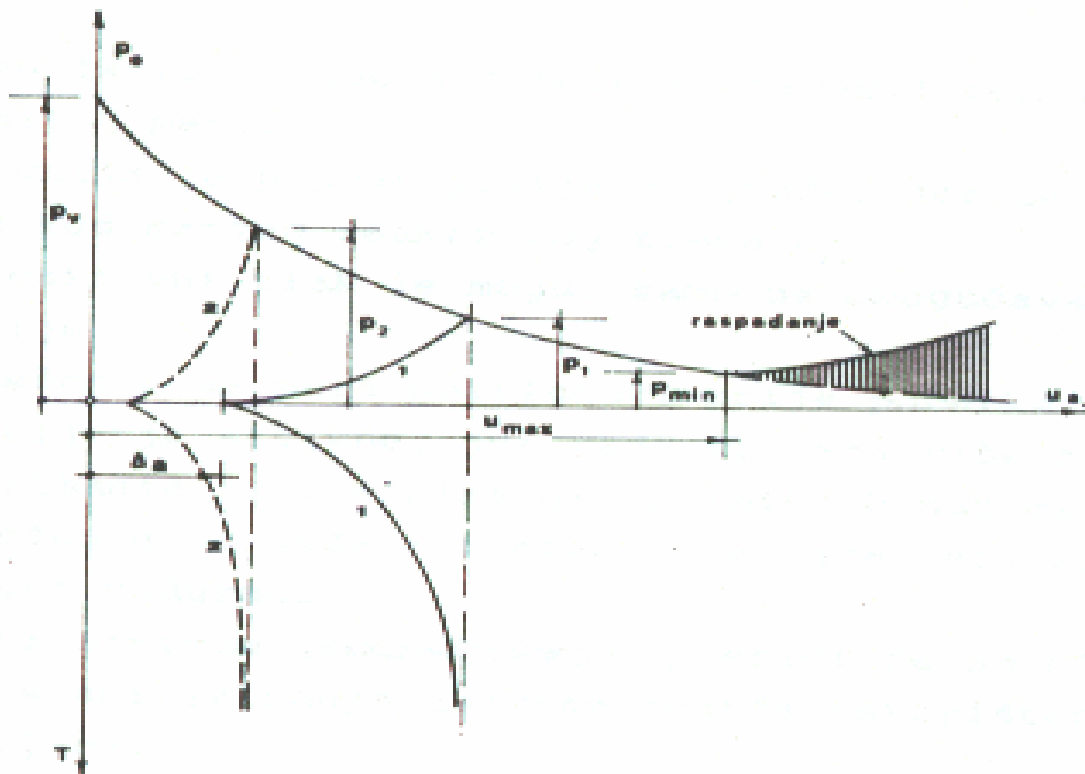
U Hrvatskoj je jedan od prvih hidrotehničkih tunela izveden na Pagu između Novaljskog polja i Novalje u cilju snabdijevanja Novalje vodom i to u doba Rimskog carstva, te se naziva Rimska buža (rupa). Danas u Hrvatskoj ima izgrađenih preko 100 km hidrotehničkih tunela većinom u sklopu hidroenergetskih postrojenja.

U hidrauličkom smislu razlikuju se tuneli s tečenjem pod tlakom i sa slobodnim vodnim licem.

Tuneli s tečenjem pod tlakom izvode se kružnog presjeka. Primjenjuju se u slučaju većih oscilacija vodnih nivoa u području ulaza u tunel. Hidraulički je proračun jednak proračunu cijevi pod tlakom. Tuneli se vode najkraćom trasom, odnosno prema geološkim i geomehaničkim karakteristikama stijene kroz koju prolaze. U cilju pražnjenja tunel se izvodi s padom u smjeru tečenja barem 2-4 ‰. Obzirom na gubitke povoljno je da centralni kut u krivini bude veći od 60°, a radijus krivine od 5 promjera.

Tuneli s tečenjem sa slobodnim vodnim licem izvode se izduženih poprečnih profila koji prvenstveno ovise o brdskim pritiscima. Dimenzije se određuju kao i kod kanala uz pretpostavku jednolikog stacionarnog režima tečenja (Proračun vidjeti u poglavlju Kanali). Iznad razine vode ostavlja se slobodni prostor visine oko 20% visine poprečnog profila tunela. Pad dna tunela definiran je hidrauličkim računom i gospodarskim razlozima, te je postavljanje trase ograničeno u odnosu na tunel s tečenjem pod tlakom.

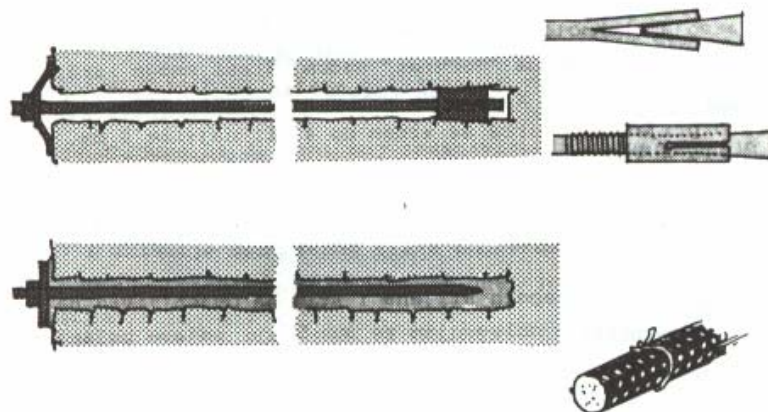
Danas se uglavnom pri izgradnji koristi "novi austrijski postupak" – pri kojem se iskop podzemnih prostorija (tunel) izvodi bez privremene podgrade, a nakon iskopa ako je potrebno osigurava se tjemje, bokovi prostorije i podnožni svod sustavom čeličnih sidara, prskanim betonom, a u najnepovoljnijim uvjetima i čeličnim lukovima (remenatima) i slojem armiranog betona.



Slika 3.2-1 Skica uz "novi austrijski postupak"

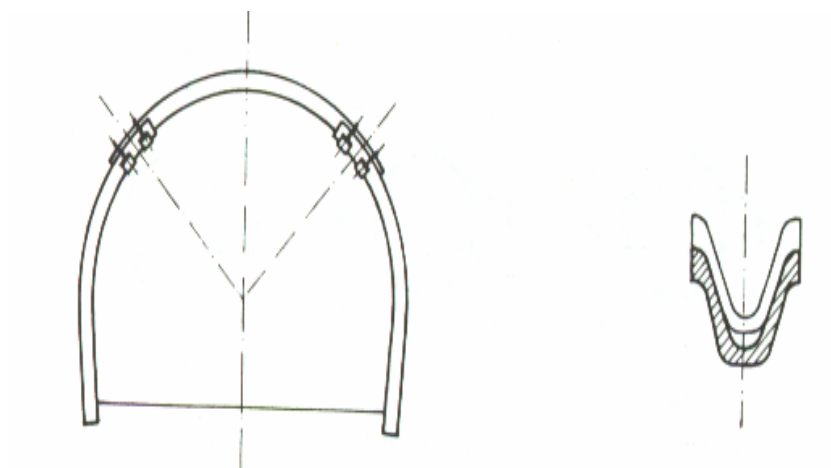
u- deformacija iskapanog profila,
p – neuravnoteženi dio tlaka,
T – vrijeme

a) frikcijsko sidro



b) adhezijsko sidro

Slika 3.2-2 Sidra za ukrućenje iskopa



Slika 3.2-3 Čelični limovi za osiguranje iskopa (remenati)

Osim namjenom, hidrauličkim uvjetima, profilom i trasom tuneli se karakteriziraju i oblogom.

3.2-1 Obloge tunela

Obloge se izvode zbog:

- preuzimanje brdskog pritiska,
- preuzimanje dijela pritiska vode,
- osiguranja od gubitaka vode,
- ostvarenja malih gubitaka pri tečenju.

Obloga zajedno sa stijenskom masom kroz koju je izbušen tunel uključivo i getehničke mjere (na pr. injektiranje, sidra i sl) čine spregnutu složenu konstrukciju.

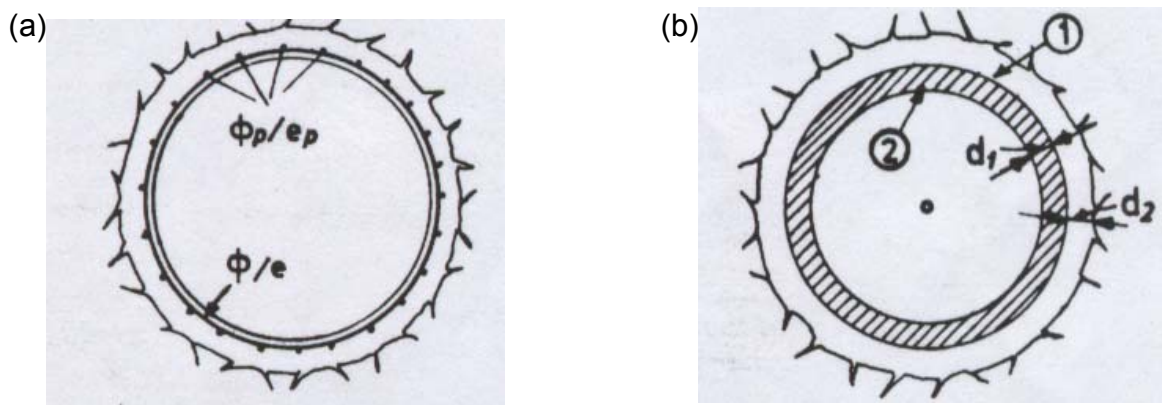
Tuneli sa slobodnim vodnim licem, ako nije potrebna obloga iz statičkih razloga oblažu se djelomično iz hidrauličkih razloga (omočeni opseg), a ako ni to nije bitno ostavljaju se neobloženi (npr. tunel za evakuaciju velikih voda Konavoskog polja).

Izvode se obloge

- Betonske (jednoslojne),
- Armiranobetonske (jednoslojne, dvoslojne, prednapregnute) i
- Kompozitne.

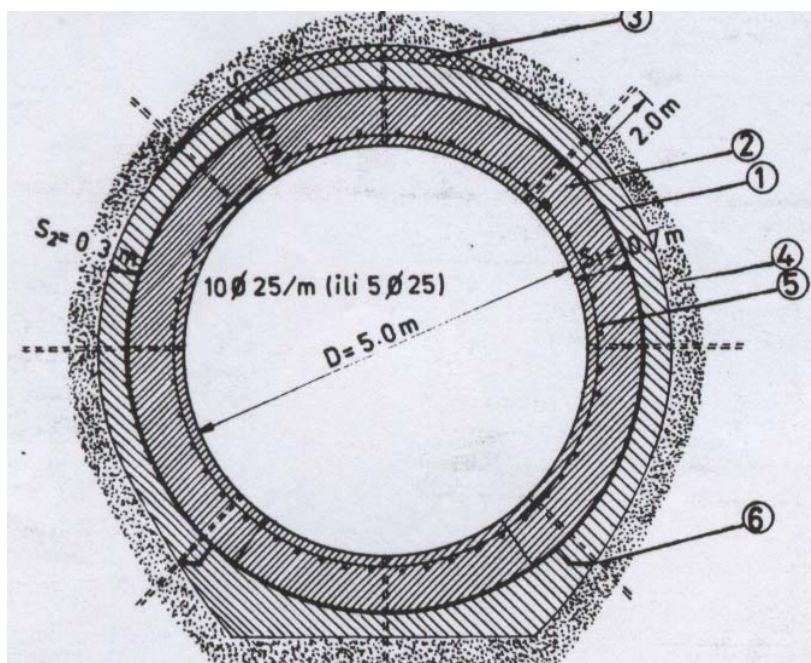
Betonske jednoslojne obloge izvode se u kvalitetnoj stijeni, debljina im je od 25 – 50 cm i za tlak do 10 bara. Obloga se izvodi s dilatacijskim spojnica, koje moraju biti vodonepropusne što se postiže ugradnjom brtvenih traka i odgovarajućim premazima.

AB jednoslojne obloge izvode se kod stijena slabijih deformacijskih karakteristika, do tlaka od 20 bara, a armiraju se jednostruko (uz unutarnji rub) (slika 3.2-4 a) i dvostruko.



Slika 3.2-4 AB obloge, (a) Jednoslojna obloga, (b) Dvoslojna obloga

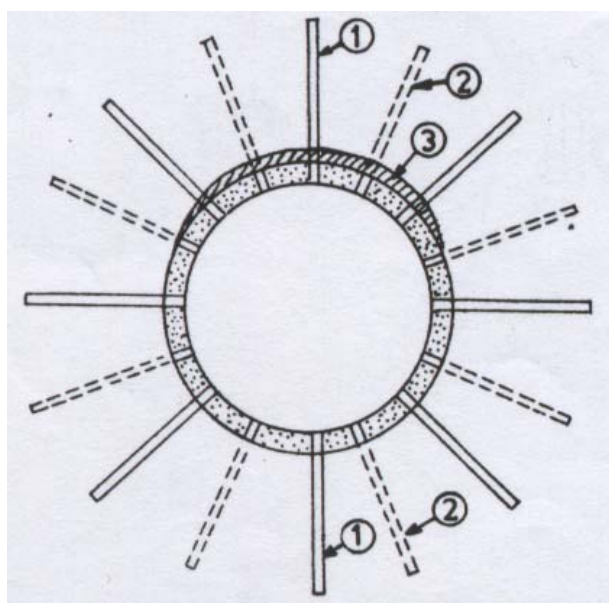
1- beton, 2 – armirani beton ili armirani prskani beton



Slika 3.2-5 Dvoslojna AB obloga

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 - primarna obloga – zaštitna, | 4- osnovna stijena – agresivna, |
| 2 - AB obloga, | 5- armatura |
| 3-kontaktno injektiranje, | 6- obrada spoja obloga (primjer tunela HE Rama u BiH) |

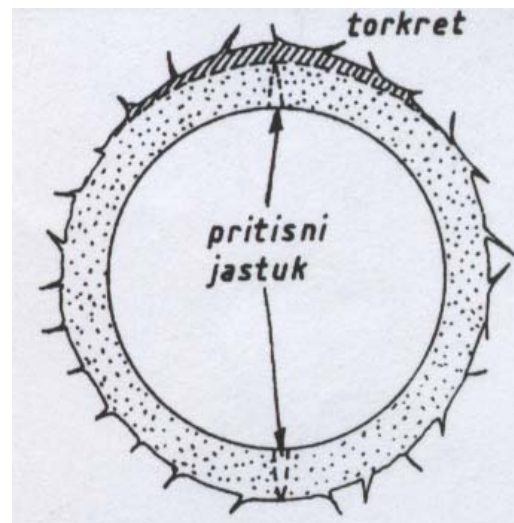
Prednapregnutim oblogama poboljšava se iskoristivost betona i vodonepropusnost. Prednaprezanje se provodi mehanički i injektiranjem.



Slika 3.2-6 Bušotine za naponsko injektiranje

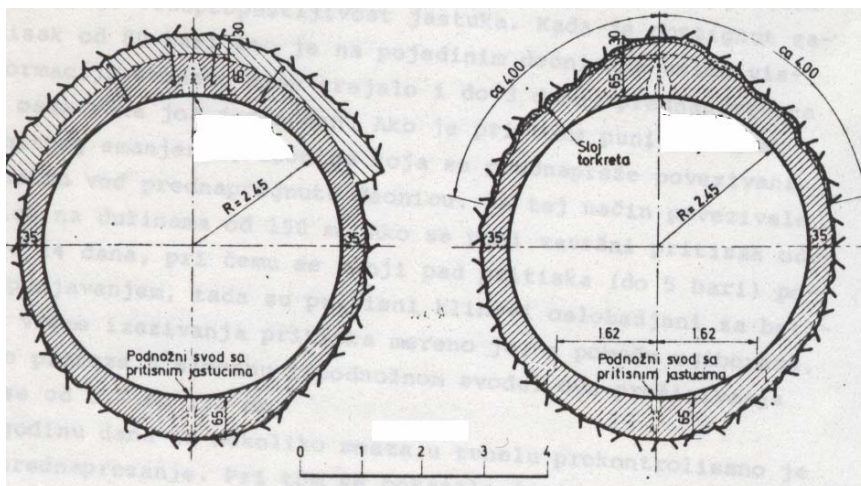
- | |
|---------------------|
| 1 - neparni profil, |
| 2 – parni profil, |

3 – kontaktno injektiranje

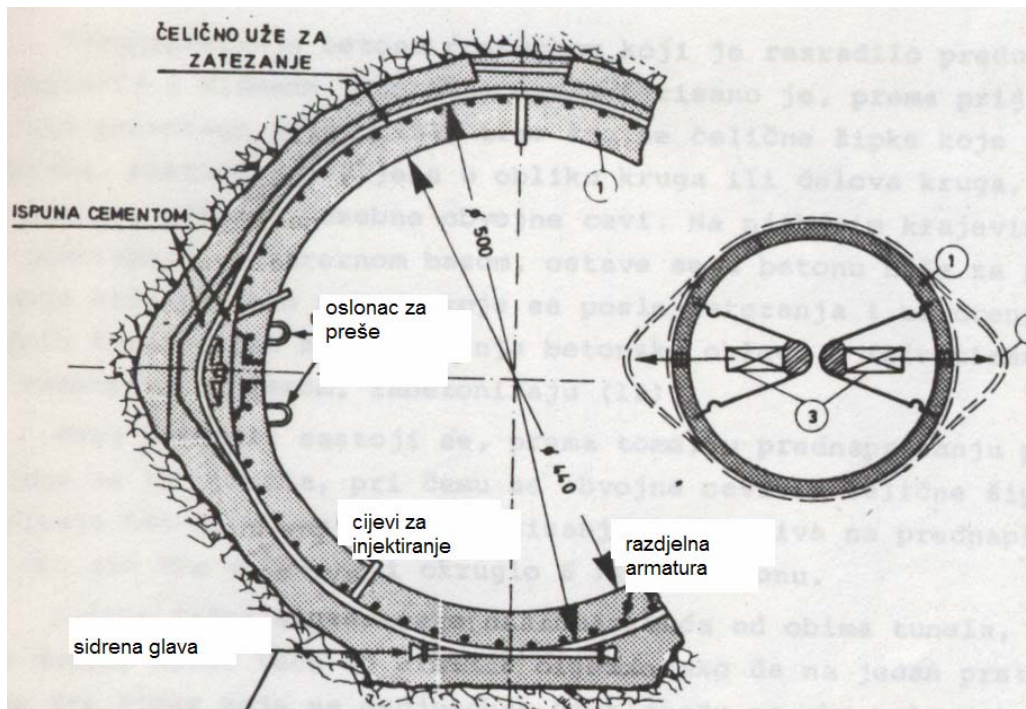


Slika 3.2-7 Prednaprezanje – sustav Kunz

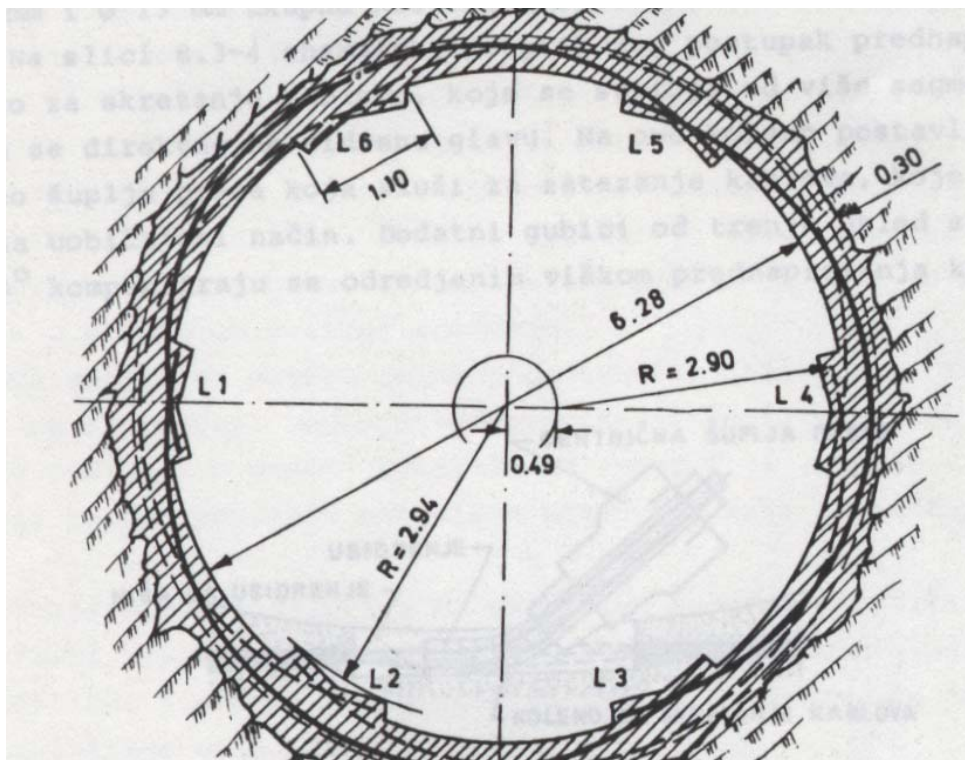
S



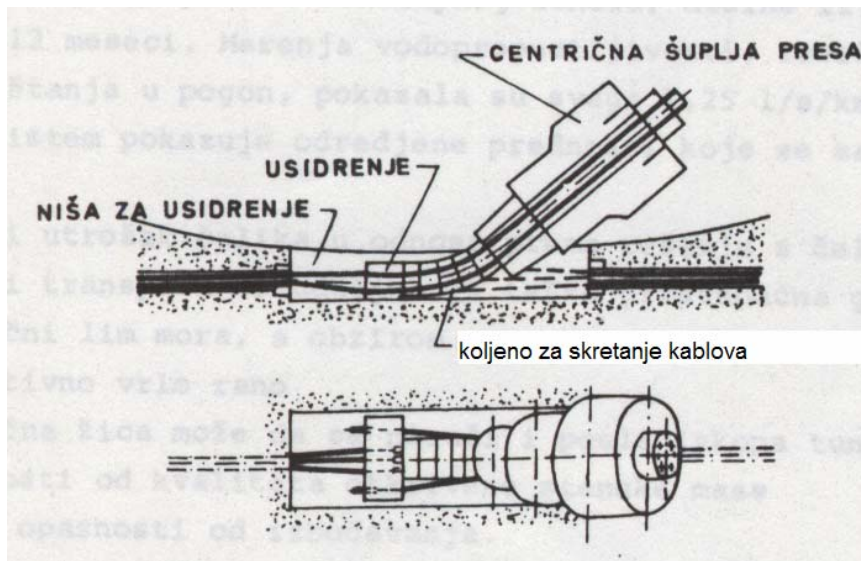
Slika 3.2-8
Prednaprezanje tlačnim
jastucima – sustav Kunz



Slika 3.2-9 Prednaprezanje – sustav Mary

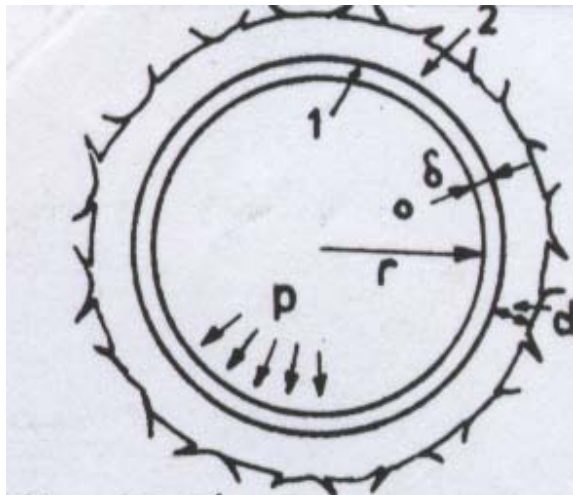


Slika 3.2-10 Prednaprezanje – sustav Dyckerhof & Widmann



Slika 3.2-11 Prednaprezanje – sustav VSL

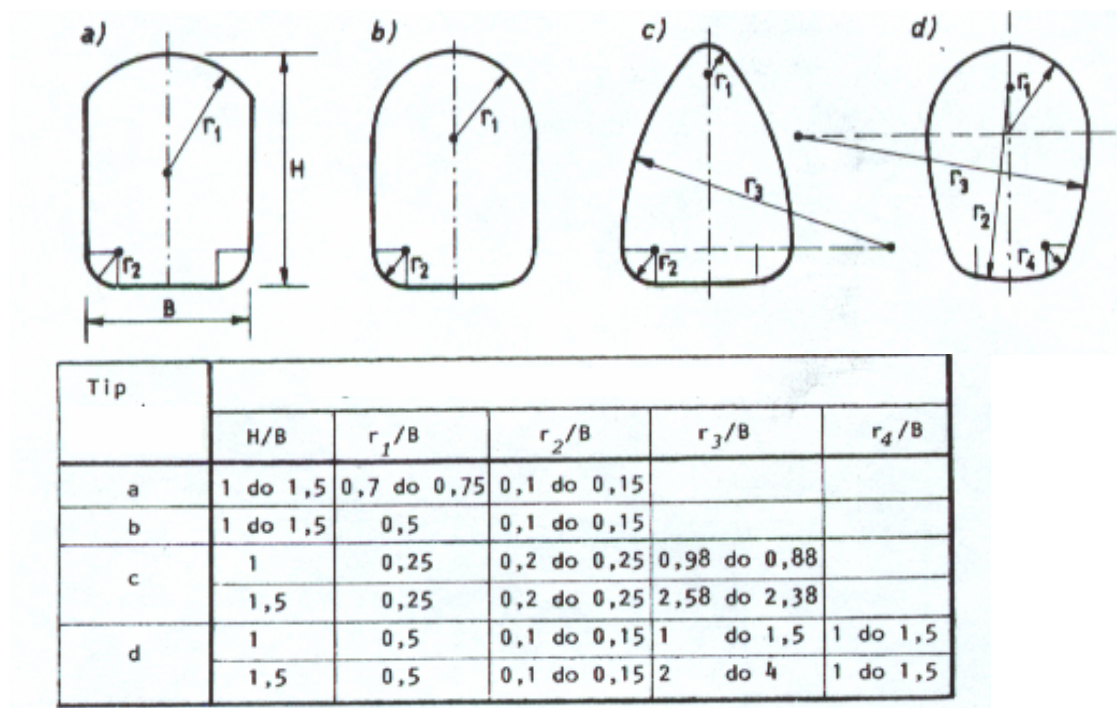
U najtežim uvjetima i za velike unutarnje tlakove izvode se kompozitne obloge – beton i čelik.



Slika 3.2-12 Tlačni cjevovod HE Senj

- 1 – čelični lim
- 2 – sekundarna betonska obloga

Tuneli s tečenjem sa slobodnim vodnim licem



Slika 3.2-13 Tuneli s tečenjem sa slobodnim vodnim licem (profil se puni do 0.8 H)

U čvrstim stijenskim masama s neznatnim tlakovima stjenke mase obično se koristi profil tipa a (slika 3.2-13). Porastom vertikalne komponentne tlaka vodi k primjeni tipa b). Kod većeg vertikalnog i nešto manjeg bočnog pritiska koristi se tip c), a kod većih bočnih pritisaka tip d) (potkovičasti presjek) (slika 3.2-13)

U nastavku je prikazan primjer tunela i cjevovoda u tunelu.

