

SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE

11. PREDAVANJE



Podvodni plutajući tuneli

PODVODNI PLUTAJUĆI TUNELI

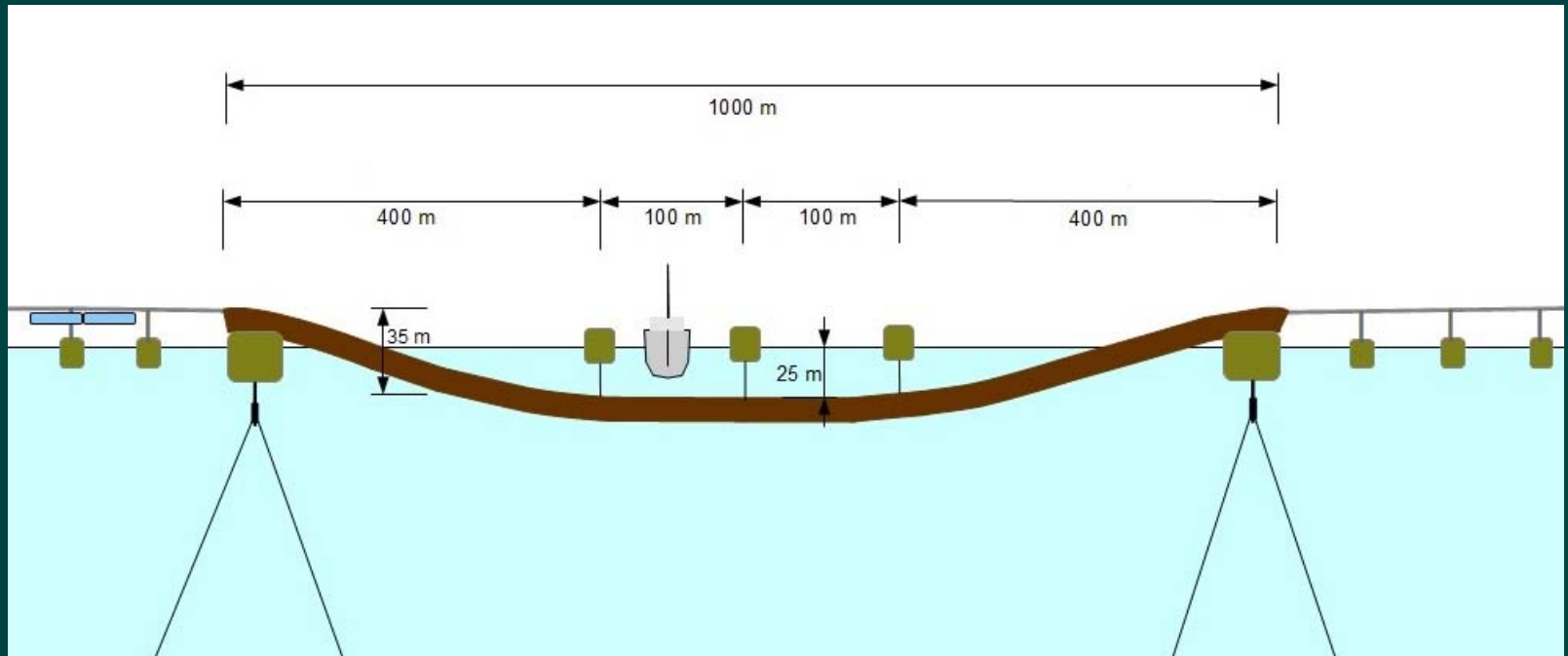
SADRŽAJ PREDAVANJA

□ Podvodni tuneli

- Općenito
- Koncipiranje
 - Osnovna načela
 - Dijelovi konstrukcije
 - Primjeri
- Isplativost i troškovi
- Projektiranje
 - Svojstva lokacije
 - Kriteriji proračuna i djelovanja
 - Dimenzije
 - Statički i dinamički proračun
 - Analiza sigurnosti
- Izvedba
- Uporaba i održavanje
- Sigurnost i utjecaj na okoliš

OPĆENITO

- ❑ Cijevna konstrukcija koja pluta na nekoj dubini vode.
- ❑ Cijev je dovoljno velika da njome može prolaziti cestovni i/ili željeznički promet.
- ❑ Kao i bilo koja plutajuća konstrukcija, podvodni tunel mora imati "mrtvi vez" odnosno biti na određeni način pričvršćena kako ne bi došlo do velikih pomaka.
- ❑ Koncept ovakvih tunela nastao je početkom 20 st., ali tek 90-ih godina rade se prvi projekti jer je trebalo prvenstveno razviti prikladne praktične alate kojima bi se svladali određeni tehnički problemi tehnologije gradnje na udaljenosti od obale.

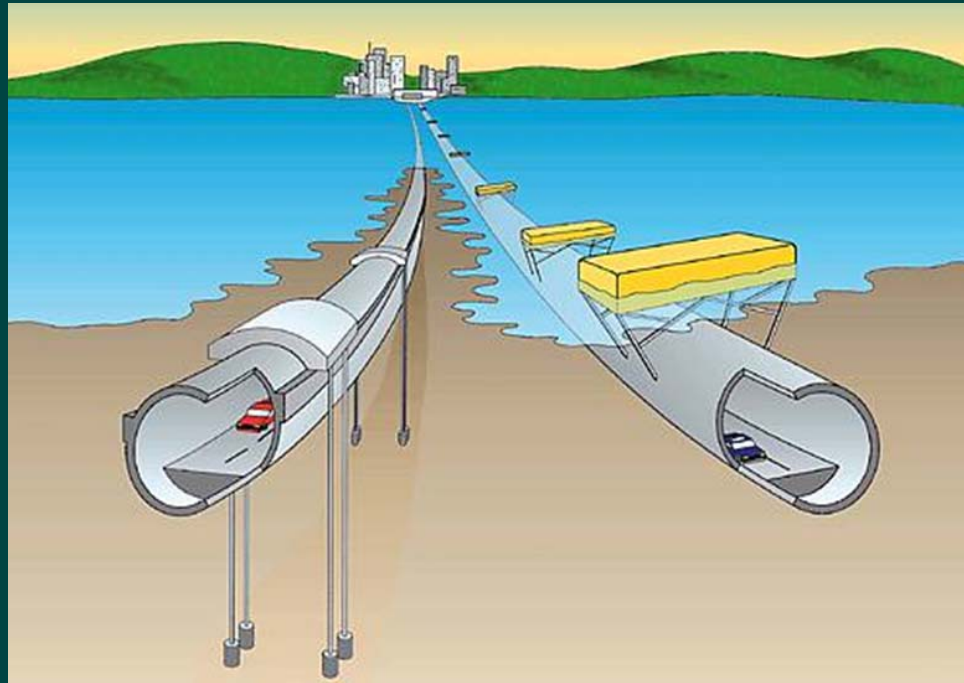


KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

OPĆENITO

- Podvodni plutajući tuneli mogu se upotrebljavati u svim vodenim preprekama.

- estuariji,
- rijeke,
- jezera,
- fjordovi,
- morski tjesnaci,
- veze otoka



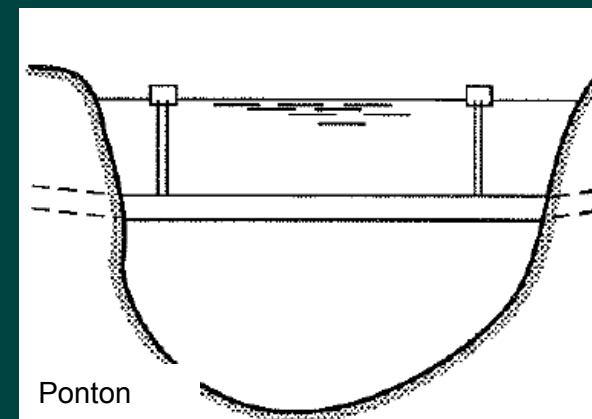
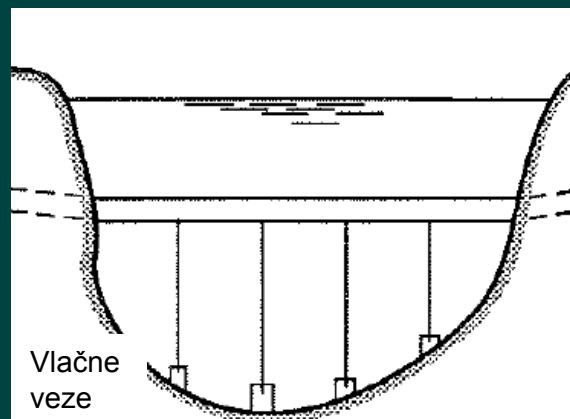
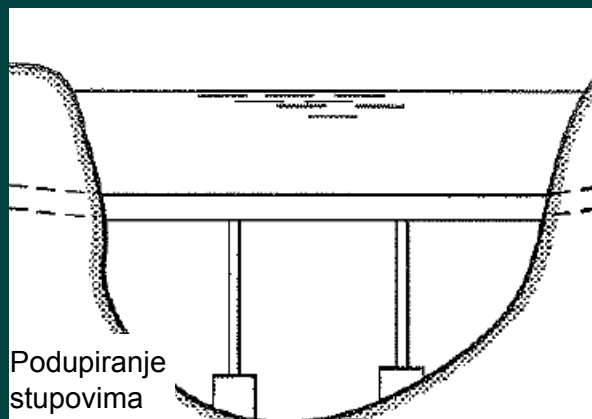
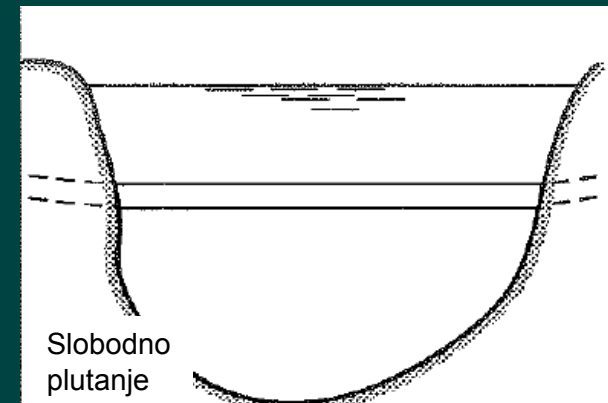
- Posebno su pogodni u zaštićenim područjima gdje treba smanjiti utjecaj na okoliš.
- Slični su potopljenim tunelima, ali su i bitno različiti: ovdje je ipak riječ o plutajućoj konstrukciji koja se pomiče u vodi.

KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

OPĆENITO

- Podvodni plutajući tunel smješta se na dubini od npr. 30 metara ispod gornje razine vode kako bi omogućio prolazanje brodova.
- U tom položaju zadržava se vlačnim vezama ili pontonima na površini vode i tada je riječ o **pozitivnom uzgonu** odnosno konstrukcija je lakša od vode i želi isplivati na površinu.
- Podvodni plivajući tunel može biti projektiran i sa **negativnim uzgonom** kada je teži od vode pa ga se podupire stupovima do dna jezera i mora. Ovi su ograničeni na dubinu mora od ≈ 100 m

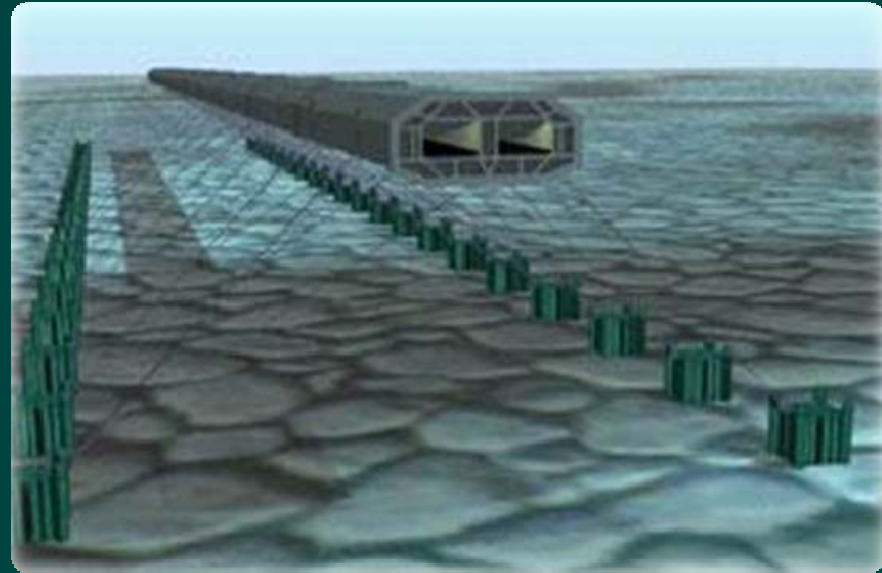
Različite vrste sidrenja



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

OSNOVNA NAČELA:

- *PPT je izložen svim djelovanjima tipičnim za vodeno okružje:*
 - *Valovi, struje, plima i oseka, potres, korozija, led, porast pomorskog prometa.*
- *Mora biti projektiran tako da izdrži sva ova djelovanja, ali i*
 - *uporabna djelovanja i izvanredna djelovanja*
 - *s odgovarajućom čvrstoćom i krutosti.*
- *Krutost može biti kritični parametar, pogotovo kod željezničkog prometa.*
- *Poprečna krutost osigurava se*
 - *sidrenjem u dno (koso sidrenje pogotovo) ali i*
 - *samim oblikom tunela (lučni oblik u horizontalnoj ravnini).*



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

OSNOVNA NAČELA:

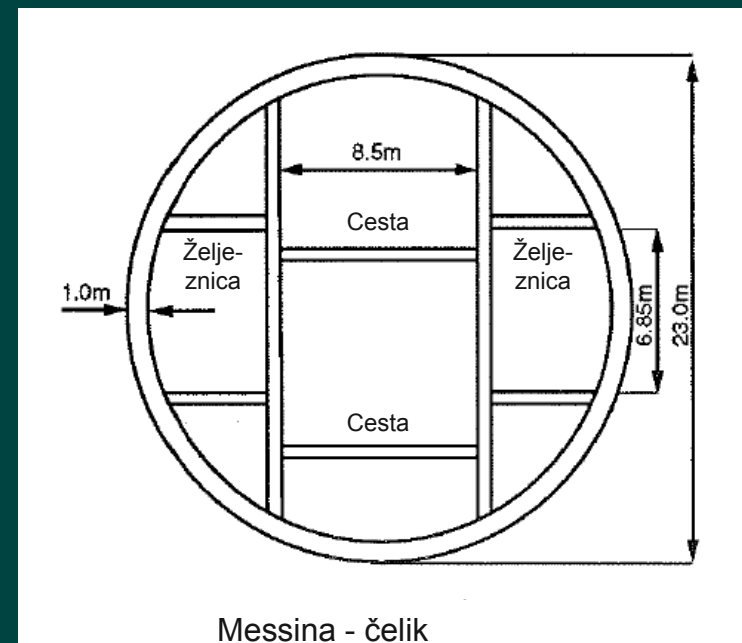
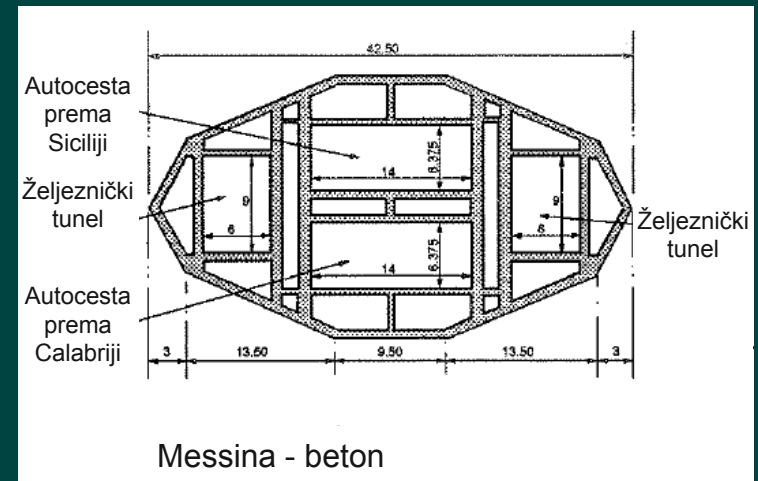
- *U pogledu sigurnosti kritična je zaštita od prodora vode unutar tunela pa izvanredni događaji zahtijevaju posebnu pozornost:*
 - *udar broda, padanje objekta, požar ili eksplozija unutar tunela.*
- *Dodatno je nužna psihička sigurnost korisnika koji ovdje*
 - *putuju unutar vode, a navikli su na putovanje iznad (mostovi) ili ispod vode (podzemni ili ukopani tuneli).*
- *PPT se grade u odsječcima na gradilištu na obali te doplovljavaju do konačne lokacije, potapaju i fiksiraju ili se proizvode odsječci na jednoj strani prelaze i guraju dok ne dosegnu suprotnu obalu – segmentno potiskivanje.*
- *Posebnu pozornost kod PPT-a traži :*
 - *dinamičko ponašanje*
 - *parametri sigurnosti*
 - *uporaba i održavanje*
 - *vlačno sidrenje*
 - *povezivanje s obalom*
 - *spojevi,*
 - *potresi,*
 - *plimni valovi.*



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIJELOVI KONSTRUKCIJE

- Tri osnovna dijela podvodnih plutajućih tunela jesu:
 - cijev
 - sidrenje
 - spojevi s obalom
- Kroz **cijev** prolazi promet (cestovni i/ili željeznički) i oprema.
- Vanjski oblik je
 - kružan,
 - eliptičan ili
 - poligonalan.
- Može biti od
 - betona i
 - čelika.
 - Kombinacijom se mogu iskoristiti prednosti obaju materijala.
- Zaštita od korozije je iznimno važna kao i za bilo koju konstrukciju pod vodom.



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIJELOVI KONSTRUKCIJE

- *Veza između uzgona i vlastite težine je vrlo važna jer se*
 - *njome kontrolira statičko ponašanje tunela i*
 - *donekle odgovor na dinamičke sile.*

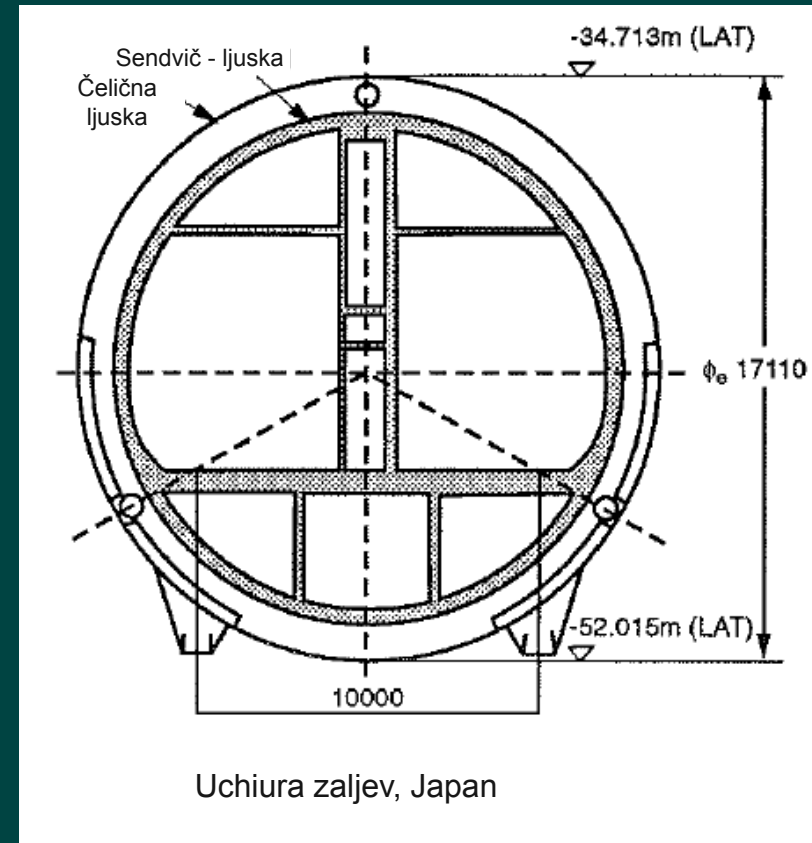
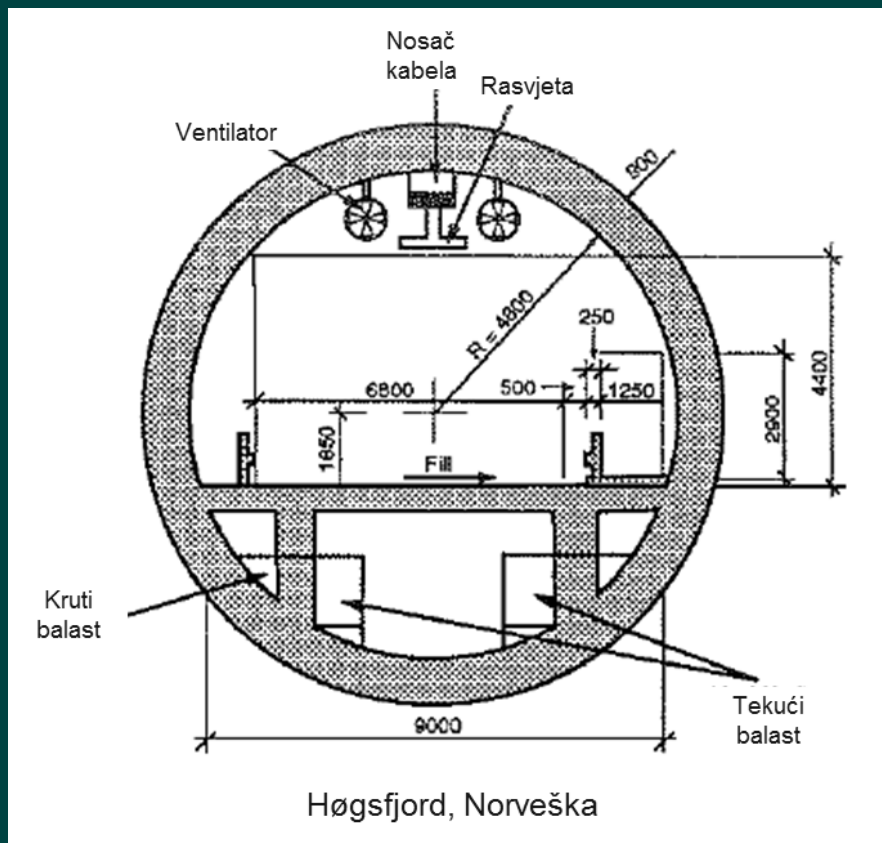
- *Ponekad je ovo i kontrolni parametar za oblikovanje poprečnog presjeka cijevi*
- *iako je utvrđeno da minimalne unutrašnje dimenzije najčešće rezultiraju optimalnim projektom.*

- *Elementi cijevi općenito su duljine reda veličine od 100 m do 500 m.*

- *Povezani su spojevima kojima se*
 - *pojednostavljuje postupak instalacije,*
 - *i koji osiguravaju*
 - *brtvljenje,*
 - *čvrstoću i*
 - *krutost*
 - *na razinama ne manjim od same cijevi.*

KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIJELOVI KONSTRUKCIJE

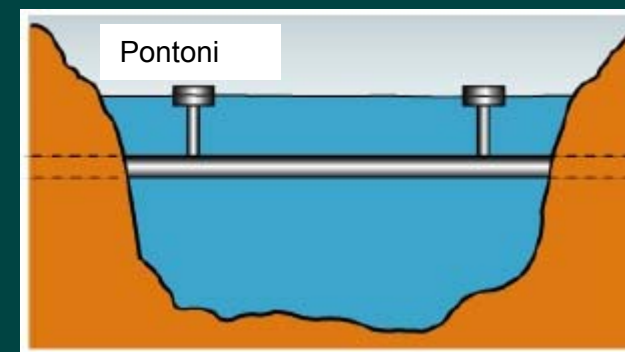
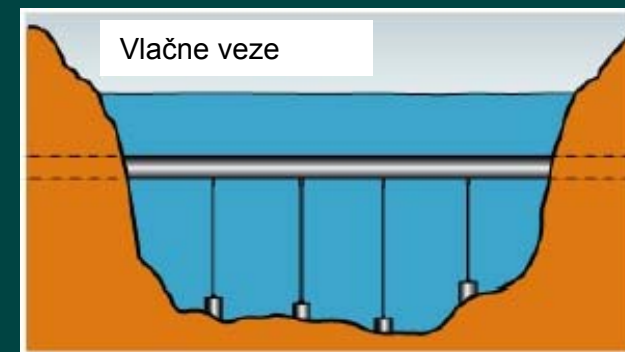


KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIJELOVI KONSTRUKCIJE

□ Tri su načina sidrenja podvodnih plutajućih tunela:

- **Vlačna veza s dnom**
 - omogućuje nevidljivi prijelaz
- **Pontoni na površini vode**
 - ponekad mogu imati prednost,
 - mogu se koristiti za posebne namjene,
 - sportske aktivnosti, za uzgoj riba
- **Uobičajeno podupiranje stupovima**
 - ako je uzgon negativan,
 - tada zapravo donekle tunel i nije plutajući



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIJELOVI KONSTRUKCIJE

- Posebno rješenje je ono **bez sidrenja**
 - konstrukcija podupire samu sebe između veza s obalom,
 - ovo je moguće samo u posebno povoljnim uvjetima okoliša i za ograničenu duljinu

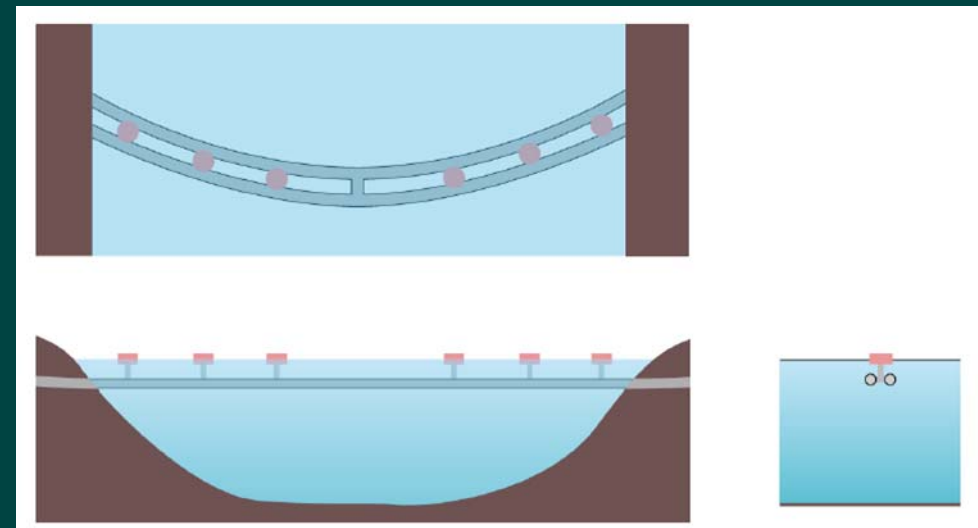
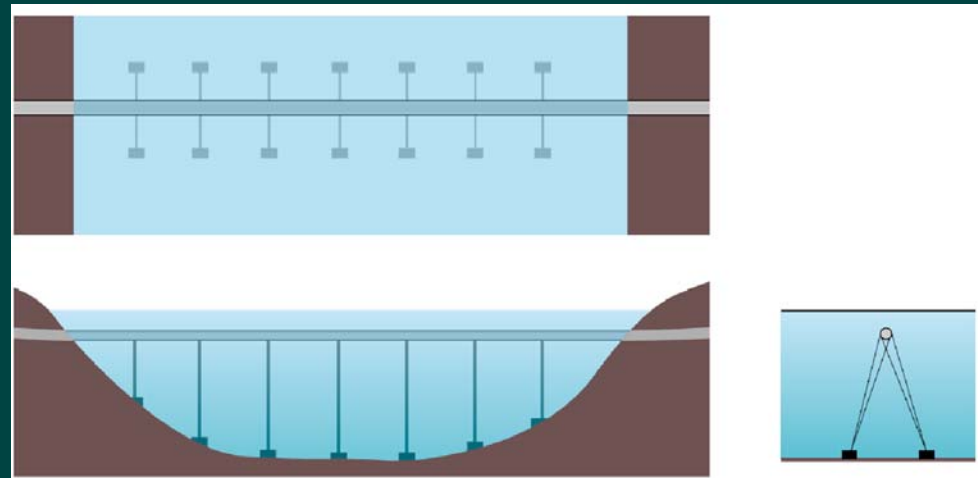


KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIJELOVI KONSTRUKCIJE

- *Ponekad sidrenje treba osigurati i poprečnu krutost*
 - *tada se izvodi nagnuto sidrenje pod kutom*
 - *ovo je tipično za visoko seizmička područja i*
 - *za područja s izrazitim morskim strujama*

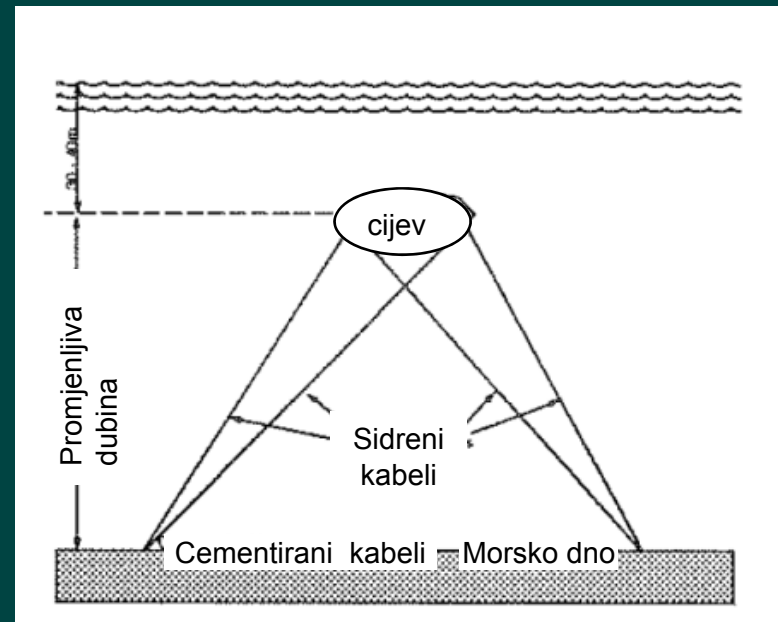
- *U manje ozbiljnim uvjetima, poprečna krutost može se osigurati*
 - *oblikom same cijevi koja tvori luk u horizontalnoj ravnini*



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIJELOVI KONSTRUKCIJE

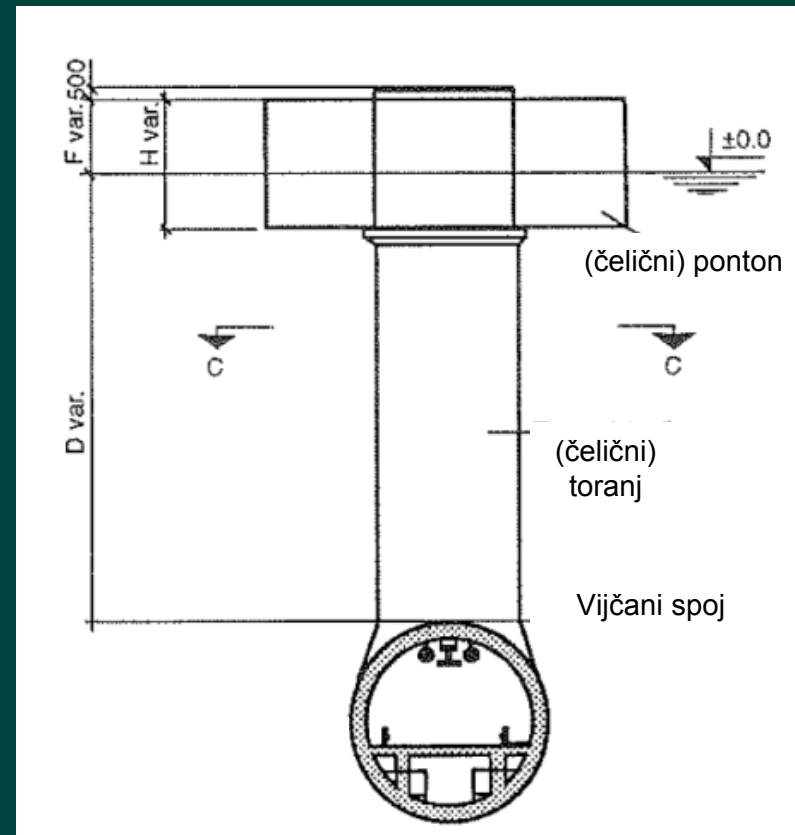
- Kod vlačnih veza s dnom primjenjuje se
 - čelična žica ili čelična cijev,
 - ali se razmatraju i drugi napredni materijali.
- Uzdužni razmak spona
 - ovisi o proračunskim opterećenjima,
 - može se kretati od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara.
- Posebnu pozornost valja posvetiti
 - dinamičkom ponašanju spona,
 - poglavito s obzirom na labave dijelove užeta.
- Vlačne veze sidre se na vodenom dnu, ovisno o vrsti tla, u obliku
 - gravitacijskih temelja ili
 - gravitacijskih pilota,
 - a razmatraju se i vlačni piloti



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIJELOVI KONSTRUKCIJE

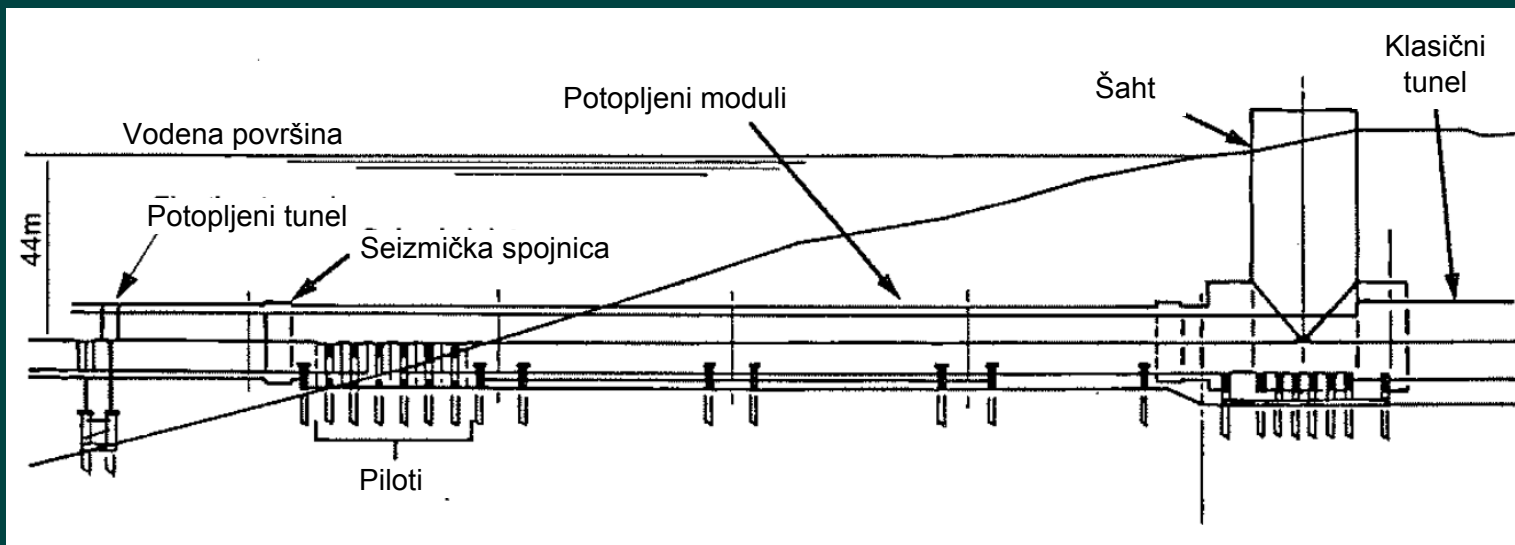
- **Pontoni** omogućuju
 - vertikalno pridržanje i
 - vode k fleksibilnijim sustavima
 - pa se mogu upotrebljavati u manje ozbiljnim uvjetima okoliša.
- Prednost im je
 - što su neovisni o dubini vode,
- ali mana
 - što moraju izdržati brodove, valove i led.
- Mogu biti
 - čelični ili betonski,
 - sa više komora kako bi se osigurala plovnost u slučaju udara broda.
- Veza sa tunelskom cijevi treba biti
 - slaba veza koja će očuvati tunel u slučaju udara broda,
 - dakle ponton će se odvojiti i tunelska cijev ostat će netaknuta.



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIJELOVI KONSTRUKCIJE

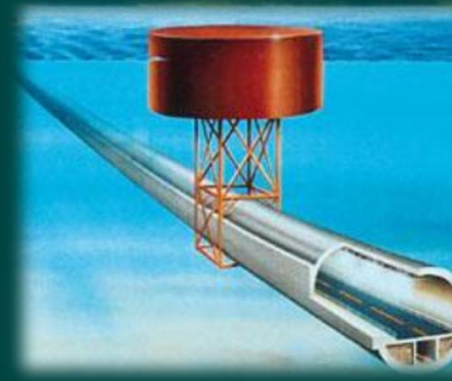
- **Veze cijevi s obalom** zahtijevaju odgovarajuće
 - prijelazne elemente koji će povezati fleksibilnu cijev u vodi sa puno krućim tunelom probivenim kroz tlo.
- Ovaj spoj mora
 - izdržati pomake cijevi, bez neograničenog povećanja naprezanja (dakle dijelom omogućavati pomake cijevi).
 - S druge strane spojevi moraju biti nepropusni za vodu da spriječe njeno prodiranje u cijev.
- Dodatna pozornost je posebno potrebna u seizmičkim područjima zbog moguće pojave podmorskog urušavanja i klizanja



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

PRIMJERI

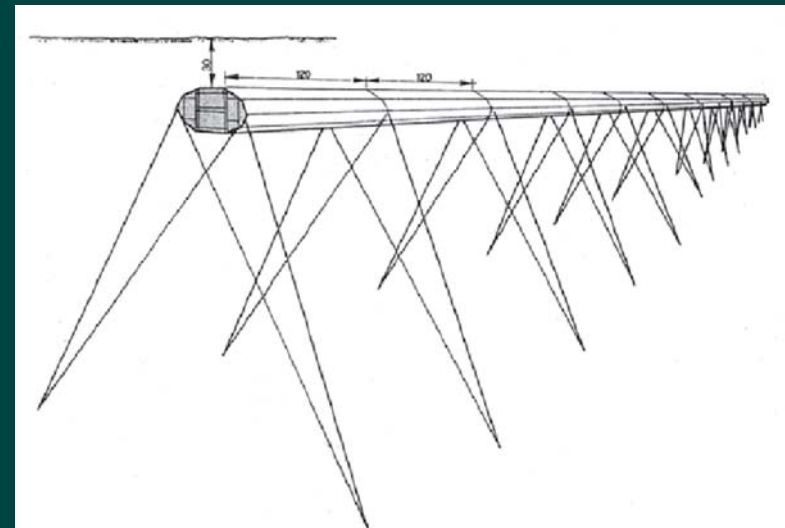
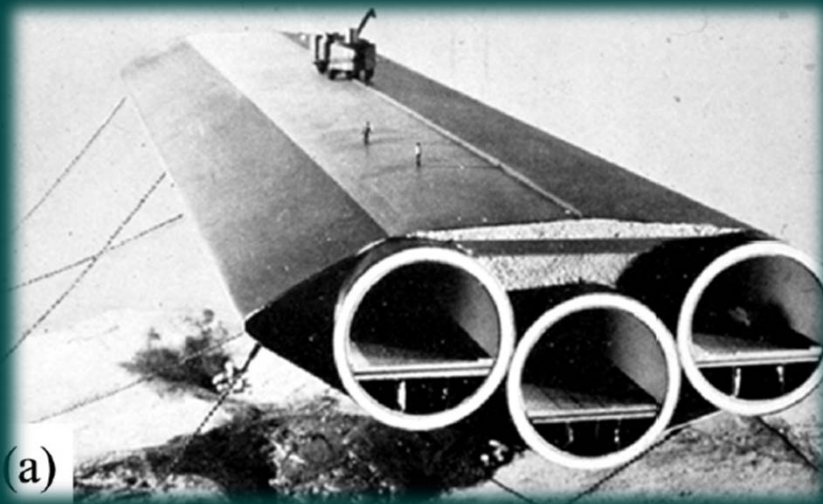
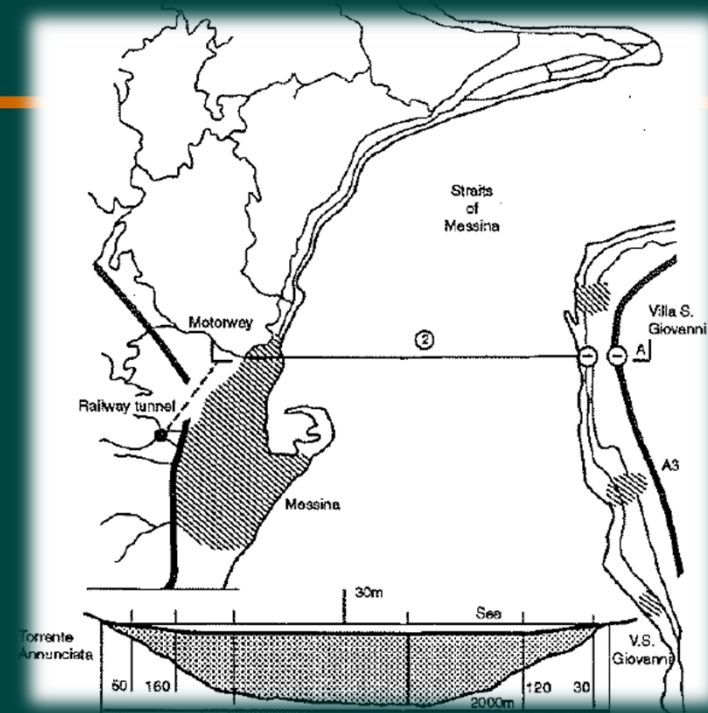
- ❑ Høgsfjord prijelaz, Norveška
- ❑ Duljina prijelaza 1400 m, maksimalna dubina vode 150 m
- ❑ Tunelska cijev
 - 25 m ispod vodene površine,
 - kružnog oblika, unutrašnjeg promjera 9,5 m
 - za dva smjera cestovnog prometa.
- ❑ Područje s malim strujama i valovitošću.
- ❑ Razmatrane su 4 varijante s različitim rješenjima sidrenja i uz upotrebu različitih materijala:
 - Betonski tunel, 4 grupe vertikalnih vlačnih veza sidrenih u tlo
 - Betonski tunel, 6 pontona na površini povezanih s tunelom betonskim tornjevima
 - Čelični tunel, 10 pontona na površini povezanih s tunelom čeličnim stupovima
 - Betonski tunel, 3 pontona na površini povezanih s tunelom preko čeličnih tornjeva



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

PRIMJERI

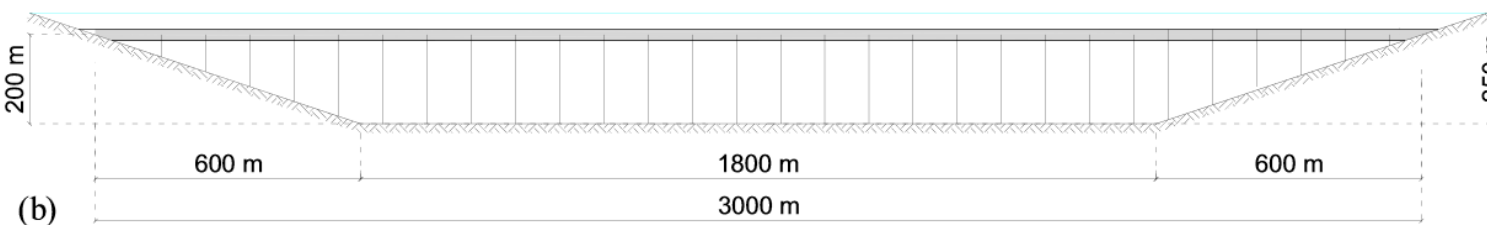
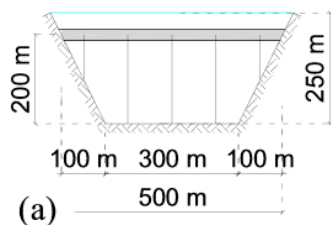
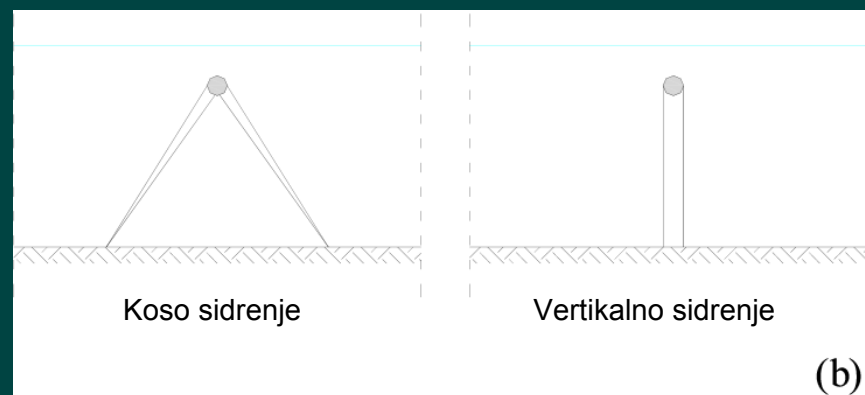
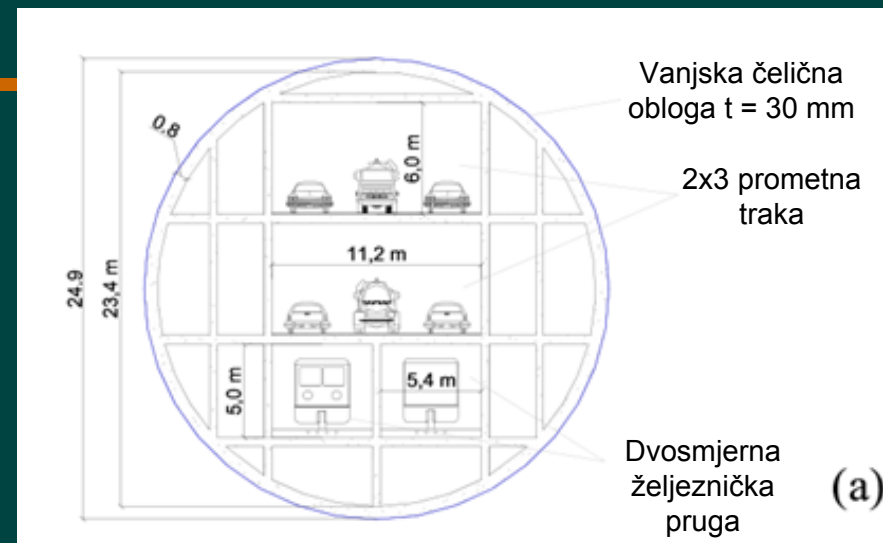
- Messina tjesnac, Italija
- Puno zahtjevniji projekt zbog
 - ozbiljnijih uvjeta okoliša i
 - visokog seizmičkog rizika.
- Prijelaz duljine 3000 m s maksimalnom dubinom 350 m.
- Četvero-tračni cestovni i dvotračni željeznički promet.
- Razmatrano je više rješenja



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

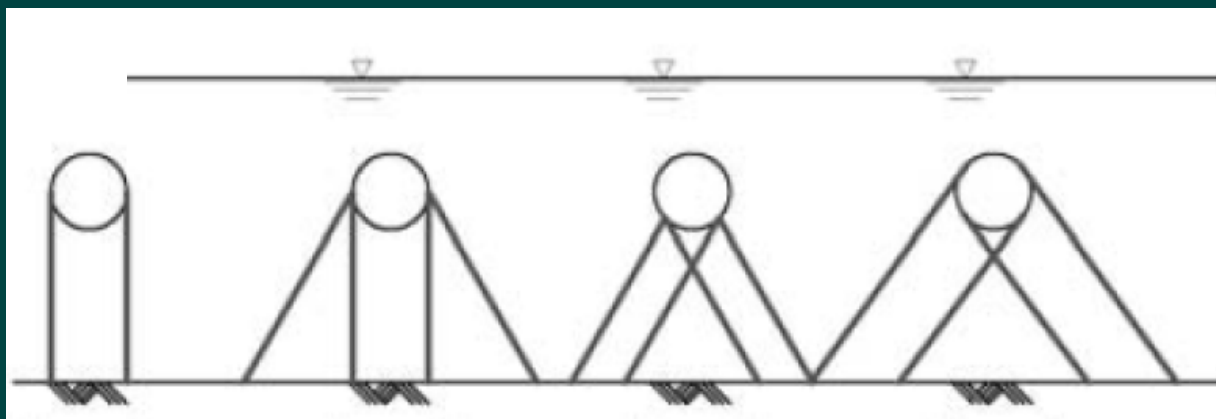
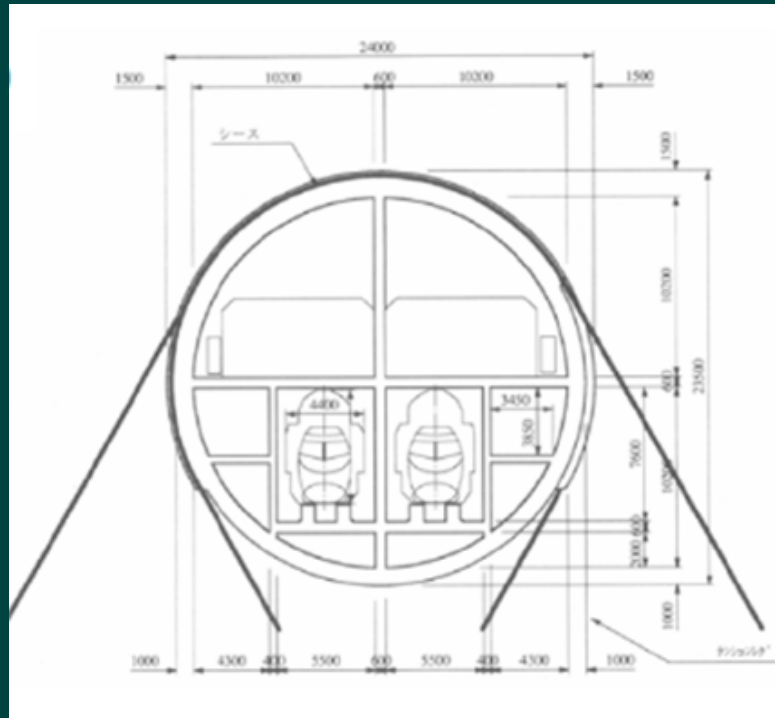
PRIMJERI

- Messina tjesnac, Italija
- Puno zahtjevniji projekt zbog
 - ozbiljnijih uvjeta okoliša i
 - visokog seizmičkog rizika.
- Prijelaz duljine 3000 m s maksimalnom dubinom 350 m.
- Četvero-tračni cestovni i dvotračni željeznički promet.
- Razmatrano je više rješenja



PRIMJERI

- ❑ Funka Bay, Japan
- ❑ Povezivanje sjevernog dijela Honshu otoka sa Hokkaido otokom.
- ❑ Poprečni presjek i mogućnosti sidrenja



KONCIPIRANJE PODVODNIH TUNELA

PRIMJERI

□ *Podvodni plutajući tuneli razmatrani su i na nekim drugim lokacijama:*

- *na jezeru Lugano u Švicarskoj,*
- *u norveškim fjordovima,*
- *Rion – Antirion veza u Grčkoj*
- *prijelaz Bospor u Turskoj*

□ *Moguće lokacije*

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ■ <i>Francuska</i> | <i>Gironde</i> |
| ■ <i>Francuska/Švicarska</i> | <i>Geneva jezero</i> |
| ■ <i>Njemačka/Austrija/švicarska</i> | <i>Constance jezero</i> |
| ■ <i>Grčka</i> | <i>povezivanje otoka</i> |
| ■ <i>Italija</i> | <i>Messina prijelaz, alpska jezera (Maggiore, Como, Garda, Iseo)</i> |
| ■ <i>Norveška</i> | <i>fjordovi (bar 12)</i> |
| ■ <i>Portugal</i> | <i>Tejo</i> |
| ■ <i>Španjolska/Maroko</i> | <i>Gibraltar</i> |
| ■ <i>Švedska</i> | <i>jezero Vattern</i> |
| ■ <i>Švicarska</i> | <i>jezera Neuchatel, Lucerne, Zurich</i> |
| ■ <i>Turska</i> | <i>Bospor, povezivanje s otocima</i> |

ISPLATIVOST I TROŠKOVI PODVODNIH TUNELA

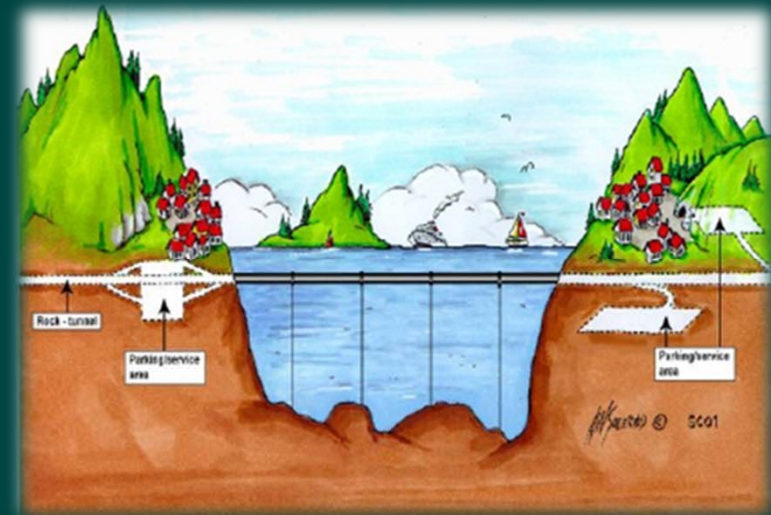
- *Najprihvatljivije kod podvodnih plutajućih tunela je njihova kompatibilnost s okolišem: tehnologija omogućuje*
 - *povoljni transport bez značajnog utjecaja na okoliš i*
 - *rješenje u gustom prometu po vodenoj površini.*
- *Pogotovo povoljno ovo rješenje prijelaza biti će kod*
 - *Prijelaza jezera, kako bi se smanjio gust promet po obalama jezera pogotovo u razvijenim turističkim područjima*
 - *Prijelaza zaljeva, fjordova, morskih tjesnaca, bez ikakvog utjecaja na okoliš i bez ikakvog miješanja s aktivnostima na vodi.*
- *PPT će omogućiti i*
 - *bolju kontrolu zagađenosti zraka, jer se ispušni plinovi mogu skupljati sustavom zračenja u posebne komore na ulazima i odgovarajuće tretirati prije ispuštanja u atmosferu.*
 - *Ovo je moguće uz dodatne troškove ali koji su ograničeni u usporedbi s cijelim troškom tunelske opreme.*



ISPLATIVOST I TROŠKOVI PODVODNIH TUNELA

■ PPT na jezerima

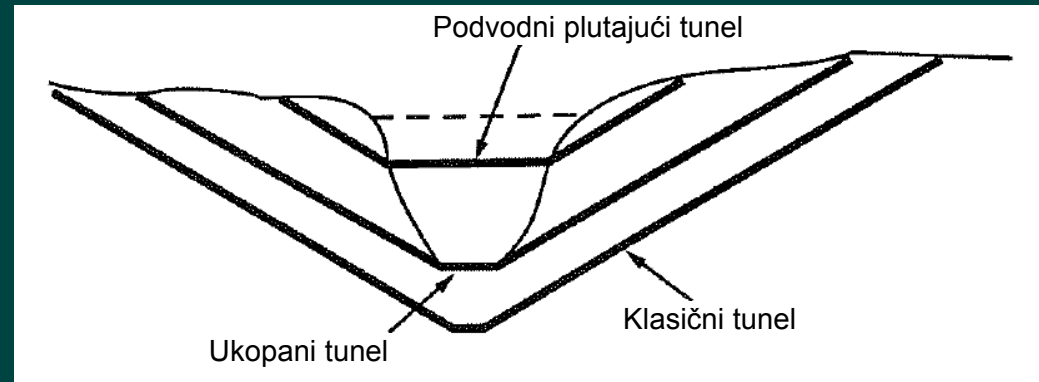
- Jezera, pogotovo u brdskim krajevima, mogu biti duboka i atraktivna za turizam.
- Ceste često obilaze jezero i svakodnevno se stvaraju gužve što utječe i na lokalno stanovništvo.
- Tunelom bi se promet usmjerio preko jezera do suprotne točke pa zaobilaznje ne bi bilo potrebno, a ako se izvede 10-20 m ispod površine vode ne bi ni ometalo aktivnosti iznad.
- Cjelokupan promet sela ili grada mogao bi se izbjeći kombinirajući podvodni plutajući tunel s klasičnim tunelom uz podzemno parkiranje.
- Podvodni plutajući tunel je vitka konstrukcija u usporedbi s vodenim prijelazom i ne bi narušavao strujanja u jezeru.



ISPLATIVOST I TROŠKOVI PODVODNIH TUNELA

□ PPT u morskim obalnim područjima:

- Prolazi kroz vodu na manjoj dubini od ukopanog ili uobičajenog tunela, pogotovo kad je dubina vode velika.
- Ovime se znatno štedi na utrošku energije, što je posebice značajno kod željezničkog prometa.



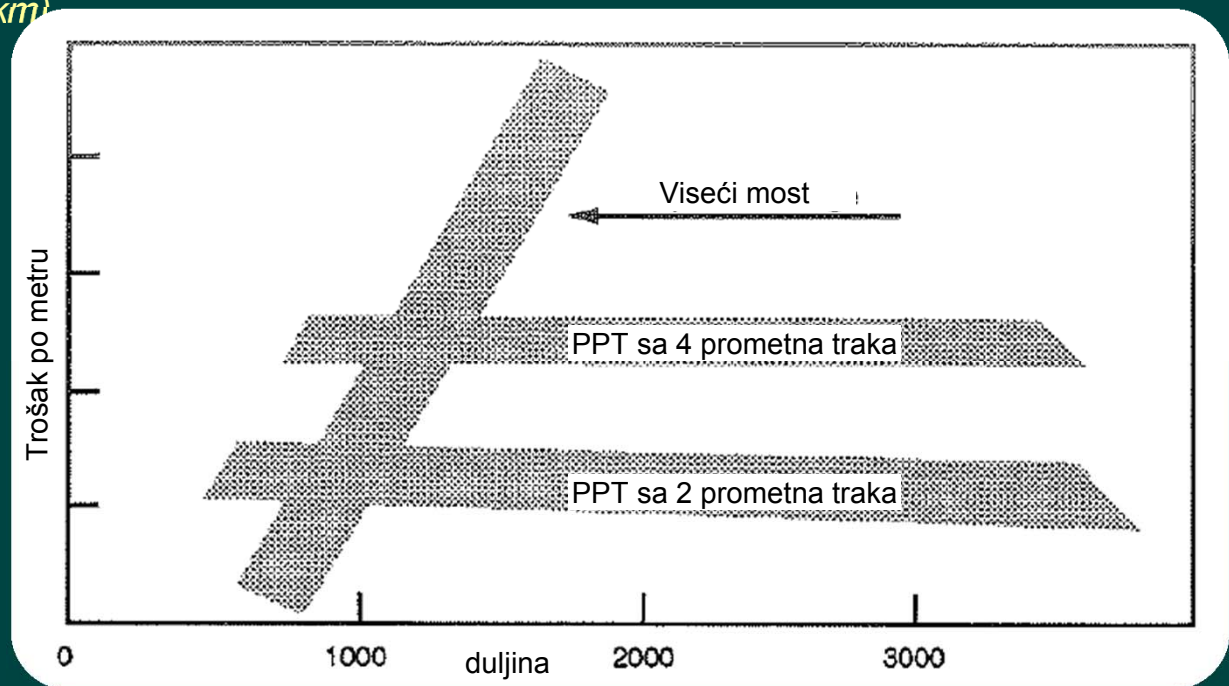
□ Približna kvantitativna usporedba razlike u duljini između rješenje

- za 1000 m širok prijelaz
- s dubinom vode od 100 m

Vrsta konstrukcije	Ukupna duljina (km) za cestovni promet	Ukupna duljina (km) za željeznički promet
Uobičajeni podzemni tunel	5,6	14
Ukopani tunel	4,5	10
Podvodni plutajući tunel	2,2	4

ISPLATIVOST I TROŠKOVI PODVODNIH TUNELA

- *Troškovi izgradnje PPT ovisit će o*
 - *specifičnostima lokacije i*
 - *zahtjevima transporta.*
- *Može se napraviti usporedba s visećim mostom:*
 - *Za PPT cijena po metru dužine je približno konstantna,*
 - *dok se za mostove značajno povećava s duljinom mosta.*
- *Duljina PPT je praktično neograničena*
 - *(osim za pontonsko pridržanje koje se ograničava na maksimalne duljine od 1,5 km)*



ISPLATIVOST I TROŠKOVI PODVODNIH TUNELA

□ Procjenjeni troškovi:

- Za Hogsfjord PPT (1,4 km, 2 prometna traka): 110 milijuna Eura
- Za Messina tjesnac (3 km, 4 cestovna prometna traka + 2 željeznička, u daleko ozbiljnijem okolišu): 3000 milijuna Eura

□ Ovi se troškovi smanjuju s razvojem tehnologije (kao za bilo koji tip konstrukcija) i sa optimiziranjem projektnih rješenja.

- Osim za uobičajene troškove izgradnje i održavanja tunela, veliki troškovi kod PPT jesu vezani uz ispitivanja i kontrolu korozije.

□ Prikaz mogućih povoljnih i nepovoljnih parametara na odabir PPT su prikazani u tablici,

- vodeći računa da je PPT jedino moguće rješenje ako se zahtijeva nevidljiv prijelaz s malim utjecajem na okoliš.

parametar	Manje povoljno	PPT povoljno rješenje	Izazov
Duljina prijelaza	< 1000 m	> 1000 m	
Dubina vode	< 50 m	> 50 m	> 1000 m
Osjetljivost okoliša	značajna		
Struje		< 2 m/s	> 3-4 m/s
Seizmičnost		Niska do umjerena	visoka
Podmorski promet	gust	Nema ga	nizak
Promet vodenom površinom		izrazit	Veliki brodovi

PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

GLAVNI KORACI PROJEKTIRANJA

1. *Svojstva lokacije i definiranje ciljeva tijekom uporabe*
2. *Utvrdjivanje proračunskih kriterija i djelovanja*
3. *Izbor glavnih dimenzija*
4. *Statički i dinamički proračun*
5. *Analiza sigurnosti konstrukcije*
6. *Studije utjecaja na okoliš*
7. *Izvedbeni projekt*
8. *Razrada izgradnje i postupaka montaže*
9. *Razrada pravila uporabe i strategije održavanja.*

PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

SVOJSTVA LOKACIJE I CILJEVI UPORABE

- *Kako je projekt PPT izrazito ovisan o okolišu u koji ga valja uklopiti, prije početka projektiranja nužno je*
 - *pažljivo razmotriti sva svojstva lokacije*
 - *Geografska svojstva područja, poglavito ona vezana uz pozicioniranje PPT i procedure potrebne za izgradnju*
 - *Geološka i geotehnička istraživanja vodenog dna i područja veze s obalom*
 - *Svojstva vodenog okoliša*
 - *struje,*
 - *valovi,*
 - *plima i oseka,...*
 - *Svojstva seizmičkog rizika*
 - *Istraživanje svih ostalih utjecaja na PPT*
 - *plovni promet,*
 - *ribolov,*
 - *aktivnosti u lukama, ...*
 - *Skupljanje podataka za ocjenjivanje utjecaja na okoliš*
 - *Utvrđivanje svih ostalih mogućih ograničenja*
 - *uporaba zemljišta,*
 - *uporaba vode,..*



PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

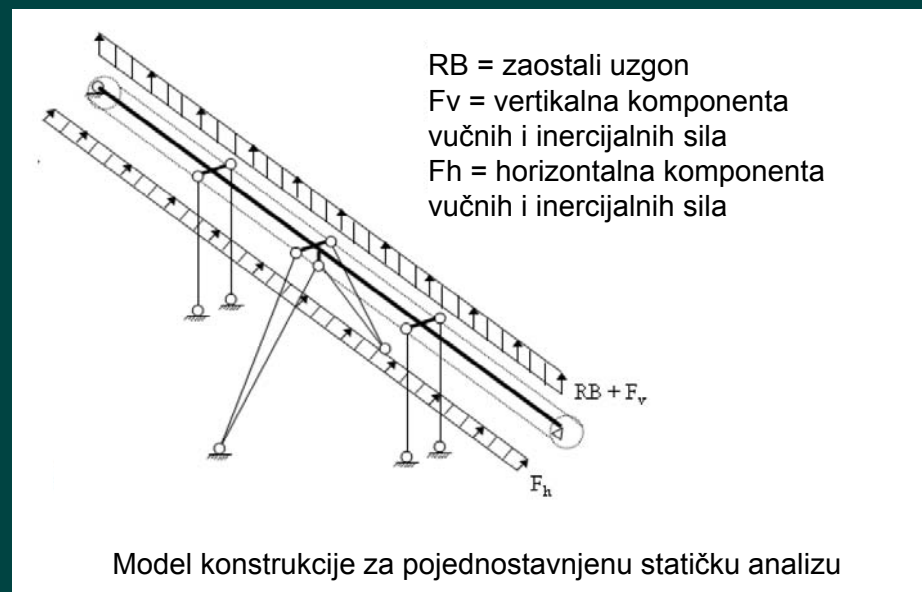
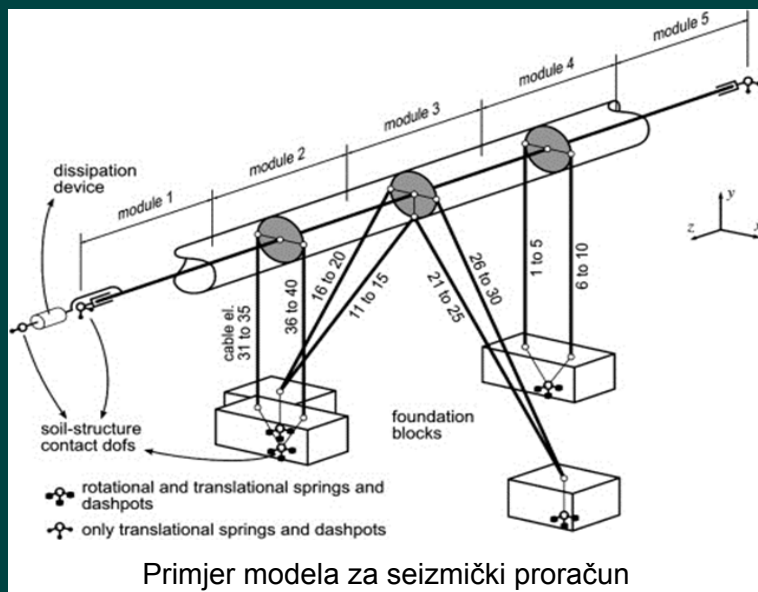
SVOJSTVA LOKACIJE I CILJEVI UPORABE

- *Kako je projekt PPT izrazito ovisan o okolišu u koji ga valja uklopiti, prije početka projektiranja nužno je*
 - *i detaljno odrediti kako će konstrukcija zadovoljavati funkciju odnosno što su ciljevi korištenja.*
- *Ovo se prvenstveno odnosi na prometne uvjete koje valja osigurati ovakvom vezom.*
- *Tipično se izražavaju u obliku prometnog opterećenja,*
 - *uzimajući u obzir procjene za budući razvoj*
 - *uz odgovarajuće razmatranje razvoja prometa uslijed novog načina povezivanja obala.*
- *Stoga se prvenstveno projektira transport*
 - *željeznička ili cestovna veza,*
 - *broj prometnih trakova, širina,*
 - *vrsta prometa,...*
- *Valja naglasiti da su projektiranje prometnih zahtijeva i projektiranje same konstrukcije*
 - *sasvim drukčiji postupci*
 - *koji zahtijevaju druge vrste stručnjaka i druge aktivnosti,*
 - *ali ovi prvi definiraju ciljeve za funkcioniranje drugih*

PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

KRITERIJI PRORAČUNA I DJELOVANJA

- ❑ Kriteriji proračuna definiraju se u propisima i normama
- ❑ Za svaku kategoriju djelovanja, utvrđuju se prikladni proračunski modeli i često se zahtijevaju probabilistička razmatranja.
- ❑ Kriteriji proračuna vode k odgovarajućim kombinacijama djelovanja.



PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

KRITERIJI PRORAČUNA I DJELOVANJA

Djelovanja uključuju:

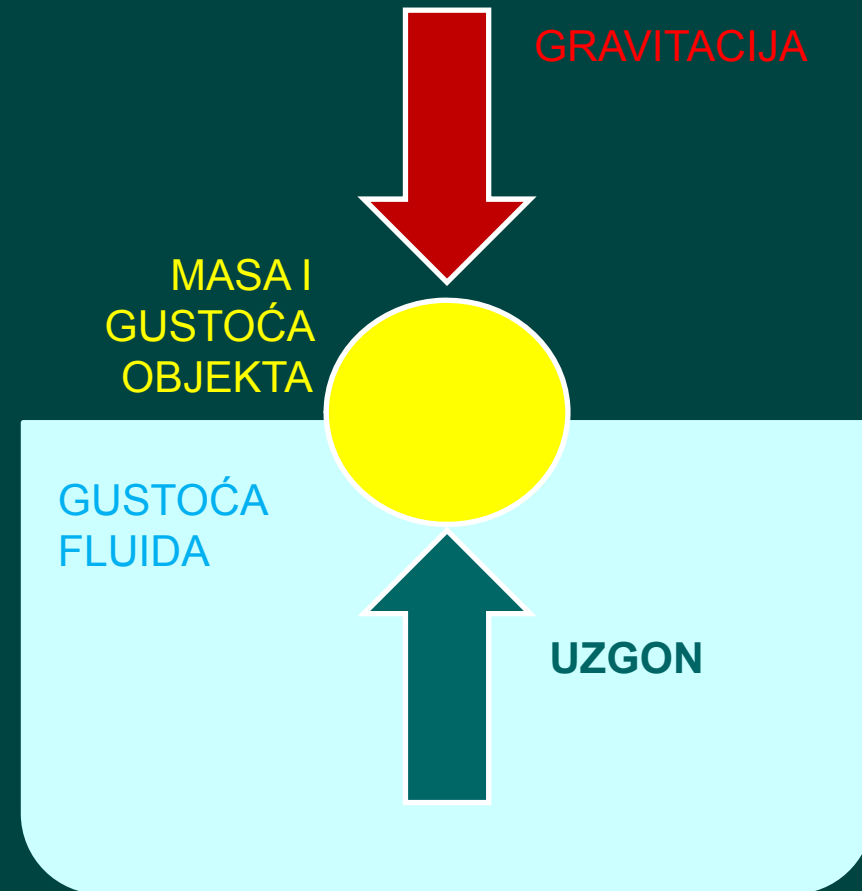
□ *Stalna djelovanja:*

- *vlastita težina,*
- *uzgon,*
- *hidrostatski tlak,*
- *dodatno opterećenje od upijanja vode*

□ *Promjenjiva opterećenja:*

- *prometno opterećenje,*
- *promjene u balastu,*
- *promjenjiva djelovanja pri izgradnji*

- $F = \rho \times g \times V$



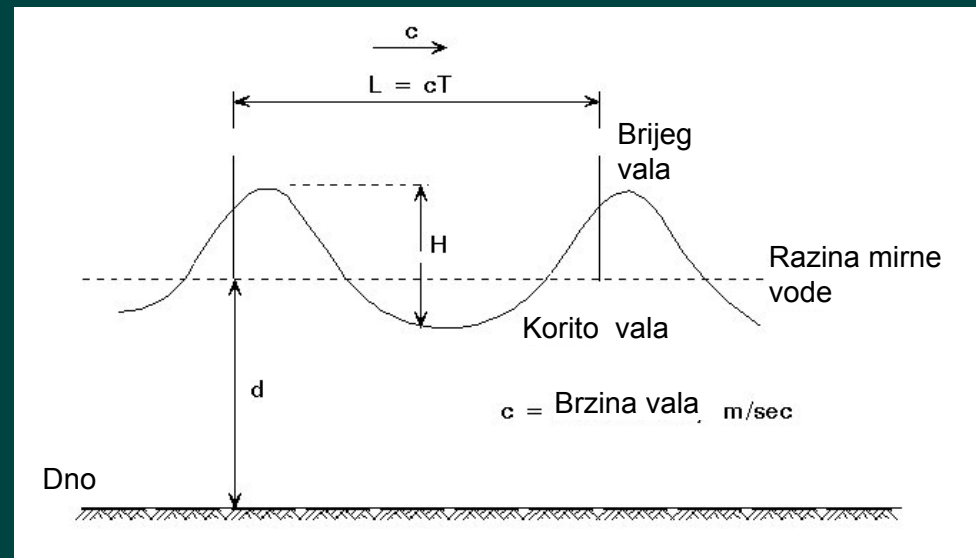
PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

KRITERIJI PRORAČUNA I DJELOVANJA

Djelovanja uključuju:

■ *Djelovanja okoliša:*

- *struje,*
- *valovi*
 - *uzrokovani vjetrom,*
 - *unutrašnji valovi,*
 - *valovi uzrokovani brodskim prometom,*
 - *valovi uzrokovani klizanjem stijena,*
- *promjene razine vode,*
- *potres,*
- *promjene temperature,*
- *led,*
- *korozija,*
- *rast podvodnog bilja,*



PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

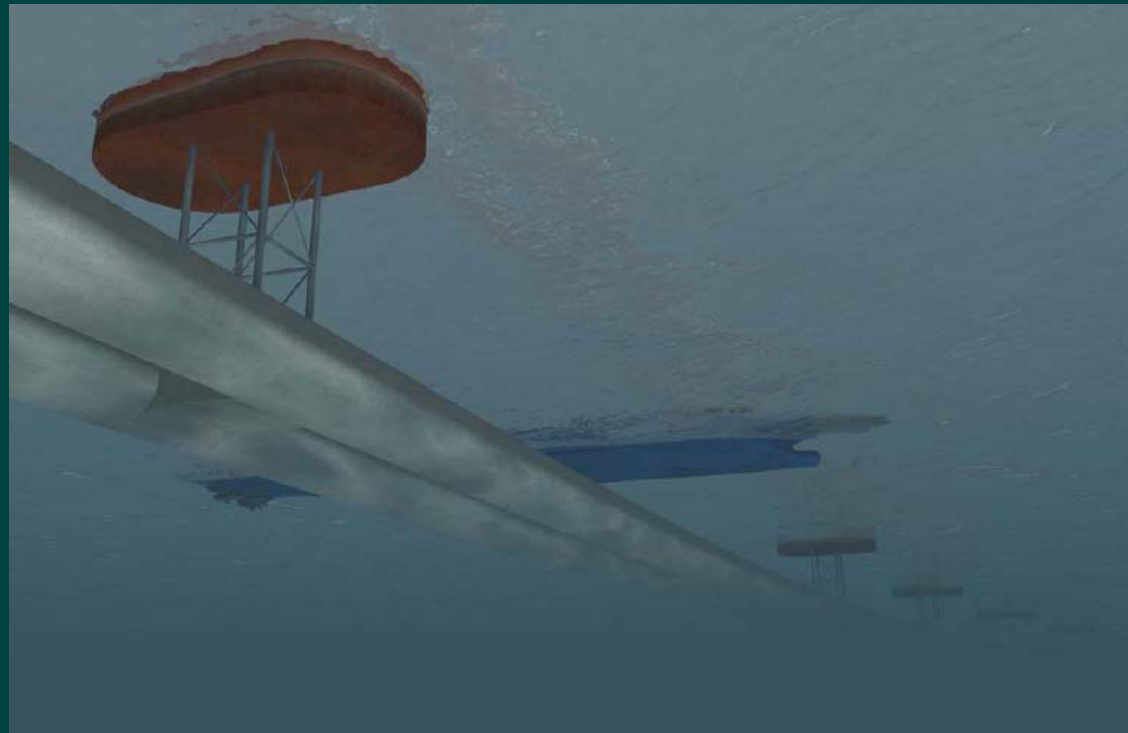
KRITERIJI PRORAČUNA I DJELOVANJA

Djelovanja uključuju:

□ *Izvanredna djelovanja:*

■ *Udari*

- *padajući predmeti,*
- *brodovi koji tonu,*
- *ribarske mreže,*
- *podmornice*
- *požar,*
- *eksplozija,*
- *poplava,*
- *klizanje stijena,*
- *padajući oblutci,*
- *procurivanje*



PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

DIMENZIJE

- *Odgovor konstrukcije je jako ovisan o samoj veličini cijevi,*
 - *pa preliminarno dimenzioniranje osnovnih dimenzija valja napraviti već u ranoj fazi projekta.*

- *Ovo dimenzioniranje može započeti od ciljeva korištenja*
 - *koji na temelju nacionalnih prometnih zahtijeva i pravila*
 - *uz prostor potreban za odgovarajuću opremu*
 - *definiraju unutrašnje dimenzije cijevi.*
 - *Utvrđeno je da minimalne unutrašnje dimenzije, koje su dovoljne da se u njih smjeste zahtijevani prometni trakovi i potrebna oprema, često rezultiraju gotovo optimalnim dimenzijama.*

- *Drugi važan parametar u osnovnim dimenzijama je procjena uzgona.*
 - *Osim u posebnim slučajevima kada PPT ima negativni uzgon, vanjske dimenzije trebaju biti*
 - *takve da konačni uzgon prekorači zbroj vlastite težine i prometnog opterećenja.*
 - *Višak potopljenosti valja ograničiti, kako bi se izbjegla velika naprezanja u sustavu sidrenja,*
 - *Jednostavnim proračunima potopljenosti definiraju se granične vrijednosti vanjskih dimenzija cijevi.*
 - *U svakom slučaju, konačna optimalna potopljenost će se dobiti dodavanjem balasta u cijev.*

PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

STATIČKI I DINAMIČKI PRORAČUNI

- *PPT uvijek prikazuje dinamičko ponašanje pri određenim uvjetima djelovanja*
 - *pa uvijek valja provesti dinamički proračun.*
- *Statički proračun je s druge strane potreban (pogotovo što je manje zahtijevan)*
 - *kako bi se istražilo međudjelovanje pojedinih dijelova konstrukcije i*
 - *kako bi se postigao uravnoteženi dizajn.*
- *Pri proračunu hidro-dinamičkih međudjelovanja valja na odgovarajući način uzeti u obzir:*
 - *Sile povlačenja uslijed mirnog tijeka (strujanja) uzimajući u obzir poprečno odizanje i međudjelovanje s konstrukcijom*
 - *Sile uslijed fluktuirajućeg tijeka (valovi) koje su u okviru uobičajenih dimenzija PPT, određene inercijom.*
 - *Vrtložne sile pobude koje mogu biti male na cijev, ali mogu imati veliku ulogu u sidrenju uslijed dinamičkih utjecaja.*
- *U seizmičkom proračunu valja razmotriti neke učinke koji su tipični za PPT:*
 - *Uzbudno djelovanje više oslonaca i trešnja morske mase.*
 - *Općenito vrijedi da se nelinearni učinci ne mogu zanemariti.*
- *Posebnu pozornost valja posvetiti problemu stabilnosti sidrenih kabela.*

PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

ANALIZA SIGURNOSTI

- *Provjere sigurnosti zahtijevaju provedbu proračuna pouzdanosti. To znači da*
 - *valja proračunati vjerojatnost otkazivanja konstrukcije (i indeks pouzdanosti)*
 - *uzimajući u obzir sve nesigurnosti:*
 - *fizičke,*
 - *statističke i*
 - *modelske*
 - *i onda ih usporediti s ciljanim vrijednostima*
 - *danim prema važećim normama i propisima.*
- *Proračuni sigurnosti i pouzdanosti trebaju pokriti različita granična stanja:*
 - *Granično stanje uporabljivosti*
 - *Granično stanje nosivosti*
 - *Granično stanje progresivnog otkazivanja*
 - *Granično stanje zamora*
- *Ciljanje razine pouzdanosti ovisit će o promatranom tipu graničnog stanja.*
- *Iz dosadašnjeg iskustva može se zaključiti da se konačno otkazivanje najčešće povezuje*
 - *s otkazivanjem poprečnog presjeka cijevi (što vodi do gubitka osnove čvrstoće i prodora vode).*
- *Granično stanje zamora zaslužuje posebnu pozornost, jer je poznavanje ponašanja čeličnih elemenata u vodi pod ciklirajućim opterećenjem za sada ograničeno.*
 - *Stoga se tijekom vijeka trajanja PPT-a predviđa zamjena svih sidrenih kabela.*

PROJEKTIRANJE PODVODNIH TUNELA

ANALIZA SIGURNOSTI

- Analize pouzdanosti trebaju se odnositi na ponašanje konstrukcije, odnosno pratiti put otkazivanja dok se iscrpe rezerve nosivosti.
- *Primjer dijagrama za analizu pouzdanosti PPT-a za granično stanje progresivnog otkazivanja.*



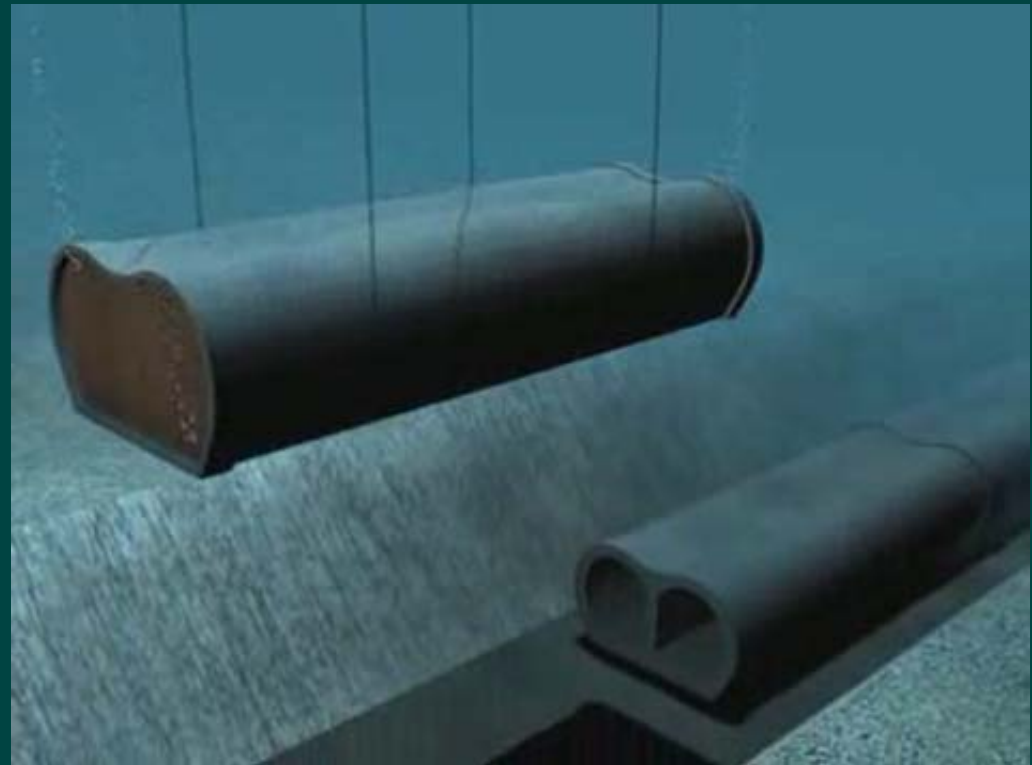
IZVEDBA PODVODNIH TUNELA

IZVEDBA

□ Dvije su osnovne metode izgradnje PPT-a:

1. Montažna gradnja

- Češće se koristi kod PPT-a u morima jer je u moru moguće neograničeno korištenje velikih dizalica i barži.
- Kod PPT-a u unutrašnjim vodama lokalni uvjeti i problemi pristupa vjerojatno će zahtijevati postavljanje elemenata s manjim brodovima.
- Elementi se izvode na obali i tegle na lokaciju PPT-a.
- Uglavnom nema ograničenja na duljinu elemenata, pogotovo ako se koristi stalno prednapinjanje: duljina je uglavnom kontrolirana svojstvima opreme za izgradnju.



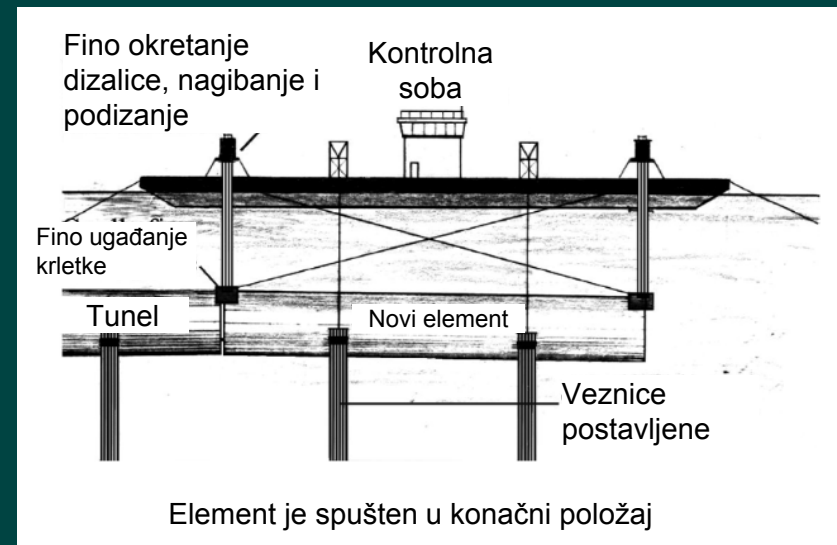
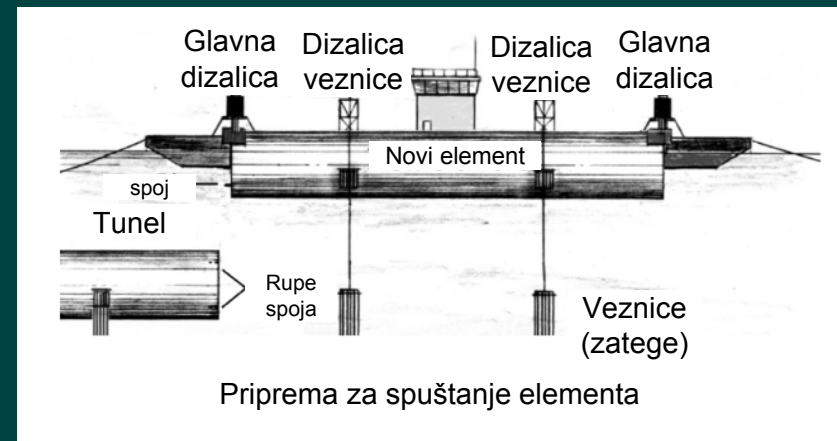
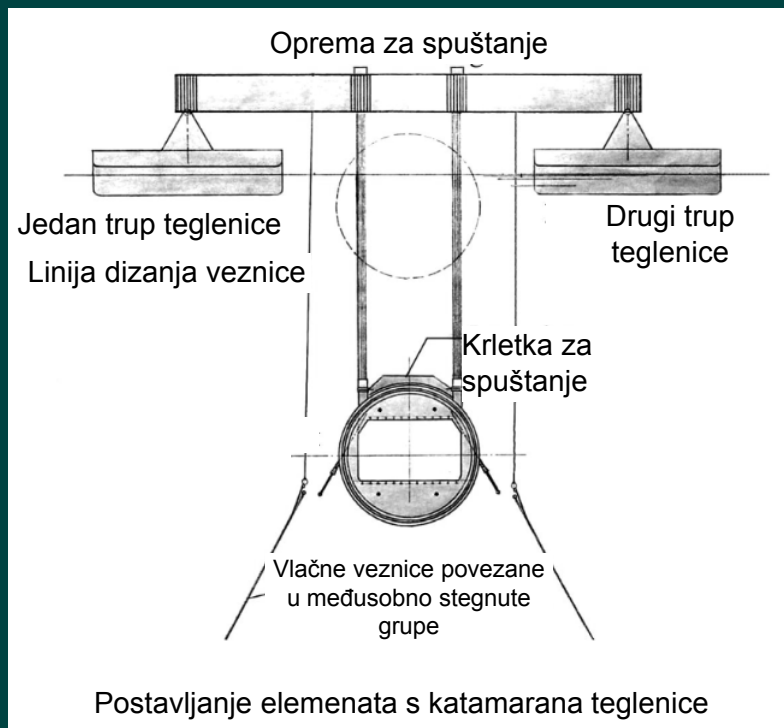
IZVEDBA PODVODNIH TUNELA

IZVEDBA

■ Dvije su osnovne metode izgradnje PPT-a:

1. Montažna gradnja

- Na lokaciji, elementi se uravnotežuju i spuštaju na željenu dubinu, gdje se vežu na već postojeće elemente posebno oblikovanim spojevima.
- Posebnu pozornost valja posvetiti postavljanju na klizištima, gdje se tlo treba učvrstiti.



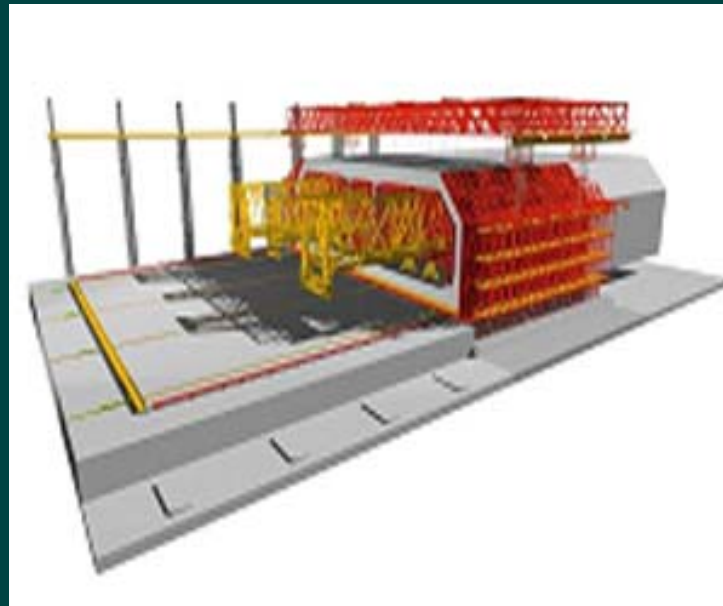
IZVEDBA PODVODNIH TUNELA

IZVEDBA

□ Dvije su osnovne metode izgradnje PPT-a:

2. Potiskivanje odsječaka

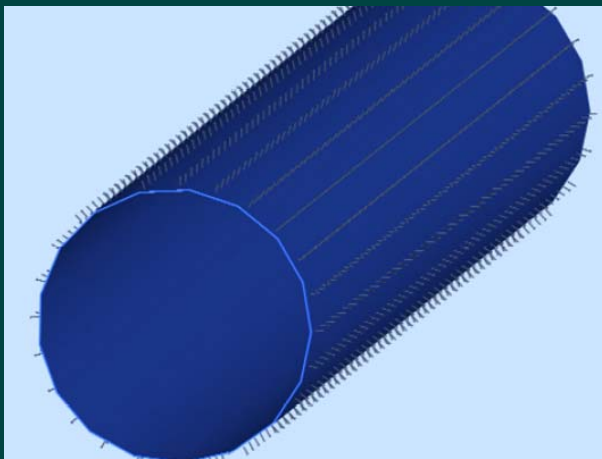
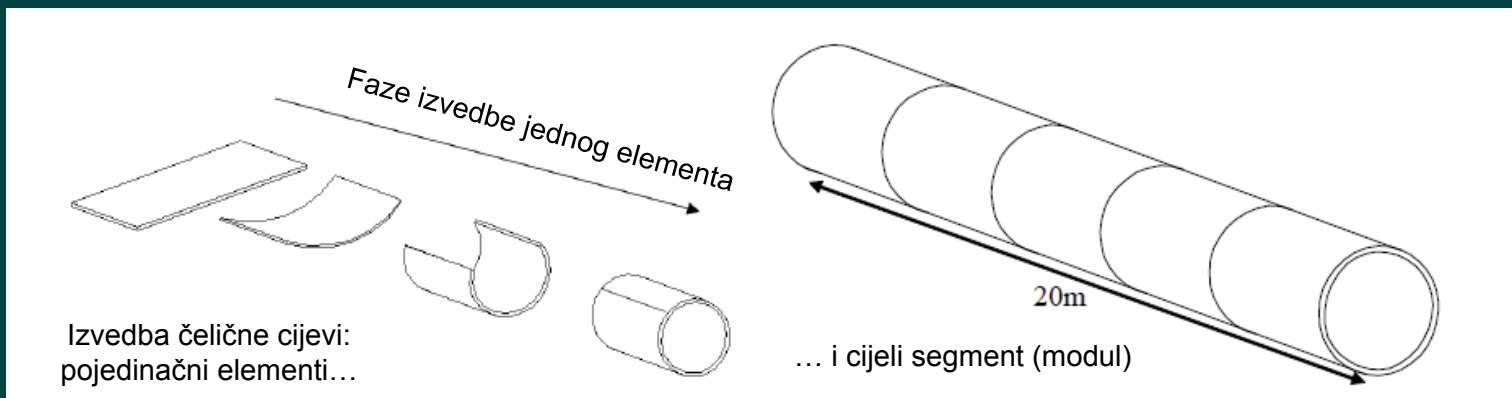
- Zahtijeva izvedbu s jedne strane na jednom upornjaku što podrazumijeva uvjete za veliko gradilište (prostor, materijal, obučeno osoblje).
- Cijev tunela se izvodi u odsječcima na nagnutom klizalištu kod upornjaka.
- Kada je završen jedan odsječak, cijev se pomiče naprijed u vodu za duljinu jednog odsječka.
- Sustav za privremeno pridržanje potreban je kako bi pod kontrolom držao dio cijevi koji je već u vodi, sve dok se dosege suprotna obala i instalira konačna potpora.



IZVEDBA PODVODNIH TUNELA

IZVEDBA

- *Moguća je i kombinacija ovih dviju metoda pri čemu se*
 - *elementi izvode na obali i*
 - *onda tegle do posebnog postrojenja za guranje koje se nalazi na jednom od upornjaka.*



Moždanici za ostvarenje spregnutog djelovanja čelika i betona



UPORABA I ODRŽAVANJE PODV. TUN.

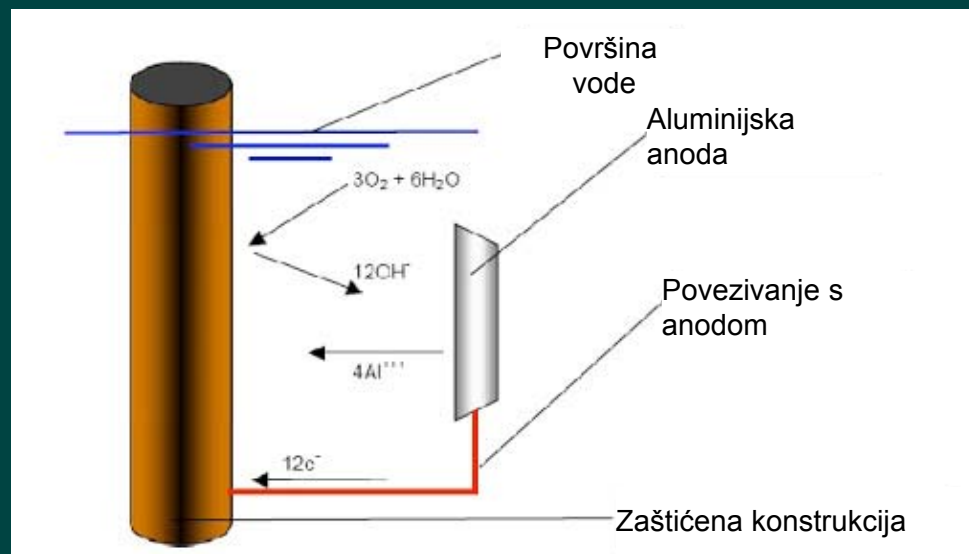
UPORABA I ODRŽAVANJE

- *Praćenje ponašanja (monitoring) tunela pri uporabi i održavanju nužan je kako bi se kontrolirale njihove mogućnosti i dobila iskustva za buduće projekte. Parametri koje treba promatrati jesu:*
 - *Parametri okoliša:*
 - *struje,*
 - *valovi,*
 - *temperatura,*
 - *gustoća vode;...*
 - *Parametre konstrukcije:*
 - *naprezanja,*
 - *deformacije,*
 - *statički i dinamički odgovor konstrukcije*
 - *Ponašanje materijala:*
 - *raspucavanje,*
 - *korozija,*
 - *rast morskog svijeta*
 - *Parametri funkcionalnosti:*
 - *promet,*
 - *temperatura,*
 - *podaci o opremi, ...*
 - *Parametri vezani uz učinke okoline (u i izvan tunela)*

UPORABA I ODRŽAVANJE PODV. TUN.

UPORABA I ODRŽAVANJE

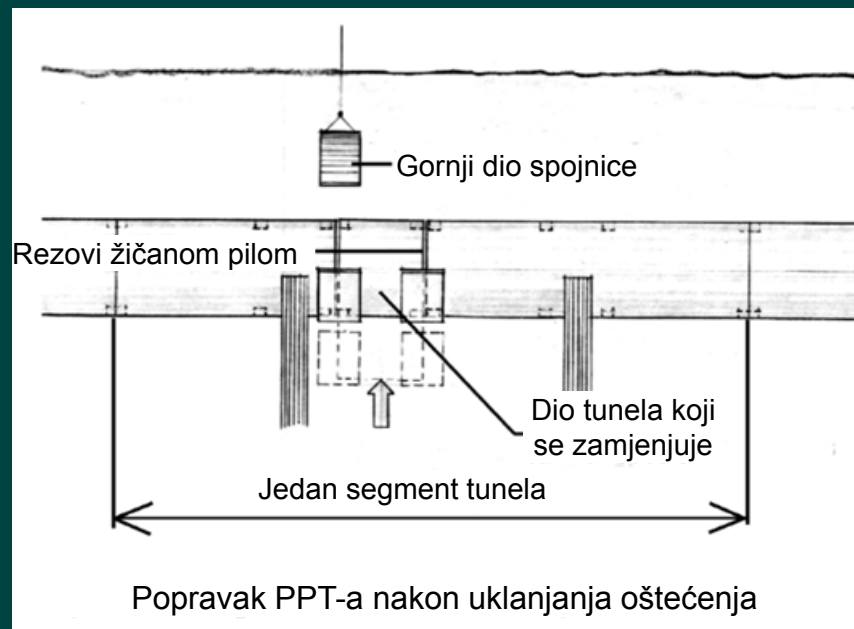
- Osim praćenja ponašanja (monitoringa) važno je pri uporabi i održavanju provoditi:
- Kontrolu prometa
 - Da bi se osiguralo da je promet u skladu s projektnim pretpostavkama, i u kvaliteti i u količini.
 - Dok se kontrola prometnih tijekova, kako bi se spriječili zastoji, u PPT-u lako provodi sa istim tehnikama koje se upotrebljavaju i kod uobičajenih tunela,
 - druge vrste vještina su potrebne kako bi se spriječio ulazak eksplozivnih sredstava u tunel.
- Zaštitu od korozije
 - U usporedbi s uobičajenim konstrukcijama najnesigurnije je upravo funkcioniranje zaštite od korozije i odgovarajuća ispitivanja vezana uz koroziju.
 - Za sada se iskustva vezana uz brodove i konstrukcije platformi mogu upotrebljavati kao polazna točka za definiranje i razvoj postupaka održavanja i ispitivanja.



UPORABA I ODRŽAVANJE PODV. TUN.

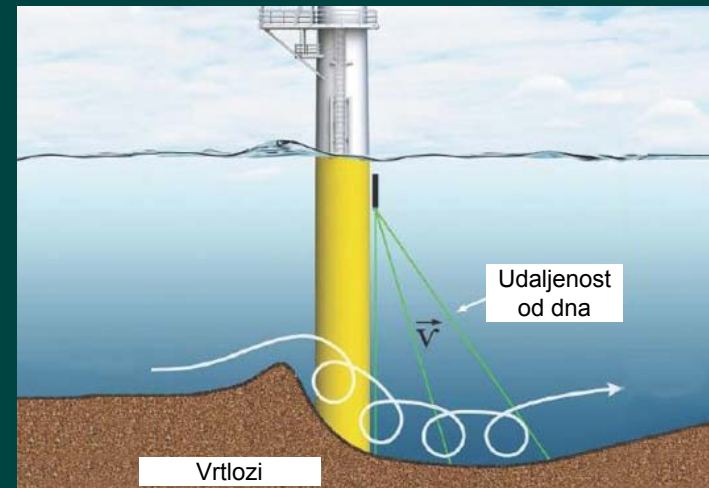
UPORABA I ODRŽAVANJE

- *Osim praćenja ponašanja (monitoringa) važno je pri uporabi i održavanju provoditi:*
- *Preglede i ispitivanja*
 - *Ponašanje konstrukcije koja je doživjela određeno oštećenje je nužno za odabir metode popravka.*
 - *U projektiranju valja predvidjeti da je oštećenje moguće u vijeku trajanja konstrukcije, i to na cijevi i na sustavu sidrenja.*
- *Popravke*
 - *Konstrukcija tunela mora biti u stanju podnijeti opterećenja koja se javljaju tijekom popravaka, (zamjena panela vanjske cijevi, zamjena sidrenih kabela, ...)*
 - *a poželjno je da se može koristiti tijekom popravka.*



SIGURNOST I UTJECAJ NA OKOLIŠ PODVODNIH TUNELA

- U pogledu sigurnosnih kriterija, PPT se može smatrati sličan sljedećim dvama tipovima konstrukcija:
 - Cestovni / željeznički tunel (pogotovu u pogledu prometa unutar tunela)
 - Konstrukcija udaljena od obale, "offsore" (pogotovo u pogledu ponašanja konstrukcije u uvjetima okoliša).
- Ipak kombinacija ovih dvaju tipova konstrukcija u PPT-u vodi inovativnom dizajnu koji zahtijeva dodatna istraživanja.
- Razine sigurnosti kod PPT-a moraju biti
 - barem jednake onima koje se koriste kod cestovnih ili željezničkih tunela,
 - ali često to nije dovoljno pa valja pažljivo razmotriti posebne zahtjeve sigurnosti i probleme osjetljivosti ovakvog tipa konstrukcija.



SIGURNOST I UTJECAJ NA OKOLIŠ PODVEDNIH TUNELA

- *Najvažnije pri projektiranju PPT-a je što valja prvenstveno*
 - *izbjeći prodiranje vode u područje odvijanja prometa u tunelu,*
 - *i pri uobičajenim uvjetima uporabe i pri ekstremnim uvjetima uslijed*
 - *djelovanja struja, potresa,*
 - *vanjskih incidentnih događaja (udari, ispadanje objekata) i*
 - *unutarnjih izvanrednih događaja (udari, eksplozije).*

- *Mjere za sprečavanje prodora vode su*
 - *Pasivne*
 - *npr. dvostruka cijevna konstrukcija koja će apsorbirati energiju udara te će se tako izbjeći otkazivanje konstrukcije i prodor vode u dio kojim se odvija promet*
 - *Aktivne*
 - *npr. sustavi za kontrolu prometa u tunelu (kontrola opasnih tvari u transportu) i na površini vode (kontrola brodova) kako bi se izbjegle nesreće.*

SIGURNOST I UTJECAJ NA OKOLIŠ PODVEDNIH TUNELA

- *Da bi se postigla željena razina sigurnosti primjenjuju se racionalne metode kao što su,*
 - *analiza pouzdanosti,*
 - *simulacijske tehnike,*
 - *modelska ispitivanja.*

- *Odgovarajuće potrebne razine pouzdanosti vezane su uz vjerojatnosti pojave određenih događaja i uz posljedice otkazivanja uslijed takvih događaja*
 - *u pogledu gubitka ljudskih života,*
 - *prodor vode u tunelsku cijev može izazvati gubitak stotine života, jer ljudi ne mogu pobjeći iz tunela pa su za ovaj događaj potrebne visoke razine pouzdanosti, odnosno minimalni rizik pojave.*

 - *ekonomskih gubitaka*
 - *uslijed prekida prometa ili uslijed potpunog otkazivanja funkcionalnosti konstrukcije mogu se zahtijevati i niže razine pouzdanosti odnosno mogu biti prisutni nešto veći rizici pojave.*

- *Sigurnosti u PPT-u valja pristupiti i u pogledu:*
 - *sigurnosti konstrukcije i*
 - *sigurnosti korištenja i*
 - *sigurnosti od namjernih napada (ratnih i terorističkih)*

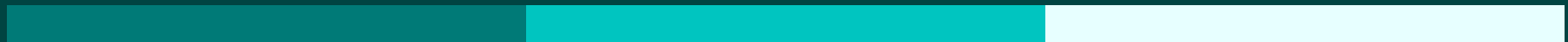
SIGURNOST I UTJECAJ NA OKOLIŠ PODVEDNIH TUNELA

- Ocjena utjecaja na okoliš obavezno se treba provesti za ovakav tip konstrukcije:
 - PPT može imati značajan utjecaj na blokiranje tokova vode, kad je njegova visina značajna u usporedbi s dubinom vode (u takvim uvjetima nije isplativ).
 - Kada je učinak blokiranja zanemariv, valja posebnu pozornost posvetiti različitim slojevima toka vode.
 - Npr. u fjordovima na dnu je teža solju zasićena vode, a pri površini lakša svježja voda pa PPT može poremetiti miješanje tih dvaju slojeva i tako utjecati na različite biološke vrste.
 - Problemi zagađenja zraka zbog ispušnih plinova vozila mogu se lako riješiti s odgovarajućom opremom, ali posebnu pozornost valja posvetiti utjecaju na biološke vrste
 - posebno tijekom faze izgradnje koja predstavlja veliki poremećaj prirodnih uvjeta.
 - Moguć je i negativan utjecaj na ribe zbog buke koja kroz cijev prolazi u vodu.



http://www.youtube.com/watch?v=YmD-cFfEi_w

SPECIJALNE INŽENJERSKE GRAĐEVINE



KRAJ