

Prof. dr. sc. Boris Beraković, dipl. ing. građ.

Prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ.

Prof. dr. sc. Marko Pršić, dipl. ing. građ.

HIDROTEHNIČKE GRAĐEVINE

Dio 1 PREGLED GRAĐEVINA I OSNOVE PRORAČUNA

22.02.2011.

Predmet: HIDROTEHNIČKE GRAĐEVINE

Studij: Preddiplomski

Smjer: Opći

Semestar: VI.

Fond sati: 45+0

Predavači: prof. Boris Beraković (1. i 3. dio), prof. Neven Kuspilić (1. i 2. dio) i
prof. Marko Pršić (1. i 4. dio), dr.sc. Eva Ocvirk (1. i 3. dio)

Poglavlja ovog separata

- 1.0 Uvod
- 1.1 Pregled hidrotehničkih građevina
- 1.2 Podloge za projektiranje hidrotehničkih građevina
- 1.3 Osnove za proračun hidrotehničkih građevina

Napisali: prof. Boris Beraković, prof. Marko Pršić, prof. Neven Kuspilić i
asist. Eva Ocvirk

Na uređenju sudjelovali demonstratori: Tomislav Šalamun

Sadržaj kolegija

DIO 1 PREGLED GRAĐEVINA I OSNOVE PRORAČUNA

- 1.0 UVOD
- 1.1 PREGLED HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA
- 1.2 PODLOGE ZA PROJEKTIRANJE HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA
- 1.3 OSNOVE ZA PRORAČUN HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA
 - 1.3.1 PRORAČUNI FUNKCIONALNOSTI
 - 1.3.2 PRORAČUNI KONSTRUKCIJE

DIO 2 GRAĐEVINE NA VODOTOCIMA

- 2.1 GRAĐEVINE ZA OBRANU OD POPLAVA
- 2.2 GRAĐEVINE ZA UREĐENJE RIJEČNOG TOKA
- 2.3 KANALI I GRAĐEVINE NA KANALIMA
- 2.4 CESTOVNI PROPUSTI I GRAĐEVINE ZA ODVODNJU CESTA

DIO 3 GRAĐEVINE ZA KORIŠTENJE VODA

- 3.1 CJEVOVODI I UREĐAJI NA NJIMA
- 3.2 HIDROTEHNIČKI TUNELI I UREĐAJI NA NJIMA
- 3.3 BRANE
- 3.4 AKUMULACIJE I UREĐAJI NA NJIMA
- 3.5 HIDROELEKTRANE

DIO 4 GRAĐEVINE VODNOG PROMETA

- 4.1 POMORSKE GRAĐEVINE
 - 4.1.1 Gibanja Mora
 - 4.1.2 Morski valovi (Idealni, Realni, Prognoze)
 - 4.1.3 Morske razine
 - 4.1.4 Lučke građevine
 - 4.2 BRODSKE PREVODNICE
-

SADRŽAJ

1.0	UVOD	1
1.1	PREGLED HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA	3
1.1.1	Općenito – definicije	3
1.1.2	Svrha izgradnje i korištenja hidrotehničkih građevina	3
1.1.3	Opći kriteriji izbora i izvedbe rješenja	8
1.1.4	Općenito o utjecaju hidrotehničkih građevina na okoliš	9
1.1.5	Sažetak pregleda hidrotehničkih građevina	10
1.2	PODLOGE ZA PROJEKTIRANJE HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA	11
1.2.1	Općenito	11
1.2.2	Potrebe – društvo	12
1.2.3	Priroda	13
	Voda	13
	Zemljište	19
	Geotehničke podloge hidrotehničkih građevina	22
	Zrak – klimatološka svojstva područja	24
	Ostale podloge vezane uz prirodu	25
	Umjetna priroda (postojeći i planirani zahvati)	25
1.3	OSNOVE ZA PRORAČUN HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA	26
	Uvod	29
1.3.1	Proračuni funkcionalnosti	33
1.3.2	Proračuni hidrotehničke konstrukcije	38
1.3.2.1	Proračuni fleksibilne hidrotehničke konstrukcije	38
1.3.2.2	Proračuni krute hidrotehničke konstrukcije	38
1.3.2.3	Klasifikacija djelovanja	50
1.3.2.4	Kombinacije djelovanja (bez provjere zamora)	56
1.3.2.5	Prikaz nekih promjenjivih djelovanja na obalnu konstrukciju u luci	61
1.3.3.	Proračun trajnosti	108

1.0 UVOD

Provedbena satnica

Redni broj predavanja	Nastavna jedinica	Opaska
1.	Uvod - svrha, definicije, podjele Podloge za projektiranje HG	Prof. Beraković, Ocvirk
2.	Vrste proračuna, proračun funkcionalnosti	Prof. Kuspilić
3.	Proračun konstrukcija, opterećenja	Prof. Pršić
4.	Proračun konstrukcija, opterećenja	Ocvirk
5.	1. kolokvij Obrana od poplava	1 h 2 h prof. Kuspilić
6.	Uređenje vodnog toka	Prof. Kuspilić
7.	Kanali i građevine na kanalima	Prof. Kuspilić
8.	Cestovni propusti, građevine za odvodnju cesta i ostale hidrotehničke građevine	Prof. Kuspilić
9.	Cjevovodi i hidrotehnički tuneli	Prof. Beraković, Ocvirk
10.	Brane	Prof. Beraković, Ocvirk
11.	Akumulacije. Hidroelektrane	Prof. Beraković, Ocvirk
12.	2. kolokvij Gibanja mora: općenito, morski valovi, idealni valovi	1 h 2 h Prof. Pršić
13.	Realni valovi. Prognoze valova. Projektni valovi. Morske razine.	Prof. Pršić
14.	Lučke građevine: vrste, lukobrani detaljno	Prof. Pršić
15.	3. kolokvij Brodске prevodnice	1 h 2 h prof. Pršić

Obvezna literatura:

Beraković B., Kuspilić N., Ocvirk E., Pršić M.: Hidrotehničke građevine; WEB skripta Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 2011

Link: <http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika>

Preporučena literatura:

Stojić P: Hidrotehničke građevine I, II, III, GF Split, 1997, 1998 i 1999;

Stojić, P.: Hidroenergetika, Građevinski fakultet, Split, 1995.

Nonveiller, E.: Nasute brane, Školska knjiga, Zagreb, 1983.

Design of Small Dams, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1977

Đorđević B: Korištenje vodnih snaga –objekti hidroelektrana; Naučna knjiga i GF Beograd, 1989,

Savić: Uvod u hidrotehničke građevine; Beograd, Građevinski fakultet, 2003

Pršić, M.: Hidrotehničke građevine, Poglavlja pomorskih građevina (web stranica)

Tadejević, z., Pršić, M.: Pomorska hidraulika I, skripta 1981.

Pršić, M., Tadejević, Z.: Unutarnji plovni putevi, skripta 1988

Dopunska literatura:

Žugaj, M.: Posebne analize u hidrotehnici, Građevinski institut, Zagreb, 1981.

Vuković, Ž.: Osnove hidrotehnike, Prvi dio, Druga knjiga, Akvamarine, Zagreb, 1996.

HRN U.C5.020. 1980.

Projektiranje nasutih brana i hidrotehničkih nasipa: Tehnički uvjeti

Hidroelektrane u Hrvatskoj, HEP D.D., Elektroprojekt, Zagreb, 2000.

Obaveze studenata

- Prisustvovanje predavanjima
- Studenti će biti podijeljeni u grupe za konzultacije tijekom semestra. Svi se studenti upućuju na korištenje tih konzultacija.
- Konzultacije su ponedjeljkom od 14 do 15 sati u kabinetima nastavnika
- Predviđena su tri kolokvija
 - 21. ožujka 2011. 11¹⁵ – 12⁰⁰
 - 09. svibnja 2011. 11¹⁵ – 12⁰⁰
 - 30. svibnja 2011. 11¹⁵ – 12⁰⁰
- Kriteriji
 1. Uvjeti za potpis najmanje 25% bodova po svakom kolokviju (popravni polažu oni koji nisu ostvarili taj uvjet na samo jednom kolokviju)
 2. Neopravdani izostanak s bilo kojeg kolokvija znači gubitak potpisa.
 3. Više od 60% bodova po svakom kolokviju – oslobađanje pismenog dijela ispita
- Svako prepisivanje na kolokviju znači 0 % bodova.
- Popravni kolokvij
 - 04. lipnja 2010. 11¹⁵ – 12⁰⁰

1.1 PREGLED HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA

1.1.1 Općenito – definicije

U složenicama «hidro» označuje odnos dotičnih riječi prema vodi (grčki hydor = voda).

Tehnika su sva oruđa i znanja proizvodnje koja su se povijesno razvijala i koja omogućuju čovječanstvu djelovanje na okolnu prirodu u svrhu ostvarenja svojih potreba (grčki technae = umjetnost, vještina).

Građevina je naša riječ i označava tvorevinu nastalu gradnjom, povezanom s tlom, a sastoji se od građevnog dijela i ugrađene opreme koji zajedno čine tehničko-tehnološku (proizvodnu) cjelinu. Danas su građevine složeni sklopovi s estetsko-funkcionalnim i tehničko-tehnološkim obilježjima.

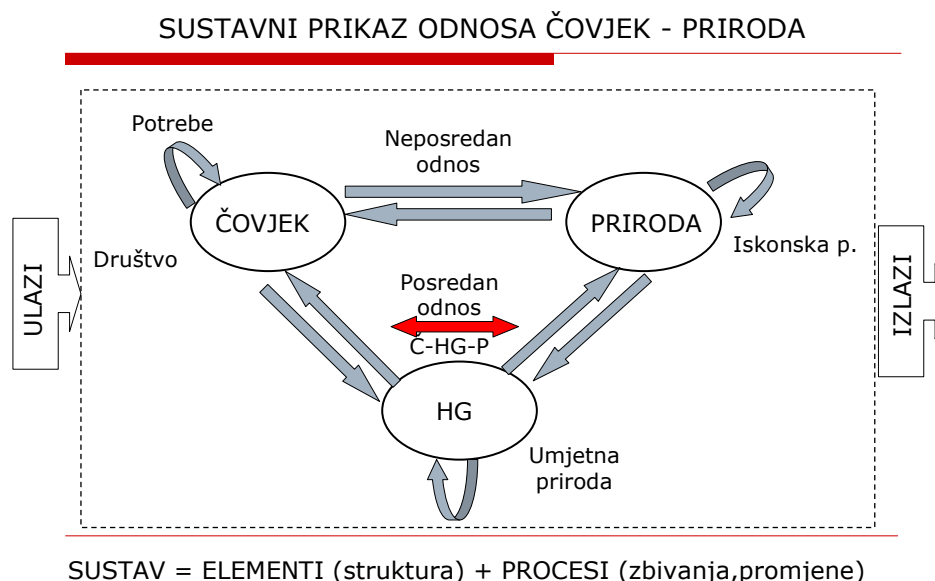
Sažimajući opisane pojmove u naziv kolegija može se reći:

Hidrotehničke građevine su dio građevinske struke koji se bavi svim pitanjima pripreme, izgradnje, održavanja i korištenja građevina kojima se s određenom svrhom djeluje na vode.

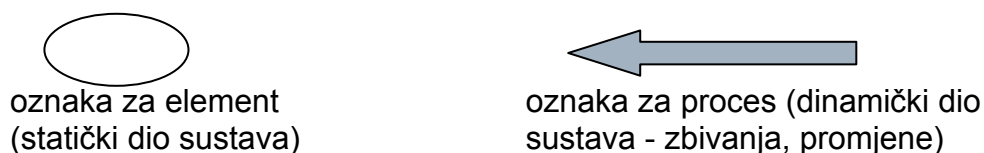
1.1.2 Svrha izgradnje i korištenja hidrotehničkih građevina

Pri proučavanju svakog zahvata pa tako i hidrotehničkih građevina bitno je utvrditi nužnost i svrhu građenja, a kod proučavanja hidrotehničkih građevina posebno je važno znanje i o vodama i načinu rada (funkcioniranju) građevina, koje se koriste.

U cilju boljeg razumijevanja uloge hidrotehničkih građevina daje se jednostavan sustavni prikaz odnosa čovjeka i vode.



Legenda



Slika 1. Sustavni prikaz odnosa čovjeka i vode

Voda se u primjerenim i nama potrebnim količinama nalazi jedino u prirodi. Nama je dostupna voda na površini i ispod površine Zemlje, dok nam voda u atmosferi nije neposredno dostupna. Voda se fizički dijeli, a time i posebno razmatra, na kopnene (unutarnje – površinske i podzemne) vode i more. U sustavnom prikazu voda se nalazi u elementu «priroda».

Sve aktivnosti, uključivo i građenje, poduzima čovjek (u širem smislu – čovječanstvo) s određenom svrhom, te je u danom prikazu izdvojen kao jedan element (dio) sustava.

Voda je jedan od preduvjeta života, te je neophodna čovjeku tijekom cijelog njegovog života. Sve svoje potrebe u odnosu na vodu čovjek može i rješava svojim odnosom prema prirodi gdje se ta voda nalazi. U prikazu taj odnos i međusobno djelovanje prikazano je strelicama. Jasno je da već dugo ne možemo naše potrebe u odnosu na vodu zadovoljiti neposrednim odnosom čovjek – priroda, te da koristimo različite građevine koje nam omogućuju zadovoljavajuće ali posredno uređivanje odnosa prema vodi u prirodi.

Pokretač svih aktivnosti nalazi se u društvu (čovjek), proizlazi iz procesa unutar društva, a manifestira se potrebama u odnosu na vodu. Potrebe možemo podijeliti u tri osnovne grupe potreba:

- korištenje voda
- zaštita od voda
- zaštita voda.

Korištenje voda je osnovna potreba, posebno korištenje vode za piće i u pripremi hrane, dok se zadovoljavanjem ostalih potreba održava i poboljšava postojeća kvaliteta života.

Korištenje voda podrazumijeva zahvaćanje, crpljenje i uporabu površinskih i podzemnih voda za različite namjene kao za:

- piće
- sanitarne potrebe:
 - osobne
 - zajedničke (održavanje čistoće naselja i sl)
 - posebne (održavanje čistoće u javnim prostorima (bolnice, škole, industrijska postrojenja i sl)
- pripremu hrane:
 - u procesu proizvodnje hrane (industrija i sl)
 - navodnjavanjem (povećanje proizvodne sposobnosti poljoprivrednog zemljišta)
- tehnološke potrebe (različita proizvodnja) u radnom procesu i/ili za hlađenje
- proizvodnju električne energije:
 - neposredno korištenje snage i energije vode
 - u procesu proizvodnje (para)
 - za hlađenje
- plovidbu:
 - pomorsku
 - unutarnju
- neposredni transport
 - transport roba (na pr. splavarenje drveta)
 - otpad
- odlaganje otpada (deponiranje otpada) (jezera i sl)
- uzgoj riba
- sport, rekreaciju, kupanje i sl.

Zaštita od voda nastaje kao potreba (problem) korištenjem prostora ugroženih djelovanjem voda (velike vode, bujice, područja podložnih vodnoj eroziji (koja je posljedica prirodnih procesa ili djelovanja samog čovjeka), led, suvišak vode na poljoprivrednim površinama, i sl), i kao potreba povrata korištenih voda u prirodu (odvodnja voda iz domaćinstva, industrije, naselja, prometnica i sl).

Zaštita voda kao potreba u nas nastala je u zadnjih 50-tak godina kao posljedica vrlo intenzivnog djelovanja čovjeka posebno na kvalitet (kakvoću) vode. Ova je potreba nastala zbog ugrožavanja vodnog blaga (vodnog resursa) kojeg u pravilu ne ugrožavaju hidrotehnički zahvati već prvenstveno druge aktivnosti kao izgradnja i korištenje prostora, te različite industrije i proizvodni pogoni. Provodi se radi očuvanja života i zdravlja ljudi, zaštite okoliša i omogućavanje neškodljivog i nesmetanog korištenja voda za različite namjene.

Opći pregled rješenja i hidrotehničkih građevina

Potrebe korištenja voda i zaštita od voda prvenstveno se rješavaju izgradnjom hidrotehničkih građevina, a zaštita voda rješava se nizom mjera i aktivnosti u društvu (politika odnosa prema vodi, nadzor nad stanjem kvalitete vode i izvorima zagađenja,

sprečavanje, ograničavanje i zabranjivanje radnji koje mogu utjecati na onečišćenje voda i stanje okoliša u cjelini, te druga djelovanja usmjerena na očuvanje i poboljšanje kvalitete i namjenske uporabivosti voda) i dijelom izgradnjom hidrotehničkih građevina (uređaji za pročišćavanje voda).

Obzirom na stalan rast potreba u odnosu na vode, te ograničene količine i različitu kvalitetu vode danas se u pravilu primjenjuju **višenamjenska rješenja**, kojima se zadovoljavaju sve potrebe, koje je moguće zadovoljiti planiranom primjenom takvog rješenja.

U pravilu svako hidrotehničko rješenje sastoji se od barem jedne hidrotehničke građevine. **Najčešće se rješenja sastoje od većeg broja hidrotehničkih građevina međusobno povezanih u jedinstvenu, funkcionalnu cjelinu.** Pri tome svaka građevina ovisno o dijelu zadatka koji ispunjava rješava se samostalno i povezuje s ostalim građevinama u funkcionalnu cjelinu (hidrotehnički sustav).

Prioritet u gospodarenju vodama daje se snabdijevanju vodama i to prvenstveno snabdijevanju stanovništva vodom za piće, čime se ostvaruju osnovni uvjeti za život. Snabdijevanje vodom ostvaruje se vodoopskrbnim sustavom, koji se sastoji od građevina i mjera povezanih u funkcionalnu cjelinu s osnovnim ciljem osiguranja dovoljne količine vode odgovarajuće kvalitete. Osnovne građevine vodoopskrbnog sustava su vodozahvat (zahvaćanje vode iz prirodnih izvorišta), crpne stanice, uređaji za kondicioniranje (obradu, pripremu vode odgovarajuće kvalitete), vodospreme (rezervoari), glavna (magistralna) i razdjelna (distributivna) vodoopskrbna ili vodovodna mreža s pratećim građevinama.

Nastavno na vodoopskrbni sustav veže se sustav odvodnje naselja, koji se sastoji od građevina i mjera povezanih u funkcionalnu cjelinu s osnovnim ciljem odvođenja i pročišćavanja otpadnih voda (voda korištenih vodoopskrbnim sustavom) te njihovim ispuštanjem u prirodu nakon pročišćavanja na tehnički i ekonomski prihvatljiv način.

Vodoopskrbni sustav i sustav odvodnje naselja obrađuju se u okviru **zdravstvene hidrotehnike**, dok se ostali sustavi obrađuju u sklopu **vodnogospodarske hidrotehnike**.

U ovom kolegiju – Hidrotehničke građevine – obrađuju se građevine i sustavi koji su razvrstani u područje vodnogospodarske hidrotehnike. Sustavi zdravstvene hidrotehnike obrađeni su u izbornom predmetu (Opskrba vodom i odvodnja 1; II godina, 4. semestar), a detaljnije se obrađuje u diplomskom sveučilišnom studiju na smjeru hidrotehnik, te se ne obrađuju dalje u okviru ovog kolegija. Neke od građevina koriste se u obje grupe (na pr. provodnici i sl), te se odgovarajuće obrađuju u ovom ali i u kolegiju Opskrba vodom i odvodnja.

Hidrotehničke se građevine mogu razvrstati na osnovi više kriterija u grupe sličnih svojstava, te zatim detaljnije obraditi njihova osnovna svojstva, oblikovanje, dimenzioniranje, način građenja i odnos prema drugim građevinama, prirodi i čovjeku.

Razvrstavanje se može provesti na osnovi konstrukcije građevine, svrsishodnosti (funkcionalnosti), materijala od kojeg se izvodi, položaja (površinske, podzemne građevine), veličini, utjecaju na okoliš, na osnovi sustava u kojem se koriste i t.d. U uvodu daje se prvenstveno podjela prema funkcionalnosti, a u okviru kolegija koristit će se i ostali kriteriji podjele u cilju boljeg proučavanja hidrotehničkih građevina.

Jedna od najšire korištenih građevina je **akumulacija**, koja se koristi za pohranjivanje voda (skladištenje) u vrijeme kada je ima u izobilju (u odnosu na potrebe) i koje se mogu koristiti u vrijeme nedostatka vode. Akumulacije se izvode u dolinama vodotoka ili u prikladnom prostoru za razliku od rezervoara koji su u cijelosti građevine koje služe također za pohranjivanje voda. Rezervoari se kao građevine obrađuju u okviru vodoopskrbnih sustava.

Vrlo je slična funkciji akumulacije **retencija** koja služi za pohranjivanje voda samo u vrijeme poplavnih voda i njihovo ispuštanje u vodotok nakon prolaska velikih voda. Obje se građevine ostvaruju izgradnjom **brana** s odgovarajućim uređajima i opremom.

Osim ostvarenja akumulacija i retencija branama i **ustavama** omogućuje se zahvaćanje vode za različite svrhe, preusmjerenje toka vode, razdioba i upravljanje vodama. Brane i ustave opremljene su odgovarajućim građevinama i opremom kojom se omogućuje ostvarenje svrhe tih građevina (**preljevi, ispusti, hidromehanička oprema**). Sličnih su svojstava i **nasipi**, koji se koriste za sprečavanje plavljenja branjenih površina. U sklopu nasipa se također ugrađuju odgovarajuće građevine (na pr. **čepovi** i sl).

Voda se od mjesta zahvata do mjesta korištenja dovodi provodnicima, koji se koriste i za distribuciju 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 cjevovode**. Kanali se mogu koristiti i za prikupljanje voda s tala s viškom vode i tada se primjereno toj svrsi i rješavaju. Uz kanale za odvodnju (dreniranje) viška vode iz tala koriste se **podzemne drenaže**. Na provodnicima se izvode odgovarajuće građevine i ugrađuje prema potrebi oprema.

U sklopu uređenja vodotoka i zaštite od fluvijalne erozije koriste se **regulacijske i obalne građevine, bujične pregrade, hidrotehničke stepenice** i ostale građevine uređenja sliva.

U cilju korištenja voda za proizvodnju električne energije osim drugih građevina izvodi se **strojarnica** u kojoj se smješta sva oprema za proizvodnju i predaju energije u mrežu. U sklopu rješenja melioracijske odvodnje, navodnjavanja i ribnjaka uz ostale građevine koriste se i **crpne stanice, zahvati voda i taložnice**.

Posebnu grupu građevina čine manje građevine kao na pr: **propusti, čepovi, sifoni** i druge građevine za odvodnju prometnica.

Također zasebnu grupu čine građevine za vodni promet roba i ljudi kao što su: **pomorske lučke građevine** (lukobrani, kejovi, obaloutvrde, brodske prevodnice) i **građevine unutarnje plovidbe** (lučki bazeni i kejovi, unutarnji plovni kanali, brodske prevodnice, akvedukti, plovni tuneli).

U sklopu korištenja voda za sport i rekreaciju grade se **marine, plivački bazeni**, uređuju **plaže**, izvode **veslačke i kajakaške staze, akvagani** i sl. Obzirom na traženu kvalitetu vode koriste se i građevine za kondicioniranje voda.

1.1.3 Opći kriteriji izbora i izvedbe rješenja

Prilikom pripreme i osmišljavanja rješenja kojima se može zadovoljiti uočena potreba sa stajališta voda (što se može poopćiti i na svaki građevinski poduhvat) neophodno je: prvenstveno **sagledati potrebe** i izabrati odgovarajuću građevinu ili skup građevina koje međusobno povezane u **funkcionalnu cjelinu** omogućuju zadovoljenje potreba (uzimajući u obzir postojeće, izgrađene, sustave ponekad se potrebe mogu zadovoljiti poboljšanjem ili dogradnjom tih sustava, te to treba uzeti u obzir pri izboru rješenja).

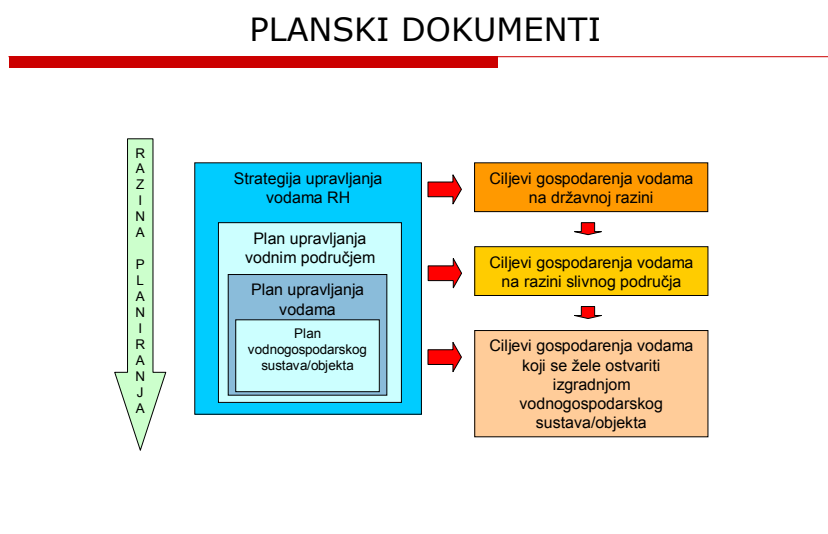
Izbor odgovarajućih rješenja neposredno je ovisan od svojstava sredine u koju se planira unijeti rješenje (priroda, izgrađeni prostori), raspoloživosti vode, mogućnosti temeljenja, raspoloživosti materijala za građenje, mogućnosti izgradnje **nosive (stabilne i čvrste), uporabljive (nedeformabilne) i trajne** građevine **pouzdana u korištenju**.

Budući da se hidrotehničkim zahvatima neposredno mijenja stanje vode u prirodi što posredno djeluje na stanje okoliša manje ili više intenzivno (manje ili više značajno), razmatraju se ona moguća rješenja, koja su **ekološki prihvatljiva** – rješenja koja podržavaju održivi razvoj.

Kako su hidrotehnički zahvati u funkciji razvoja društva neophodno je **uskладiti rješenja** s ostalim sudionicima izgradnje i korištenja raspoloživih bogatstava (prvi je korak u usklađivanju vezan na prostorno – plansku dokumentaciju).

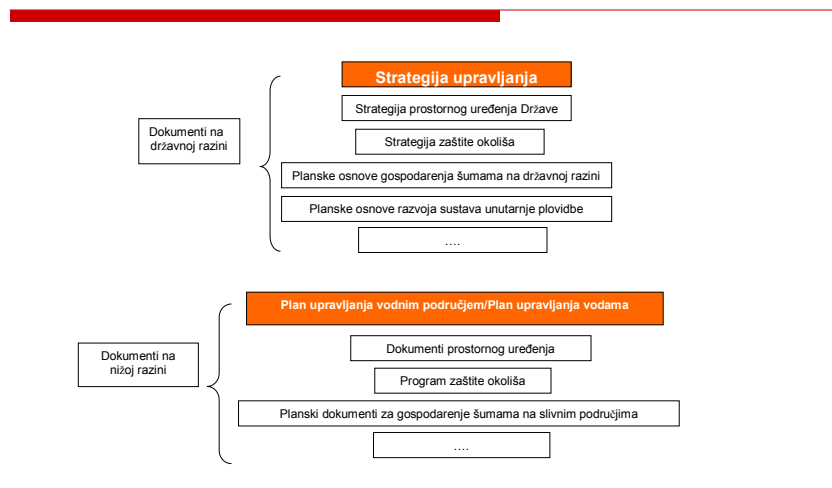
Ne manje važno je pripremiti **ekonomski prihvatljiva** rješenja.

Voda je opće nacionalno blago zaštićeno ustavom i odgovarajućim zakonima i propisima kojima se reguliraju odnosi prema vodi i propisuje način gospodarenja vodama odnosno zaštite voda, korištenja voda i zaštite od voda. U tom smislu svaki zahvat mora se uklopiti u planske dokumente više razine. Na slici 2 prikazane su osnovne razine planiranja u vodnom gospodarstvu Hrvatske, a na slici 3 povezanost planskih dokumenta s ostalim učesnicima razvoja društva.



Slika 2: Osnovne razine planiranja u vodnom gospodarstvu Hrvatske

Usklađenost planskih dokumenata za gospodarenje vodama s ostalim



Slika 3: Povezanost planskih dokumenta s ostalim učesnicima razvoja društva

Pri planiranju, izgradnji i korištenju hidrotehničkih građevina u sklopu hidrotehničkog sustava kao i kod drugih zahvata obavezno se primjenjuju odgovarajući zakoni, propisi i norme počevši od Zakona o prostornom uređenju i gradnji. Pri tome su kao bitni zahtjevi za sve građevine postavljeni mehanička otpornost i stabilnost, zaštita od požara, higijena, zdravlje i zaštita okoliša, sigurnost u korištenju, zaštita od buke, ušteda energije i toplinska zaštita.

1.1.4 Općenito o utjecaju hidrotehničkih građevina na okoliš

Briga o okolišu sve je značajnija, te se pri osmišljavanju, građenju i korištenju svih zahvata pa tako i hidrotehničkih posebno razmatra utjecaj na okoliš i ocjenjuje prihvatljivost zahvata. Utjecaji hidrotehničkih građevina i sustava koje čine razlikuju se od građevine do građevine i od sustava do sustava, te će se u okviru razmatranja pojedinih građevina ukazati i na moguće djelovanje tih građevina.

U uvodnom dijelu može se samo općenito naznačiti područja utjecaja koja su vezana s hidrotehničkim zahvatima.

Utjecaji se mogu i dijele se na osnovi različitih kriterija. Kao prvo utjecaji mogu biti neposredni (direktni) i posredni (indirektni). Neposredni utjecaji hidrotehničkih građevina odnose se na djelovanje na zemljište i vode (površinske i podzemne). Ostali utjecaji proizlaze iz tih neposrednih utjecaja.

Prema sustavnom prikazu (slika 1) uočavaju se svi utjecaji koji se moraju sagledati:

- utjecaj na prirodu

- utjecaj na čovjeka i
- utjecaj na postojeće izgrađene prostore i građevine.

U okviru prirode razmatra se utjecaj na vode, zemljište (neposredan utjecaj), te na zrak, živi svijet u vodi, neposredno uz vodu i u širem okolišu zahvata (biljni i životinjski; uključivo šume i poljoprivredne površine) i prirodne vrijednosti (posredni utjecaj).

Hidrotehničke se građevine grade za zadovoljavanje potreba u vezi s vodom, pri čemu ta potreba ne mora biti vezana isključivo na potrebe stanovnika koji žive u utjecajnom području građenja. U tom smislu utjecaj može biti psihološki (pojedinačno), sociološki (društvo) i gospodarski.

Nadalje se razmatra utjecaj na postojeće izgrađene prostore i građevine, kao što su naselja, komunikacije, ostala infrastruktura (na pr. plinovodi, naftovodi, dalekovodi) i sl. Također se razmatra i utjecaj na kulturnu i povijesnu baštinu.

Utjecaji mogu biti pozitivni, neutralni ili negativni, prihvatljivi i neprihvatljivi, značajni ili zanemarivi, kratkotrajni ili dugotrajni. Utjecaji ovise osim o samoj građevini i njenom povezivanju u sustav i o veličini zahvata te načinu rada. Posebno se razlikuju utjecaji u vrijeme pripreme izgradnje zahvata, za vrijeme građenja, u vrijeme korištenja i nakon prestanka korištenja sustava.

Osim utjecaja građevina na okoliš postoji i utjecaj okoliša na građevine, te se izloženim slijedom može govoriti o utjecaju prirode, čovjeka i izgrađenih zahvata na planirani hidrotehnički zahvat.

1.1.5 Sažetak pregleda hidrotehničkih građevina

Hidrotehničke građevine su dio građevinske struke koji se bavi svim pitanjima pripreme, izgradnje, održavanja i korištenja građevina kojima se s određenom svrhom djeluje na vode u cilju zadovoljenja potreba vezanih s vodama.

Hidrotehničke građevine međusobno povezane u funkcionalnu cjelinu u cilju zadovoljenja potreba vezanih s vodama čine hidrotehnički sustav.

U okviru kolegija Hidrotehničke građevine obrađuju se građevine koje se koriste u vodnogospodarskoj hidrotehnici.

Hidrotehničke građevine se izvode prvenstveno u prirodi, gdje se nalazi voda, moraju se odgovarajuće temeljiti, koriste se različiti materijali pri građenju, moraju zadovoljiti određene kriterije i moraju biti isplative.

U okviru ovog kolegija prvenstveno se obrađuje funkcionalnost pojedinih građevina, njihova konstrukcija, osnovne provjere stabilnosti, način izgradnje posebno sa stajališta izgradnje u suhom i u vodi (stajaloj ili tekućoj). Dio znanja koje je također značajno sa stajališta pripreme, izgradnje i korištenja hidrotehničkih građevina dan je u kolegijima koji su već odslušani (na pr. mehanika, otpornost materijala, građevna statika, mehanika tla i stijena, geotehničko inženjerstvo, geodezija, gradiva).

1.2 PODLOGE ZA PROJEKTIRANJE HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA

1.2.1 Općenito

U cilju pripreme, izvedbe i korištenja hidrotehničkih sustava i građevina koje ih čine neophodno je poznavanje odgovarajućih svojstava društva (element čovjek u sustavnom prikazu odnosa čovjek – voda, slika 1), prirode i postojećih i planiranih zahvata (umjetne prirode – dijela koji je nastao ili se očekuje da će se ostvariti djelovanjem čovjeka). Ta znanja su polazišta ili podloge za ostvarenje hidrotehničkih građevina.

Polazišta ili podloge prvenstveno čine raspoloživi i dostupni materijali, koji se obrađuju i pohranjuju u različitim službama i institucijama. Na primjer osnovni podaci o društvu i stanju društva nalaze se u Zavodu za statistiku RH. U Geodetskoj upravi nalazi se sav osnovni kartografski materijal o Hrvatskoj. Osnovni meteorološki i hidrološki podaci nalaze se u Državnom hidrometeorološkom zavodu Hrvatske (DHMZ), a podaci o moru u Hrvatskom hidrografskom institutu. Katastar geoloških, hidrogeoloških i sličnih istraživanja nalazi se u Geološkom institutu. Raspoloživi i dostupni materijali u pravilu nisu za konkretne zahvate dovoljni, te se u prvom koraku provode dopunske obrade i studije (ocjena raspoloživih i dostupnih podloga). Najčešće je potreban i slijedeći korak (kod većih je zahvata taj korak u pravilu potreban) u kojem se na osnovi programa, koji izrađuje projektant, provode dopunska istraživanja u prirodi, laboratoriju i modeliranjem (matematički i fizikalni modeli). Što je zahvat složeniji i priprema je podloga složenija, potreban je veći opseg istraživanja, istraživanja su složenija, te je potrebno više vremena i sredstava. Takve detaljne podloge (a tih je kod HG većina) moraju se posebno naručiti, uz značajno plaćanje, a za što projektant treba napraviti program uređenja postojećih podataka ili program istraživanja nedostajućih podataka.

Svaki zahvat u prirodi, pa tako i hidrotehničke građevine, može se izvesti samo u skladu s dokumentima prostornog uređenja, te ti dokumenti čine jednu od osnovnih podloga. Pri tome se ti dokumenti tijekom vremena mogu mijenjati i prilagođavati novim spoznajama i potrebama.

U procesu pripreme izgradnje i početka korištenja važno je istaknuti tri osnovna koraka u kojima se od nadležnih institucija ishode određene dozvole.

Lokacijska dozvola, kojom se utvrđuju uvjeti pod kojim se dozvoljava izvedba zahvata. Kao jedna od podloga za izdavanje lokacijske dozvole izrađuje se idejni projekt planiranog zahvata, te provodi procjena utjecaja na okoliš. Dio lokacijske dozvole su i vodnogospodarski uvjeti.

Građevinskom dozvolom, koja se izdaje na osnovi glavnog projekta, potvrđuje se da je rješenje izrađeno u skladu s lokacijskom dozvolom i da se može pristupiti građenju. Sastavni dio je i vodnogospodarska suglasnost.

Uporabna dozvola se izdaje nakon potpune izgradnje i pripremljenosti zahvata za korištenje, a prije početka korištenja. Njom se utvrđuje da je zahvat izveden u skladu s građevinskom dozvolom i da je prikladan za upotrebu.

Za svaku razinu razrade rješenja od studije, idejnog rješenja, idejnog, glavnog i izvedbenog projekta pripremaju se i koriste odgovarajuće podloge. Dio podloga zadovoljava i na osnovnoj razini (planovi razvoja i sl) dok se veći dio podloga mora posebno pripremati i obraditi. Na primjer, meteorološke i hidrološke podloge u pravilu je potrebno posebno obraditi, a ponekad su potrebna i posebna i naknadna mjerenja (pogotovo kod velikih zahvata kod kojih priprema traje veći broj godina). U pravilu se mora detaljno snimati teren u području zahvata. Također se u pravilu moraju provesti i geomehanička istraživanja u području zahvata. Ovisno o veličini zahvata i utjecaju na okoliš pribavljaju se i obrađuju i druge podloge.

1.2.2 Potrebe – društvo

Pokretač svih aktivnosti u ostvarenju hidrotehničkih sustava odnosno građevina koje ih čine su **potrebe** koje treba zadovoljiti, te je to i početno saznanje ili podloga. Potrebe nastaju (generiraju se) u društvu (čovjek), te je neophodno sagledati koje su to potrebe, kakve su današnje i buduće potrebe, u kojoj mjeri su životne (bitne za osiguranje života i dostignute kvalitete života kao i bitne za poboljšanje kvalitete života). Dio tih spoznaja proizlazi iz znanja o stupnju zadovoljenja potreba postojećim hidrotehničkim sustavima i znanja o planiranom razvoju društva. Potrebe se razmatraju sa stajališta svih odnosa čovjeka prema vodama, sa stajališta korištenja voda, zaštite od voda i zaštite voda. Razmatra se količina i kvaliteta potrebnih voda odnosno voda koje se ispuštaju ili planira ispustiti u prirodu. Potrebe u odnosu na vodu prvenstveno se sagledavaju u državnim ustanovama zaduženim za vode, kao i u organizacijama koje koriste vodu, koje su ugrožene od voda ili provode zaštitu od voda i koje su zadužene za zaštitu voda. Dio spoznaja nalazi se u planskim dokumentima. Kako se hidrotehnički sustavi izvode za buduću upotrebu bitna je spoznaja o potrebama u budućnosti. Hidrotehnički sustavi su u pravilu dugovječni, te i projekcije budućih potreba moraju odgovarati razdoblju planiranja. Očigledno je da se u pripremi hidrotehničkih sustava osim prikupljanja poznatih spoznaja provode i obrade (studije) kojima se procjenjuju potrebe u budućnosti, koje nisu dostupne u postojećoj dokumentaciji. Specifikum su građevine vodnog prometa čije se potrebe sagledavaju u prometnim planovima, ili Prometnim studijama. Taj segment pokriva prometna struka.

Kao i kod svakog zahvata u prirodi tako i kod planiranja, izgradnje i korištenja hidrotehničkih sustava nužno je poznavanje i primjena pozitivnih (važećih) propisa, kojima se utvrđuje pod kojim uvjetima i na osnovi koje se dokumentacije može započeti gradnja i koristiti izvedeno rješenje. Jedan od osnovnih dokumenata koji utvrđuje namjenu prostora i uvjete njegovog korištenja je plansko-prostorna dokumentacija. U slučaju da planirani hidrotehnički zahvati nisu utemeljeni u prostorno-planskoj (PP) dokumentaciji neophodno je pokrenuti postupak izmjene i dopune te dokumentacije kao dio u rješavanju problema zadovoljenja potreba. Neki od relevantnih dokumenata prostornog uređenja realiziraju se na državnoj razini i donosi ih Sabor RH su:

- Strategija prostornog uređenja RH
- Program prostornog uređenja RH
- Prostorni planovi područja posebnih obilježja
- Strategija upravljanja vodama RH
- Strategija prometnog razvitka RH i td.

Slijedeća su razina Županijski prostorni planovi (tekstualni i grafički dio) javno dostupni na internetu, a slijede prostorni planovi uređenja grada, općine, urbanistički planovi uređenja i detaljni planovi uređenja.

Svaki zahvat je nužno sagledati sa stajališta svih odnosa (čovjek – priroda – umjetna priroda), pri čemu se za zahvate za koje se očekuje značajnije djelovanje na okoliš propisuje kao obaveza procjena utjecaja na okoliš, koja se radi na osnovi studije o utjecaju na okoliš (SUO).

Prostorni planovi svih razina imaju snagu zakona i kod planiranja i izvođenja građevina obavezno i doslovno ih se mora poštivati!

1.2.3 Priroda

Priroda se može proučavati kroz njenu građu (strukturu) i procese koji su u njoj prisutni, te procese (djelovanje) u odnosu na čovjeka (društvo) i umjetnu (izgrađenu) prirodu.

Procesi se sagledavaju u vremenu, te možemo razlikovati zbivanja koja se ostvaruju u nama vidljivim vremenskim jedinicama (deseci, stotinjak godina i manje), i zbivanja koja se ostvaruju u dugim vremenskim jedinicama (stotine tisuća i milijuni godina) i s našeg današnjeg stajališta i stajališta planiranih zahvata ne razmatraju se kao procesi.

Primjer prvog procesa je kružni tok vode, koja pod djelovanjem sunčeve energije hlapi sa površine Zemlje, diže se u atmosferu, kondenzira, pod djelovanjem sile teže pada na površinu zemlje, te se površinom i podzemno kreće prema morima i oceanima. Taj se ciklus ostvaruje oko 40-tak puta godišnje i značajno je svojstvo vode u prirodi – obnovljivo blago (resurs).

Kao primjer drugog procesa može se spomenuti dio geoloških procesa. Oblik i struktura tla u nas je nastala tijekom geološke prošlosti i danas se može smatrati kao nepromjenjivo svojstvo. Iznimku čine procesi erozije površine, krške pojave, promjene koje nastaju djelovanjem vode i vjetra, te čovjeka i koje se moraju uzeti u obzir. Također iznimku čine neotektonske aktivnosti, koje povremeno uzrokuju potrese i time dodatno opterećuju građevine i ugrožavaju njihovu stabilnost, te i njih treba uzeti u razmatranje.

Voda

Voda predstavlja osnovni medij kojim se bavi hidrotehnička praksa, te je posebno značajno poznavanje svojstava vode i njene pojave u prirodi.

Nama je dostupna površinska i podzemna voda, naše potrebe se zadovoljavaju u rješavanju odnosa s tom vodom pa su potrebna znanja o tim vodama.

Osnovno je poznavanje količine i kvalitete vode u prostoru i vremenu. Budući da je proces kretanja vode u prirodi vrlo intenzivan i da se stanje voda praktično mijenja iz trenutka u trenutak neophodno je stalno promatranje stanja vode.

Osim hidrotehničkim građevinama na kontinentu hidrotehnička se praksa bavi i pomorskim građevinama, te je s tog stajališta potrebno poznavanje i ponašanja mora i oceana u obalnom području, prvenstveno razine mora i valova kao i vjetrova koji generiraju valove.

Voda u prirodi djeluje i na sredinu u kojoj se kreće ili nalazi i to djeluje kroz procese fizičkog, kemijskog i biološkog djelovanja, što je također potrebno poznavati. Osim djelovanja na prirodu voda djeluje i na samog čovjeka i umjetnu prirodu, te je i ta spoznaja nužna u postupku rješavanja odnosa s vodom.

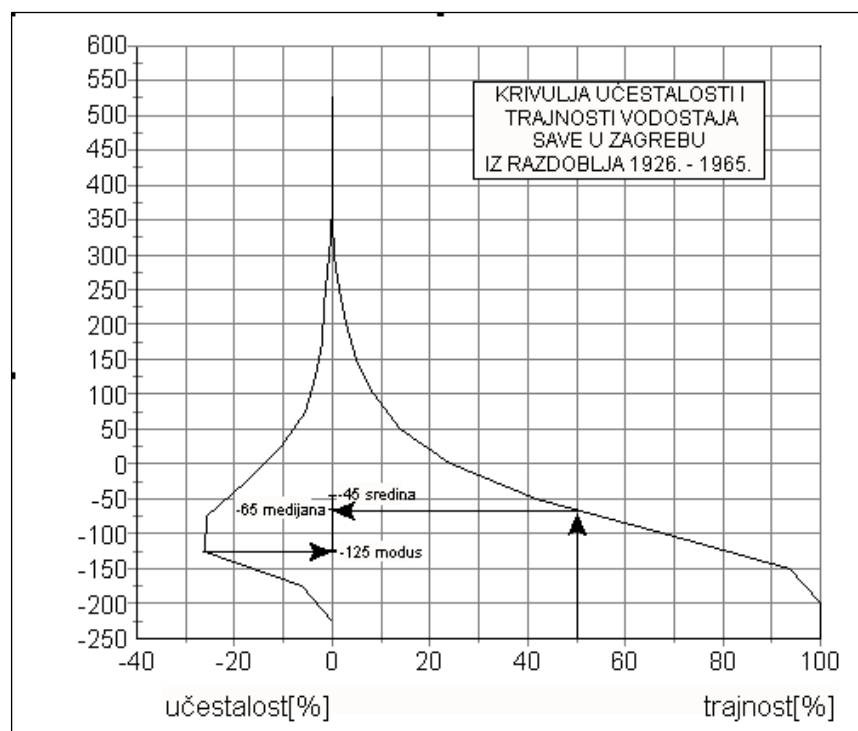
Promatranjem voda u prirodi i proučavanjem procesa i zakonitosti kretanja, stanja vode i djelovanja voda bave se slijedeće znanstvene grane: mehanika (mehanika tekućina), geofizika (hidrologija, meteorologija, oceanologija), geologija (hidrogeologija) i građevinarstvo (sanitarna hidrotehnika). Budući da su u ranijim kolegijima (osim oceanologije) obrađena ova područja, u okviru kolegija hidrotehničke građevine polazi se od pretpostavke da su ta znanja usvojena i primjenjuju se u onoj mjeri koliko je to potrebno, dok su potrebna znanja iz područja oceanologije dana u okviru ovog kolegija.

Osnovna hidrolška svojstva su vodostaji, protoci, nanos, pojava leda, temperatura vode. Poznavanje zakonitosti pojave u prostoru i vremenu neophodno je zbog planiranja, izgradnje i korištenja hidrotehničkih sustava.

Osnovne hidrolške podloge na jednom proticajnom profilu vodotoka (u pravilu na mjestu vodomjerne postaje) su: a) proticajni profili vodotoka b) vodostaji, c) konsumpcijska (proticajna) krivulja i d) protoci. Koriste se kod svih hidrotehničkih problema vezanih za prirodne vodotoke, ali i kod površinske i urbane odvodnje. Pritom su vodostaj i protok prirodne pojave slučajne prirode.

a) Proticajni profili vodotoka definiraju proticajne površine uzduž vodotoka. Dobiju se geodetskim snimanjem prirodnog korita poprečno na smjer tečenja. Služe za hidrolške i hidrauličke proračune, te za projektiranje vodnih građevina.

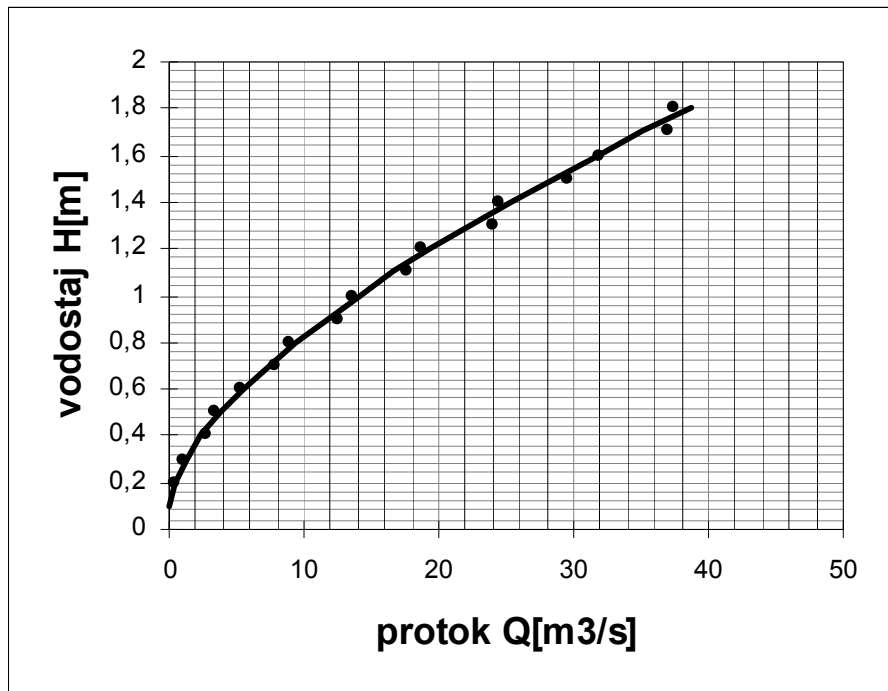
b) Vodostaj se na mjestu vodomjerne postaje jedini mjeri kontinuirano i iz tih mjerenja se, statističkim i vjerojatnosnim računom, dobiju reprezentativni vodostaji za neki proticajni profil kao u Tab.1. Osim toga standardan statistički prikaz svih zabilježenih vodostaja u nekom razdoblju je u vidu krivulja, ili histograma, učestalosti i trajnosti vodostaja (Sl. 4)



Sl. 4 krivulja učestalosti i trajnosti vodostaja

c) Konsumpcijska

(proticajna) **krivulja** definira prosječan odnos vodostaja i protoka na mjestu razmatrane vodomjerne postaje. Također se dobije statističkim proračunom iz niza simultanih mjerenja vodostaja i protoka (u svatki se mjere brzine tečenja, a iz njih i izmjerene površine proticajnog presjeka se izračuna protok), kao na Sl. 4a.



Sl. 4a Konsumpcijska (proticajna) krivulja na mjestu vodomjerne postaje

d) Protok se na

mjestu vodomjerne postaje za svaki izmjereni vodostaj izračuna pomoću konsumpcijske krivulje, a zatim se statističkim i vjerojatnosnim računom, dobiju reprezentativni protoci za neki proticajni profil kao u tablici 1. Osim toga standardan statistički prikaz svih protoka u nekom razdoblju je u vidu krivulja, ili histograma, učestalosti i trajnosti protoka (slično kao na Sl. 4).

NOMENKLATURA VODOSTAJA NA RIJEČNOJ VODOMJERNOJ POSTAJI

VV^n	n-GODIŠNJI VISOKI VODOSTAJ ili VISOKI VODOSTAJ n-GODIŠNJEG POVRATNOG RAZDOBLJA Vodostaj koji u razdoblju od n-godina može biti jedanput dostignut ili premašen. Računa se iz višegodišnjeg niza VISOKIH VODOSTAJA pomoću matematičke statistike. Na pr: VV^5 - petogodišnji visoki vodostaj.
NVV	NAJVIŠI VISOKI VODOSTAJ Najviši opaženi ili uopće poznati vodostaj u nekom dugom razdoblju od neke davne godine do danas. Na pr: $NVV_{od\ 1896}$, ili $NVV_{23.11.1911. od\ 1896}$.
VV	VISOKI VODOSTAJ Najviši vodostaj opažen u izvjesnom vremenskom razdoblju. Na pr: $VV_{1965-1975}$, ili VV_{1968} , ili $VV_{zima\ 1965-1970}$, ili $VV_{travanj\ 1975}$.
SVV	SREDNJI VISOKI VODOSTAJ Izračunata prosječna vrijednost VISOKIH VODOSTAJA iz istovjetnih vremenskih razdoblja (godina, godišnje doba, mjesec). Na pr: $SVV_{1965-1975}$ = sredina godišnjih visokih vodostaja iz razdoblja 1965. do 1975., ili $SVV_{zima\ 1965-1970}$ = sredina zimskih visokih vodostaja iz razdoblja 1965. do 1970., ili $SVV_{travanj\ 1967-1972}$ = sredina travanjskih visokih vodostaja iz razdoblja 1967. do 1972.
$V_{x\%}$	VODOSTAJ x%-tnog TRAJANJA Vodostaj koji prema statističkom proračunu u prosječno x% dana u godini biva dostignut ili premašen. Na pr: $V_{5\%}$ = 5%-tni vodostaj ili vodostaj koji u 5% dana u godini (18 dana u godini) biva dostignut ili premašen.
$OV=V_{50\%}$	OBIČAN VODOSTAJ Vodostaj koji prema statističkom proračunu prosječno u godini biva isto toliko puta dostignut i premašen koliko puta ne bude dostignut; tj. 50%-tni vodostaj na godišnjoj krivulji trajnosti vodostaja ($V_{50\%}$), ili medijana na godišnjoj krivulji učestalosti vodostaja. Razdoblje iz kojeg je računat naznačuje se u indeksu. Ako je oznaka bez indeksa razdoblje je poznato. Na pr. $OV_{1953-73}$ = običan vodostaj iz razdoblja 1953. - 73.

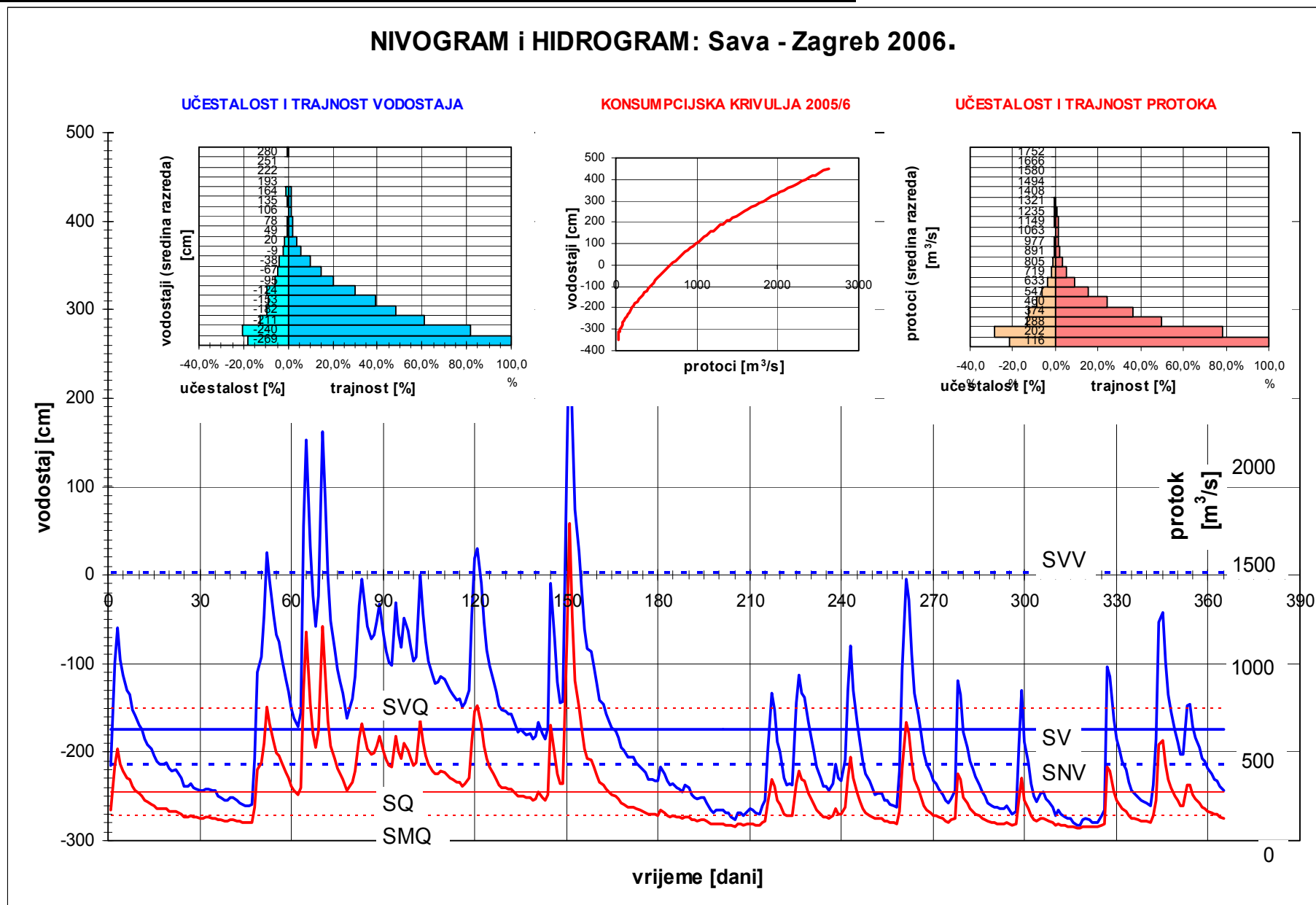
SV	SREDNJI VODOSTAJ Izračunata aritmetička sredina svih opaženih vodostaja za razdoblje naznačeno u indeksu. Ako je oznaka bez indeksa razdoblje je poznato. Na pr. $SV_{1965-75}$ = srednji vodostaj iz razdoblja 1965. - 75., $SV_{zima\ 1955-90}$ = srednji zimski vodostaj iz razdoblja 1955. - 90., $SV_{travanj\ 1967-72}$ = srednji travanjski vodostaj iz razdoblja 1967. - 72., $SV_{travanj\ 1967}$ = srednji travanjski vodostaj iz 1972.
FV	NAJČEŠĆI VODOSTAJ Vodostaj koji se prema statističkom proračunu u godini najčešće pojavljuje, ili modus na godišnjoj krivulji učestalosti vodostaja. Razdoblje iz kojeg je računat naznačuje se u indeksu. Ako je oznaka bez indeksa razdoblje je poznato. Na pr. $FV_{1953-73}$ = najčešći vodostaj iz razdoblja 1953. - 73.
SNV	SREDNJI NISKI VODOSTAJ Izračunata prosječna vrijednost NISKIH VODOSTAJA iz istovjetnih vremenskih razdoblja (godina, godišnje doba, mjesec). Na pr: $SNV_{1965-1975}$ = sredina godišnjih niskih vodostaja iz razdoblja 1965. do 1975., ili $SNV_{zima\ 1965-1970}$ = sredina zimskih niskih vodostaja iz razdoblja 1965. do 1970., ili $SNV_{travanj\ 1967-1972}$ = sredina travanjskih niskih vodostaja iz razdoblja 1967. do 1972.
NV	NISKI VODOSTAJ Najniži vodostaj opažen u izvjesnom vremenskom razdoblju. Na pr: $NV_{1965-1975}$, ili NV_{1968} , ili $NV_{zima\ 1965-1970}$, ili $NV_{travanj\ 1975}$.
NNV	NAJNIŽI NISKI VODOSTAJ Najniži opaženi ili uopće poznati vodostaj u nekom dugom razdoblju od neke davne godine do danas. Na pr: $NNV_{od\ 1896}$, ili $NNV_{23.11.1911.\ od\ 1896}$.
NV^n	n-GODIŠNJI NISKI VODOSTAJ ili NISKI VODOSTAJ n-GODIŠNJEG POVRATNOG RAZDOBLJA Vodostaj koji u razdoblju od n-godina može biti jedanput izjednačen ili podbačen. Računa se iz višegodišnjeg niza NISKIH VODOSTAJA pomoću matematičke statistike. Na pr: NV^5 - petogodišnji niski vodostaj.

NOMENKLATURA PROTOKA NA RIJEČNOJ VODOMJERNOJ POSTAJI (definicije analogne onima za vodostaje)

VQ^n	n-GODIŠNJA VELIKA VODA (PROTOK) ili VELIKA VODA n-GODIŠNJEG POVRATNOG RAZDOBLJA
NVQ	NAJVIŠA VELIKA VODA (PROTOK)
VQ	VELIKA VODA (PROTOK)
SVQ	SREDNJA VELIKA VODA (PROTOK)
$Q_{x\%}$	VODA (PROTOK) x%-tnog TRAJANJA
$OQ=Q_{50\%}$	OBIČNA VODA (PROTOK)
SQ	SREDNJA VODA (PROTOK)
FQ	NAJČEŠĆA VODA (PROTOK)
SMQ	SREDNJA MALA VODA (PROTOK)
MQ	MALA VODA (PROTOK)
NMQ	NAJNIŽA MALA VODA (PROTOK)
MQ^n	n-GODIŠNJA MALA VODA (PROTOK) ili MALA VODA n-GODIŠNJEG POVRAT. RAZD.

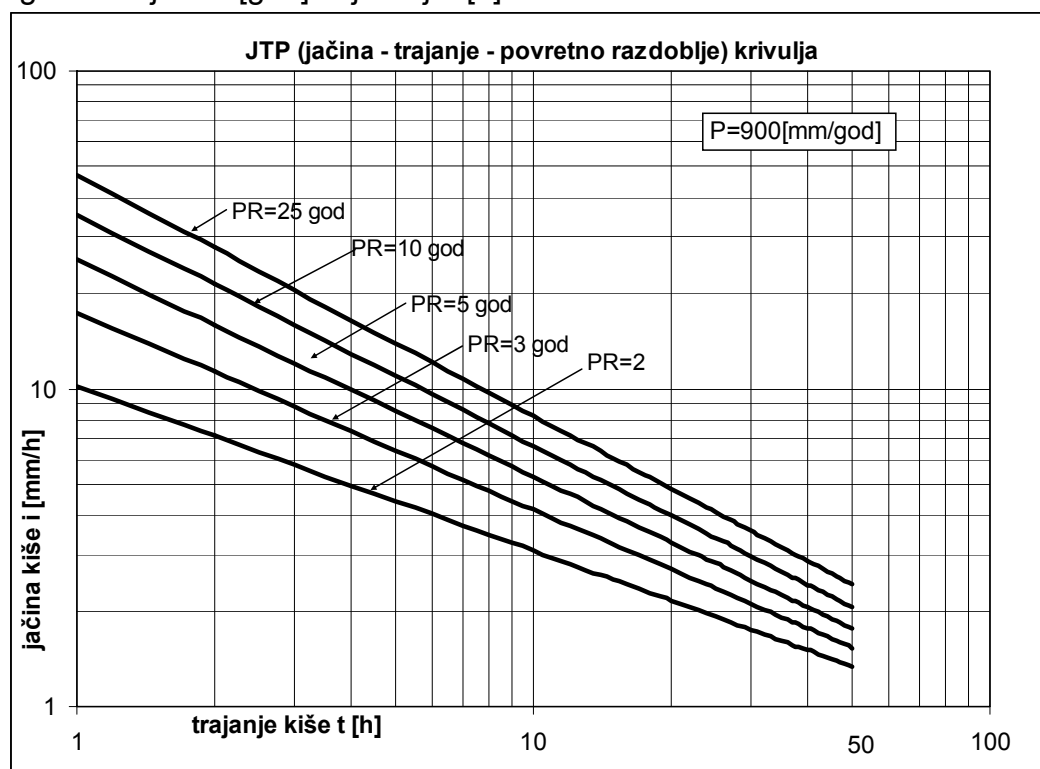
Tab.1 Nomenklature vodostaja i protoka za neki proticajni profil vodotoka: u pravilu na mjestu vodomjerne postaje

b, c i d) Vodostaji i protoci na mjestu neke vodomjerne postaje prikazuju se na još jedan način: a to je pomoći nivograma i hidrograma (Sl. 4.b). Pritom je nivogram u stvari kronološki zapis vodostaja u nekom razdoblju pomoću limnigrafa, a iz njega se pomoću konsumpcijske krivulje dobije hidrogram kao kronološki prikaz protoka. Iz nivograma i hidrograma statističkom obradom dobiju se krivulje, ili histogrami, učestalosti i trajnosti vodostaja i protoka.



Sl. 4.b Nivogram i hidrogram Save na vodomjernoj postaji Zagreb za 2006. godinu s pripadnim hidrološkim obradama vodostaja i protoka

Kod rješavanja problema površinske i urbane odvodnje osnovna su hidrološka podloga JTP krivulje (Jačina, Trajanje i Povratno razdoblje) kao na Sl. 5 -JTP krivulja (u struci tradicionalno ITP krivulje) pokazuju kolika će biti jačina oborine u [mm/h] ako se desi kiša povratnog razdoblja PR [god] koja traje t[h].



Slika 5 JTP (Jačina – Trajanje – Povratno razdoblje) krivulja

Morske razine

Morske razine su osnovni podatak za osnivanje pomorskih građevina, jer služe za proračune funkcionalnosti (određivanje: visine lukobrana i kejova, dubine brodskih vezova...) i za proračune konstrukcije (hidrostatički tlakovi, ...). No interesantne su i za tehnologiju građenja, zbog potrebe razlikovanja podvodnih i nadvodnih radova. Registracije morskih razina obavlja kontinuirano i redovno Hrvatski hidrografski institut Split na 4 mareografske stanice: Dubrovnik, Split, Bakar i Rovinj. Mjerenja se javno objavljuju u Hidrografskom godišnjaku. Za projektiranje se koriste ekstremno visoke i niske razine raznih povratnih razdoblja (na pr. ExtrVR^{50god}, ExtrNR^{50god}) i razne srednje razine (na pr.: SR-geodetska nula i SNN₂R-hidrografska nula, ili nula pomorskih karata).

Morski valovi

Podaci o morskim valovima služe za proračune funkcionalnosti (agitacija, prelijevanje...) i za proračune konstrukcije (definiranje dinamičkih opterećenja) pomorskih građevina. Ne opažaju se sustavno niti kontinuirano na državnoj razini. Sporadična opažanja vrši Hrvatski hidrografski institut Split uglavnom u oceanografske znanstvene svrhe na rijetkim zemljopisnim točkama koje su najčešće na pučini ispred hrvatskih otoka. Osim toga ta su opažanja obično kraća od 5 godina. Iz takvih opažanja nije moguće definirati niti prosječnu, a pogotovo ekstremnu valnu klimu. Opažanje valova mogu vršiti i investitori na njima interesantnim lokacijama. Ta mjerenja moraju biti u dubokovodnom području kako

bi se dobili podaci o nedeformiranim valovima. Osim toga moraju biti u razdoblju od barem 10 godina. Kako su ta mjerenja i vrlo skupa sve rečeno ukazuje da jedan projekt najčešće ne treba računati da će raspolagati izmjerenim valovima. Na sreću valovi se dadu prognozirati iz vjetrovne klime, a ta se sustavno opaža!

Morske struje

Podaci o morskim strujama služe pretežno za rješavanje ekoloških problema pomorskih građevina. Kod masivnih i relativno plitkih pomorskih građevina struje ne proizvode značajno opterećenje, zbog svoje male brzine odnosno male kinetičke energije, pa se u principu zanemaruju. Ne zanemaruju se kod vitkih konstrukcija (piloti i cjevovodi). Ne opažaju se sustavno niti kontinuirano na državnoj razini. Sporadična opažanja vrši Hrvatski hidrografski institut Split. Za pojedine projekte opažanja se vrše u aranžmanu investitora.

Zemljište

Zemljište se razmatra sa stajališta oblika (topografija), svojstava i procesa.

Oblik zemljišta

Pri svakom zahvatu neophodno je poznavanje oblika terena (konfiguracije), koja se prikazuje kartama različitih mjerila. To je područje geodezije (izmjere zemljišta). Pri radu koriste se "karte" malog mjerila za osnovnu orijentaciju u prostoru pa sve do detaljnih "planova" krupnog mjerila. Karte se izrađuju na državnoj razini za javno korištenje, a planovi se za potrebe projektiranja snimaju i izrađuju po narudžbi. Geodetske karte služe za smještaj HG na teren u vidu preglednih situacija. Tlocrti velikih HG rade se na geodetskim kartama, a malih na geodetskim planovima. Slijedeća namjena geodetskih podloga je za hidrološke, hidrauličke i geotehničke proračune, kao na primjer: definiranje slivnog područja, proticajni profili vodotoka i profili terena.

Geodetske podloge na državnoj razini mogu se za cijelu Hrvatsku javno nabaviti kod Državne geodetske uprave u Zagrebu. Dostupne su u analognom (na papiru) obliku i digitalnom obliku u vidu rasterske slike (bit mape) koja se uvlači kao podloga u digitalne nacрте (na pr. Autocad). Sve digitalne karte su geokodirane; t.j. prikazane u geodetskim koordinatama. Nazivi tih karata su:

- Hrvatska osnovna karta 5000 (HOK), 2D crtana karta u mjerilu 1:5.000
- Digitalna ortofoto karta (DOF), 3D aerofotografska geokodirana snimka postojećeg stanja na terenu karta u mjerilu 1:5.000,
- Topografska karta (TK 25), 2D crtana karta u mjerilu 1:25.000
- Digitalni model reljefa (DMR 25), 3D digitalni model terena karta u mjerilu 1:25.000
- Topografska karta (TK 100), 2D crtana karta u mjerilu 1:100.000
- Topografska karta (TK 200), 2D crtana karta u mjerilu 1:200.000

Pomorske karte na državnoj razini mogu se za cijelu hrvatsku obalu javno nabaviti kod Hrvatskog hidrografskog instituta Split u analognom i digitalnom obliku pod nazivom:

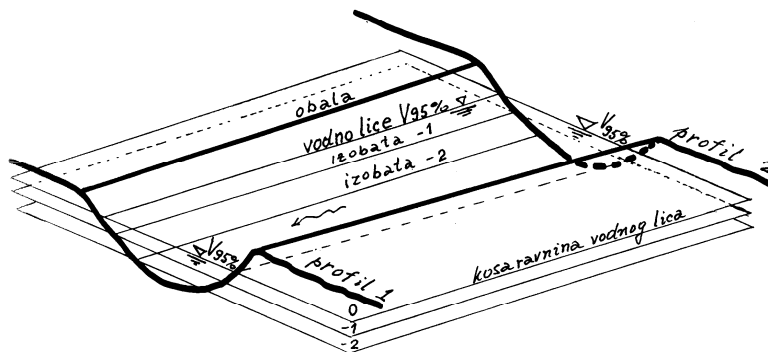
- Generalne pomorske karte, 2D, mjerila 1:750.000 do 1:2.500.000
- Kursne karte, 2D, mjerila 1:150.000 do 1:300.000
- Obalne karte, 2D, mjerila 1:50.000 do 1:100.000
- Planovi (luka), 2D, mjerila 1:3.000 do 1:400.000



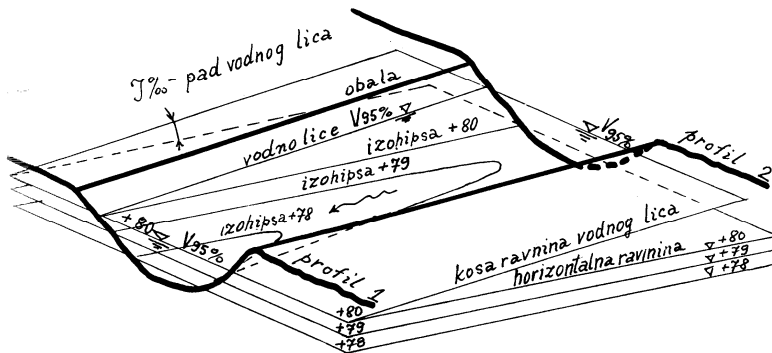
Slika 6 Pomorski plan luke

Detaljnije karte (krupnijeg mjerila: za male građevine do 1:200, za srednje 1:500 i za velike do 1:2000) rade se prema potrebama pojedinih zahvata. Nazivaju se planovi. Izrađuju ih geodetske tvrtke na temelju Projektnog zadatka projektanta građevine i na temelju obavljenog geodetskog snimka terena. U sklopu tog snimanja projektant će po potrebi naručiti i snimanje profila terena koji ga posebno zanimaju.

Posebnost detaljnih planova ili situacija za hidrotehničke građevine su prikazi vodnih korita (rijeka i mora) ispod vodne razine izohipsama ili izobatama.



Prikaz riječnog korita pomoću izobata



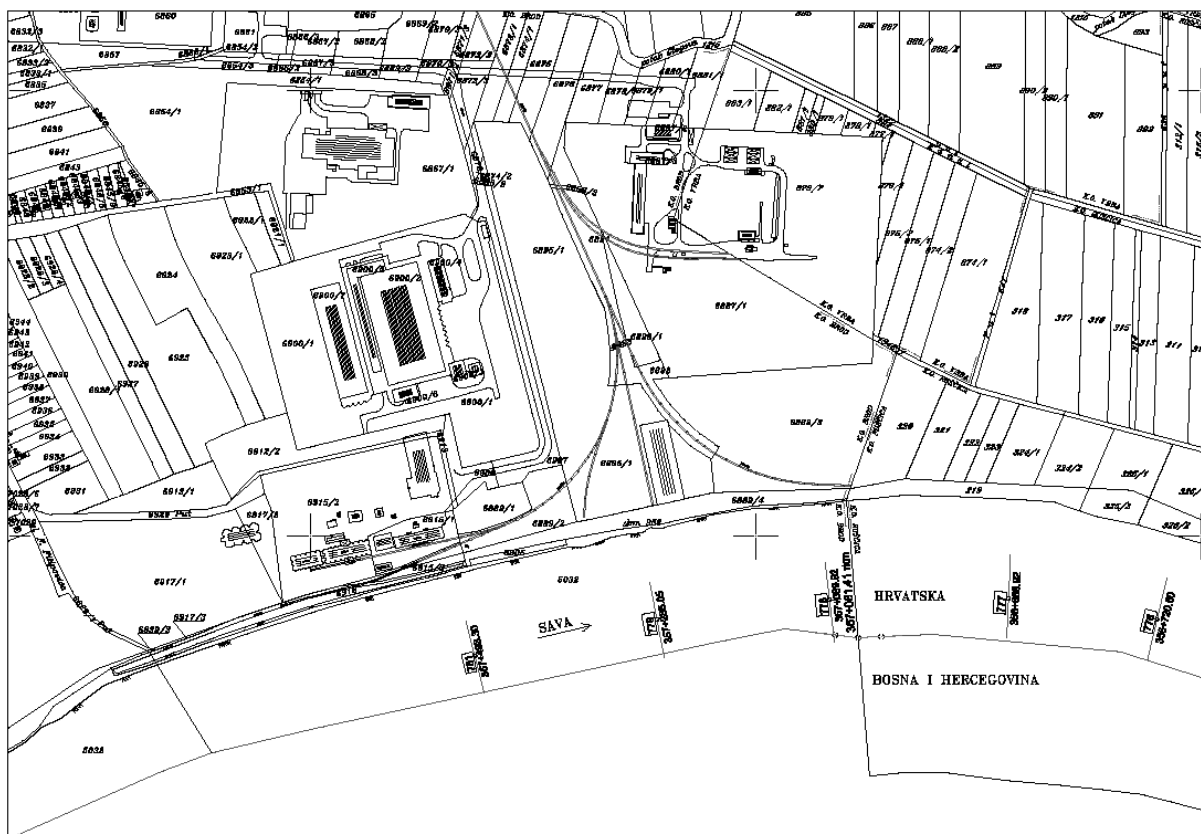
Prikaz riječnog korita pomoću izohipsi

Izohipse su linije presjeka horizontalnih, paralelnih ekvidistantnih ravnina (obično razmaka 1m) i terena prikazane u ravnini nacрта. Ako su te ekvidistantne ravnine paralelne sa srednjom razinom mora i počinju geodetskom nulom $\pm 0,0$ [m n.m] (srednja razina mora) radi se o izohipsama negativnog predznaka (na pr. -7 [m n.m]). Na taj se način mogu prikazati korita mora i rijeka no uglavnom se primjenjuju za more kao na pr.na državnim kartama HOK i TK 25. Ako su ekvidistantne ravnine paralelne s nekom drugom razinom mora, na pr. s hidrografskom nulom (prosjeck posebno definiranih vrlo niskih morskih razina kod oseke što je niže od geodetske nule), ili s nagnutom ravninom nekog niskog vodnog lica na rijeci (najčešće 95%-tne trajnosti) onda se izolinije nazivaju *izobate*. Ovakav prikaz češći je za rijeke. I na pomorskim kartama dane su morske izobate (ispod hidrografske nule), što je i logično jer je plovidba kritična kod oseke!

Slika 7 Riječne izobate i izohipse

Na katastarskim planovima (na kojima se ne prikazuje oblik terena) prikazuju se vlasnički odnosi pomoću katastarskih čestica zemljišta i ucrtanih postojećih građevina. Oni služe zato da bi se na njima nacrtale buduće građevine. Takav prikaz obavezan je stoga da bi se kod ishoda locacijske i građevne dozvole moglo provjeriti da li postoji pravo građenja (vlasništvo, koncesija ili služnost) na katastarskim česticama koje zahvaća namjeravana gradnja. Nabavljaju se u Katastarskom odjelu Građanskog suda.

Katastarska podloga osim crtanog dijela; t.j. plana, ima i pisani dio koje naznačava broj k.č. i njenog aktualnog vlasnika ili korisnika.



Sl. 8 Katastarski plan

Svojstva zemljišta

Općenito treba osigurati mehaničku i kemijsku stabilnost temelja, a često i vodrživost prostora u kojem se izvode hidrotehničke građevine. Također je potrebno poznavati mogućnosti korištenja materijala za građenje, kao i njegova svojstva sa stajališta ugradnje.

Ovisno o veličini i utjecaju zahvata na prostor potrebno je poznavati svojstva zemljišta šireg ili užeg prostora, manje ili više detaljno, sa stajališta površine i dubine do koje se očekuje značajno međudjelovanje građevine i prostora u kojem se ona izvodi. Opća se znanja o građi, dinamici i postanku Zemlje obrađuju u geologiji, te njenim posebnim dijelovima kao u inženjerskoj geologiji, seizmološkoj geologiji (tektonici) i hidrogeologiji. Opća znanja o prostoru planirane izgradnje i korištenja omogućuju detaljnije planiranje istraživanja svojstava u neposrednom prostoru izgradnje i utjecaja zahvata čime se bave mehanika stijena i mehanika tla, koje omogućuju pripremu podloga za definiranje temeljenja i načina građenja. Posebno je važna spoznaja o mogućnosti kretanja vode u tlu (vodopropusnost). Također je potrebno istaknuti potresna svojstva prostora zahvata koja definiraju jedno od značajnih opterećenja na osnovi kojih se dimenzioniraju građevine.

Geotehničke podloge hidrotehničkih građevina

Geotehničke podloge se sastoje od geološke i geomehaničke komponente, a definiraju geološke i geomehaničke osobine temeljnog tla i temeljne stijene. Te se podloge utvrđuju

geološkim i geotehničkim istražnim radovima. Istražni radovi u tlu uvijek su obavezni ako se građevina temelji na koherentnom i/ili nakoherentnom tlu. Istražni radovi u stijeni su potrebni za temeljenje velikih i teških građevina neposredno na stijeni, dok se za male građevine obično pretpostavlja da je stijena dovoljno nosiva pa posebni istražni radovi obično nisu potrebni. Geološki istražni radovi su potrebni za prostrane građevine i građevine temeljene na složenim uvjetima u tlu, kao što su na primjer klizišta, radi interpretacije značajki temeljnog tla između mjesta na kojima je izvršeno istraživanje tla. Naime zbog štednje nije moguće kompletno područje neke akumulacije gusto pokriti skupim istražnim radovima, pa se neistraženi potezi temeljnog tla mogu stručno interpretirati od strane geomehaničara na temelju geološke podloge. Tu je posebno važna pojava rasjeda, jer se sa obje njegove strane mogu pojaviti drukčiji slojevi tla, ali i tektonski pomaci tla.

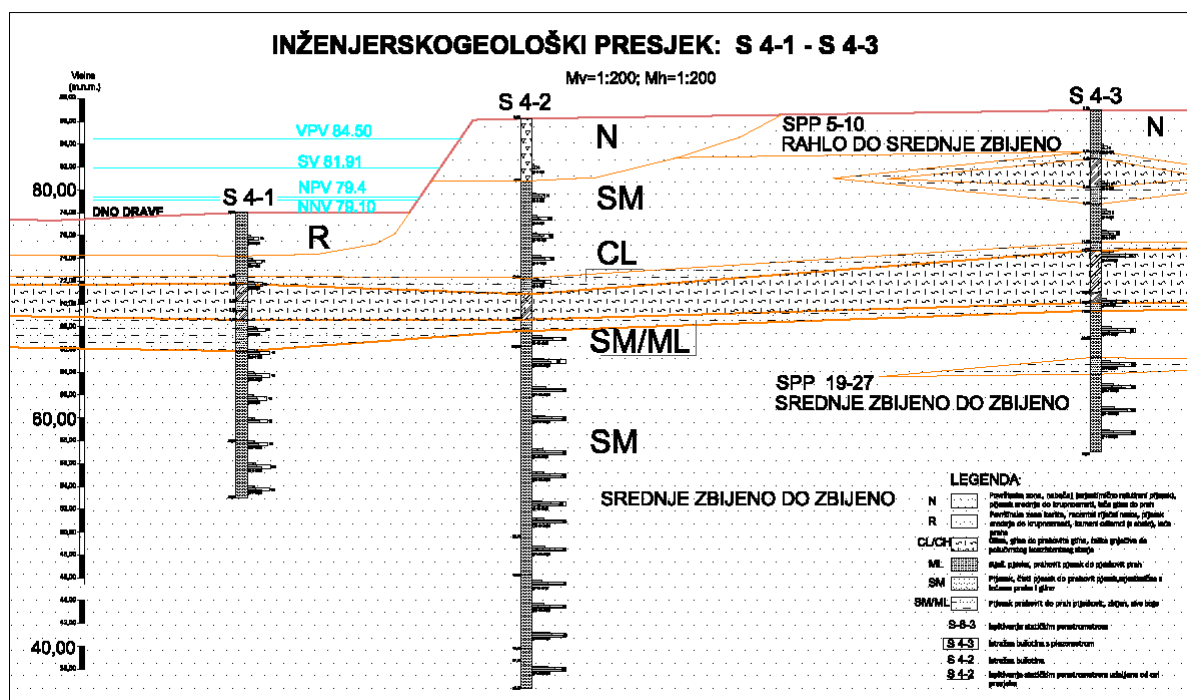
Program geotehničkih istražnih radova sastavlja projektant građevine. Istražne radove, na temelju Programa, izvode specijalističke tvrtke sa stručnjacima građevinske, geološke i geofizičke struke. Ti se radovi sastoje od terenskih istražnih radova, laboratorijskih istražnih radova i izvještaja kojim se opisuju provedeni radovi te prikazuju rezultati i interpretacije istraživanja.

Terenski istražni radovi obavljaju se stručnim pregledom terena i pomoću istražnih bušotina i istražnih jama. Iz njih se uzimaju uzorci tla (poremećeni i/ili neporemećeni), ali se u njima mogu vršiti i terenski pokusi (SPT, krilna sonda, statička penetracija i mnogi drugi) za definiranje geomehaničkih značajki tla. Osim toga radi se i terenska klasifikacija tla.

Laboratorijski istražni radove obavljaju se u geotehničkom laboratoriju na uzorcima uzetim tokom terenskih istražnih radova. Iz poremećenih nekoherentnih uzoraka mogu se načiniti: zapreminska težina suha i uronjena, prirodna vlažnost, granulometrijska krivulja. Na poremećenim koherentnim uzorcima mogu se ispitati još i aterbergove granice te izvršiti direktno smicanje. Na neporemećenim koherentnim uzorcima može se ispitati aksijalna i triaksijalna čvrstoća u dreniranim ili nedreniranim uvjetima. Ovo su standardana ispitivanja, no za specijalne značajke tla rade se i druga.

Geotehnički izvještaj uključuje rezultate pregleda terena, terenskih istražnih radova, laboratorijskih ispitivanja i eventualno ranijih istraživanja na razmatranoj lokaciji. Također sadrži tekstualni dio sa identifikacijom i geotehničkom interpretacijom sastava tla (mahanički parametri, parametri čvrstoće, modul stišljivosti, koeficijenti propusnosti). Obavezno od nacrta sadrži situaciju terena s naznačenim mjestima ispitivanja, sondažne i geotehničke profile. Obično su uključene i seizmičke značajke lokacije.

Posebnost hidrotehničkih građevina su hidrogeološke podloge. Traže se kod građevina za zahvat vode (obnovljive i neobnovljive rezerve, rasprostiranje u podzemlju, kakvoća, propusnost tla, brzine kretanja) i kod građevina za spremanje vode na tlu kao što su akumulacije (vododrživost tla, ponori, jame i špilje). Za hidrogeološke podloge mogu poslužiti gore navedeni istražni radovi koji se u posebnim slučajevima mogu dopuniti mjerenjem tlaka podzemne vode pomoću piezometara te ispitivanjem propusnosti tla ili stijena probnim crpljenjem ili ubacivanjem vode u posebne bušotine.



Slika 9. Geotehnički profil dravske obale u luci Osijek

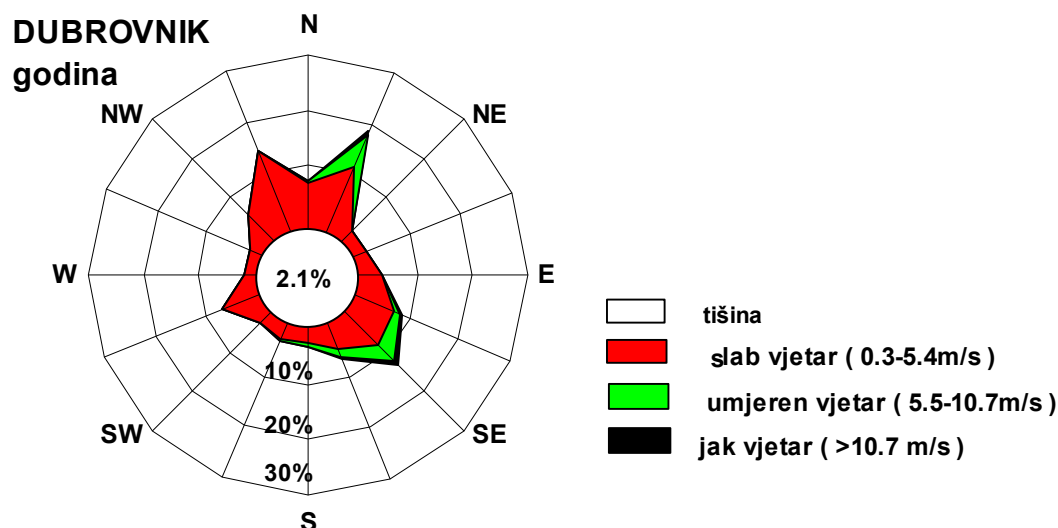
Zrak – klimatološka svojstva područja

Klimatološka svojstva područja izgradnje promatraju se sa dva stajališta – stajališta građenja i korištenja, te sa stajališta eventualnih promjena koje mogu nastati zbog izgradnje hidrotehničkih sustava odnosno građevina.

Stanje u dijelu atmosfere, koje je značajno sa stajališta hidrotehničkih građevina, opisuju temperature vode i zraka, vlažnost, vjetrovi, isparavanje sa zemljišta, bilja i vodene površine, oborine, insolacija a njima se bavi klimatologija. Opažanja se provode stalno obzirom na svojstva tih pojava.

Vjetar

Podaci o vjetrovnoj klimi potrebni su projektantu svake, pa tako i hidrotehničke, građevine na koju vjetar ima značajan utjecaj za proračun opterećenja od vjetra. Prema EN tlak ili sila tlaka od vjetra na građevinu izračunava se posredstvom prosječne 10-minutne brzine 50 godišnjeg povratnog razdoblja za najnepogodniji smjer djelovanja vjetra (V_{600s}^{50god} fm/s). Naziva se referentna brzina vjetra a označava s $V_{ref}=V_{600s}^{50god}$ fm/s]. Taj se podatak izračuna, ili naručuje kod Državnog hidrometeorološkog zavoda u Zagrebu. Proračun se temelji na dugoročnom (barem 10 godina, a najbolje 30 godina) opažanju vjetra s time da se za ovaj vjerojatnosni proračun izdvoje ekstremne vrijednosti prosječne 10-minutne brzine za najnepogodniji smjer.



Slika 10. Godišnja ruža vjetrova za Dubrovnik u razdoblju 1997–2006.

Ipak podaci o vjetru najviše se koriste za u pomorskim gradnjama. Za trasiranja lukobrana koristi se "ruža vjetra" (Slika 10). U stvari za to bolje služi "ruža valova" no valovi se sustavno ne opažaju. Kako vjetrovi generiraju morske valove najveće energije to ruža vjetra u nekom kvalitativnom mjerilu dočarava ružu valova. Ruža vjetrova je grafički prikaz učestalosti (u %-cima pojavljivanja) prosječnih 10-minutnih brzina vjetra (u m/s) po smjerovima u nekom vremenskom razdoblju (najčešće u jednoj godini) na jednoj zemljopisnoj točki. Dobije se iz višegodišnjeg opažanja vjetra na toj točki i predstavlja prosječnu vjetrovnu klimu: godišnju, zimsku, ljetnu, travanjku i sl. Druga je upotreba podataka o vjetru u okolini neke zemljopisne točke za prognoziranje vjetrovnih valova iz podataka o vjetru na toj istoj točki. Za to su potrebne vjetrovne situacije iz barem 10 godina a najbolje 30 godina. Takav niz situacija prikazuje se u praktičnoj tablici. Situacija prikazuje brzinu i smjer vjetra po satima trajanja od početka vjetra pa do njegovog prestanka. Obadvije navedene podloge naručuju se kod DHMZ.

Ostale podloge vezane uz prirodu

Ostale podloge vezane su na znanja o živom svijetu (biocenozi, životna zajednica) u prostoru zahvata (biotop, stanište), kako o onom u vodi, tako o onom koji obitava uz vodu, te u kopnenom području izgradnje i očekivanog utjecaja izgradnje i korištenja građevina. Uz to je potrebno posebno uzeti u obzir zaštićene prirodne vrijednosti.

Ove su podloge potrebne sa stajališta procjene utjecaja na okoliš izgradnje i korištenja hidrotehničkih građevina i sustava, kao i sa stajališta planiranja i provedbe mjera zaštite okoliša.

Umjetna priroda (postojeći i planirani zahvati)

Evidentna je potreba poznavanja i izgrađenosti prostora kako sa stajališta mogućnosti unošenja novih zahvata, tako i sa stajališta utjecaja novog zahvata na postojeće i planirane zahvate. Ti se podaci nalaze u postojećim dokumentima, katastrima, kartografskim materijalima, a neke je potrebno snimiti.

Posebno je važno poznavanje postojećih hidrotehničkih sustava i građevina, te mogućnosti zadovoljenja potreba ili dijela potreba koje se rješavaju poboljšanjem, dogradnjom ili rekonstrukcijom tih već postojećih zahvata.

Također je nužno poznavanje kulturnih i arheoloških vrijednosti u prostoru planiranog zahvata i odnos prema tom zahvatu.

1.3 OSNOVE ZA PRORAČUN HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA

Uvod

Hidrotehničke građevine (HG) su vrlo složene građevine koje se sastoje od znatnog broja hidrotehničkih konstrukcija (HK). Građevina je općenito sve što je sagrađeno na tlu ~~HRN-ENV-1991-4:1994,8+ZPPUG~~. Konstrukcija je sustav povezanih izgrađenih dijelova koji tvore krutu cjelinu, ili građevina koja ima određeni raspored ~~HRN-ENV-1991-4:1994,8~~ izgrađenih dijelova a nema krutost. Tako na pr. neka riječna hidroelektrana ima slijedeće konstrukcije: zemljane nasipe i obaloutvrde uzduž vodotoka, te popreko vodotoka (na mjestu pregradnog profila): zemljanu branu na koju se nadovezuje AB brana (s preljevom i slapištem), AB strojarnica te više AB konstrukcija brodske prevodnice. Preko svih poprečnih konstrukcija je AB most. Na betonskoj brani je čelična konstrukcija preljevnih zapornica, a u prevodnici su čelične konstrukcije vrata prevodnice. Ispred i iza prevodnice su ulazni kanali. Od toga obaloutvrda (konstrukcija uglavnom od kamenog nabačaja) nema krutost. Za usporedbu veća stambena zgrada sastoji se od samo jedne; AB skeletne konstrukcije. ~~[PM]~~

Prilikom projektiranja HG provode se 2 vrste proračuna:

- 1.) proračuni funkcionalnosti i
- 2.) proračuni konstrukcije.

Prvi se provode za hidrotehničku građevinu kao cjelinu i za neke pojedinačne hidrotehničke konstrukcije. ~~[PM]~~ Drugi se provode za sve hidrotehničke konstrukcije. ~~[PM], HRN-ENV-1991-4:1994,9,14,20~~

Razlika između proračuna funkcionalnosti i proračuna konstrukcije dala bi se opisati na primjeru projektiranja AB propusta za površinsku odvodnju. Radi se o jednostavnoj hidrotehničkoj građevini; t.j. malom cestovnom mostu iznad malog vodotoka koji se u ovom primjeru sastoji od 3 konstruktivna dijela: betonske rasponske konstrukcije (AB ploča – sustava proste grede raspona do 10m) – betonskih masivnih upornjaka i - zemljane konstrukcije cestovnog trupa preko inundacija do upornjaka. Glede proračuna funkcionalnosti javila bi se dva: a) proračun funkcionalnosti građevine kao cjeline u vidu proračuna propusnosti otvora tog propusta za poplavnu vodu (hidrološki i hidraulički proračun) i b) proračun funkcionalnost AB rasponske konstrukcije u vidu proračuna potrebnog broja vozničkih traska za cestovni promet (prometni proračun). No ovaj posljednji je kod malih mostova propisan redom ceste, pa se ne mora provoditi. Od proračuna konstrukcije proveli bi se zasebni proračuni nosivosti, uporabljivosti i trajnosti za AB ploču i B upornjake, te zasebni proračuni nosivosti i uporabljivosti za temeljenje upornjaka i za zemljanu konstrukciju cestovnog trupa.

Proračuni funkcionalnosti

Radi se o a) proračunu uporabe HG (ili uporaba višenamjenske HG) u vezi s vodom i b) o proračunima uporabe HK u vezi s vodom kojima se dokazuje da HG sa svojim ukupnim uporabnim kapacitetom i kapacitetima svojih HK može ispuniti predviđenu uporabu (ili uporabe višenamjenske HG). Pritom je ključno da uporabni kapaciteti HG kao cjeline i kapaciteti HK budu usklađeni. Ovi proračuni nisu detaljno propisani, a ono što je propisano ne nalazi se u jedinstvenom zakonskom aktu. Kad nisu propisani provode se prema opće poznatim pravilima struke ili preporukama strukovnih udruženja. Temeljni principi proračuna funkcionalnosti HG ili HK su da kroz radni vijek omoguće predviđenu uporabu na ekonomičan i pouzdan način. Filozofija proračuna funkcionalnosti je da za uporabu HG i uporabu svake njegove HK moraju biti ispunjeni kriteriji koji definiraju odnos upravnog kapaciteta HG ili HK i vode kojoj HG ili HK služi. Pritom je bitna osobina vode u prirodi da je njena pojavnost slučajne prirode, pa je definiranje kriterija u domeni vjerojatnosti. Izražava se preko vjerojatnosti, ili povratnog razdoblja ili rizika. [PM]

Proračunom funkcionalnosti hidrotehničke građevine proračunava se prihvatanje i upravljanje ukupnim volumenom, protokom ili kakvoćom vode sa sliva uzvodno od te hidrotehničke građevine. Pritom se ona promatra kao funkcionalna cjelina svih njenih konstrukcija. Kod HG za upravljanje kakvoćom voda (pročišćavanje voda i sl.) radi uglavnom o hidrauličkim, hidrološkim i tehnološkim proračunima, kod HG za zaštitu od voda o hidrološkim i hidrauličkim proračunima te kod HG za gospodarsko korištenje voda o hidrološkim hidrauličkim, energetskim, prometnim, ... proračunima. Proračuni funkcionalnosti hidrotehničke građevine vrše se po kriterijima zaštite ljudi i imovine kod HG za zaštitu voda i zaštitu od voda, a po kriteriju investitora kod HG za gospodarsko korištenje voda. Kriteriji zaštite ljudi i imovine djelomično su zakonski propisani (Zakon o vodama i podzakonski akti), a kriteriji investitora uglavnom su gospodarske prirode. Najčešće su HG višenamjenske pa se primjenjuju obadva kriterija. Proračuni funkcionalnost HG podloga su ekonomskog proračuna neke HG.

Proračunom funkcionalnosti pojedinačne hidrotehničke konstrukcije proračunava se upravljanje protokom, volumenom ili kakvoćom samo onog dijela vode koja dolazi smo na razmatranu konstrukciju neke HG. Proračun funkcionalnosti HK vrši se nakon što je izvršen izbor konačnog rješenja HG kao cjeline.

Radi se uglavnom o HK za pročišćavanje vode njima pripadajućim detaljnim hidrauličkim i tehnološkim proračunima koji vode povećanju kapaciteta za pročišćavanje, o HK za skladištenje i provođenje vode i njima pripadajućim detaljnim hidrauličkim proračunima koji vode povećanju kapaciteta za skladištenje i provođenje vode uz što manji trošak HK kao na pr.: proračun talužnice, proračun preljeva betonske brane, proračun temeljnog ispusta, proračun protjecanja ustavom na melioracijskom kanalu, proračun čeličnih zapornica za punjenje-pražnjenje brodske prevodnice, proračun prelijevanja lukobrana morskim valovima, ... [PM]

Proračuni konstrukcije

Radi se o proračunima stabilnosti i mehaničke otpornosti. Kod "**fleksibilnih**" HK to se odnosi uglavnom na proračune "**hidrauličke**" stabilnosti u struji vode.

Kod "**krutih**" HK proračuni se provode prema, kod nas usvojenom, EUROPSKOM NORMOM (EN) što uključuje:

- 1) proračune nosivosti,
- 2) proračune uporabljivosti i

3) Proračune trajnosti.

Pojedine hidrotehničke konstrukcije, razmatrane HG, proračunavaju se svaka zasebno, no kod svakog tog proračuna mora se uzeti u obzir djelovanje susjedne građevine ako ga ima. [PM] Temeljni principi proračuna HK su da kroz proračunski radni vijek omogući predviđenu uporabu i da može preuzeti sva djelovanja i utjecaje na ekonomičan i pouzdan način. ~~HRN-ENV-1991-1:1994,12~~ Filozofija proračuna konstrukcije metodom graničnih stanja po EN-I je da za svako granično stanje moraju biti ispunjeni proračunski kriteriji (\leq) koji opisuju uvjete koje valja ispuniti. ~~HRN-ENV-1991-1:1994,9~~ Tako je na pr za granično stanje **nosivosti** kod ispitivanja stabilnosti kriterij da proračunski učinci destabilizacijskih djelovanja moraju biti \leq proračunskih učinaka stabilizacijskih djelovanja, a kod proračuna sloma da proračunski učinci djelovanja moraju biti \leq od proračunske otpornosti konstrukcije (naprezanja, pretjerane deformacije, izvijanje, prelazak u mehanizam, zamor). ~~HRN-ENV-1991-1:1994,22,23~~ Za granično stanje **uporabljivosti** kriterij je da proračunski učinci djelovanja moraju biti \leq granične projektne vrijednosti razmatranog projektnog kriterija (deformacije konstrukcije, klizavost, pukotine, vibracije, zamor) ~~HRN-ENV-1991-1:1994,26~~ ~~EN-199-202,46~~ Proračuni **trajnosti** ne provode se direktno nego su propisani EN-om kroz zahtjeve u proračunima nosivosti i uporabljivosti (na pr. zaštitni sloj betona i dozvoljene pukotine prema razredima izloženosti, ~~TPBK i HRN-EN-206-1:2006~~) te kroz tehnološke zahtjeve za gradiva, gradnju i kontrolu kakvoće (min. količina cementa, količina uzoraka za kontrolu kakvoće gradiva, ...). [Bjeg]

Pouzdanost

Gore je rečeno da hidrotehnička građevina svoju funkciju [PM] i svoje konstrukcije ~~HRN-ENV-1991-1:1994,12~~ mora ostvariti na pouzdan način. Njihova pouzdanost se osigurava kroz proračune funkcionalnosti i kroz proračune konstrukcije.

Ako se radi o pouzdanosti proračuna funkcionalnosti HG ili HK treba imati na umu specifičnost da su projektni kriteriji funkcionalnosti vezani uz vodu, a djelovanja vode uz vjerojatnost njnog pojavljivanja. Stoga je definiranje pouzdanosti funkcioniranja HG ili HK u domeni vjerojatnosti, a izražava se preko rizika t.j. vjerojatnosti izlaganja HG ili HK projektnom djelovanju vode definiranog povratnog razdoblja, ili težem od njega, u jednom u proračunskom radnom vijeku HG ili HK.

[PM]

Ako se radi o pouzdanosti proračuna konstrukcije pouzdanost nekih "fleksibilnih" hidrotehničkih konstrukcija definirana u okviru preporuka strukovnih društava je kroz stupanj oštećenja. Pouzdanost "krutih" hidrotehničkih konstrukcija propisana je EN-om. Za uobičajene konstrukcije, ne proračunava se nego je posredno zagarantirana time što se u proračunu po metodi graničnih stanja primijennjuju parcijalni koeficijenti (za djelovanja i gradiva) propisani EN-om. ~~HRN-ENV-1991-1:1994,29~~ Ti koeficijenti su u okviru EN-e izvedeni na principima proračuna pouzdanosti. Za izvanserijske konstrukcije pouzdanost se konkretno dokazuje kako je to opisano u EN.

[Andr]

Ekonomičnost

Ekonomičnost hidrotehničke građevine predstavlja isplativost u uporabi. Izražava se preko pokazatelja ekonomičnosti (vrijeme povrata kapitala, interna kamatna stopa, odnos koristi i troškova,) U procesu ispitivanja ekonomičnosti HG su tri bitna 3 koraka: 1. variranje mogućih tehničkih rješenja razmatrane HG, 2. provođenje proračuna funkcionalnosti tih rješenja i 3. proračun ekonomičnosti varijantnih rješenja. Usporedbom pokazatelja ekonomičnosti dobiva se dobra orijentacija za usvajanje konačnog rješenja HG i podloga za odluku o gradnji. [PM]

Ekonomičnost hidrotehničke konstrukcije svodi se na njeno minimiziranje troškova gradnje nakon što je već obavljen proračun funkcionalnosti. To minimiziranje može biti u domeni količine gradiva i tehnologije gradnje.

Uvod

Hidrotehničke građevine (HG) su vrlo složene građevine koje se sastoje od niza konstrukcija, od kojih su većina hidrotehničke konstrukcije (HK). Građevina je općenito sve što je sagrađeno na tlu. Konstrukcija je sustav povezanih izgrađenih dijelova koji tvore krutu cjelinu, ili građevina koja ima određeni raspored izgrađenih dijelova a nema krutost. Tako na pr. neka riječna hidroelektrana ima slijedeće konstrukcije: zemljane nasipe i obaloutvrde uzduž vodotoka, te popreko vodotoka (na mjestu pregradnog profila): zemljanu branu na koju se nadovezuje AB brana (s preljevom i slapištem), AB strojarnica te više AB konstrukcija brodske prevodnice. Preko svih poprečnih konstrukcija je AB most. Na betonskoj brani je čelična konstrukcija prelivnih zapornica, a u prevodnici su čelične konstrukcije vrata prevodnice. Ispred i iza prevodnice su ulazni kanali. Od toga obaloutvrda (konstrukcija uglavnom od kamenog nabačaja) nema krutost. Za usporedbu veća stambena zgrada sastoji se od samo jedne; AB skeletne konstrukcije.



Slika 1.3.1::1 Primjer konstrukcija riječne hidroelektrane

Hidrotehničke konstrukcije spadaju u grupu inženjerskih konstrukcija. Za razliku od arhitektonskih konstrukcija (stambena izgradnja, privredni objekti,...), uloga građevinskog inženjera je kod inženjerskih konstrukcija dominantna. Kod arhitektonskih konstrukcija inženjeri građevinarstva imaju servisnu ulogu (proračuni konstrukcije, dimenzioniranje,...).

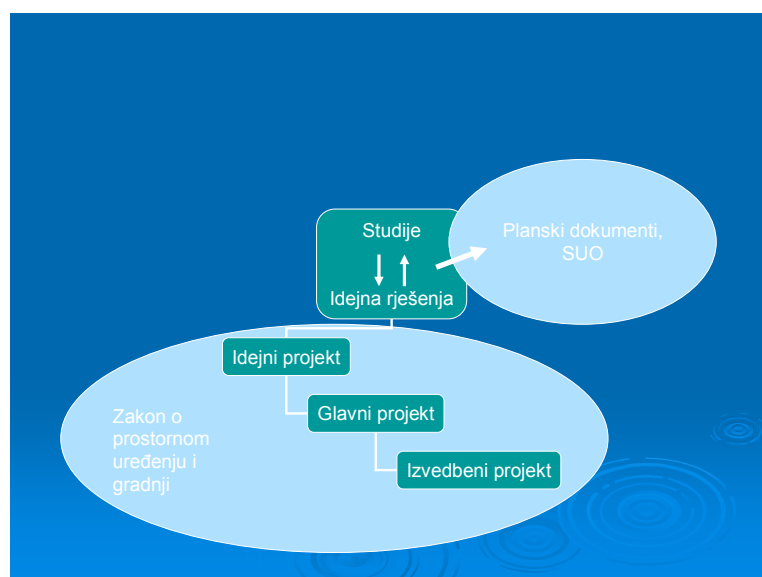
Građevinske konstrukcije moraju biti pouzdane. Pouzdanost u sebi sadrži sigurnost, funkcionalnost (uporabivost) i trajnost. Osim što moraju biti pouzdane, trebaju biti ekološki prihvatljivije, ekonomične i estetski oblikovane.

Za svaku građevinu potrebno je provesti nužne proračune kojima osiguravamo njihovu pouzdanost a koje možemo svrstati u dvije grupe: proračun funkcionalnosti i proračun konstrukcija. Proračun konstrukcija se sastoji od proračuna stabilnosti, proračuna mehaničke otpornosti (čvrstoće) i proračuna trajnosti.

Spomenute proračune najzornije je prikazati na pojednostavljenom primjeru brane. Brana mora biti takova da, kada se njome pregradi dolina, svojom visinom osigura dovoljan volumen akumulacijskog prostora (kriterij funkcionalnosti). Zatim mora biti takova da se ne prevrne, pomakne, zakrene,... dakle da se kao kruto tijelo ne promijeni položaj u prostoru (kriterij stabilnosti). Nadalje mora biti takove konstrukcije da uslijed opterećenja ne dođe do njenog loma ili pojave pukotina (kriterij mehaničke otpornosti). I konačno, mora biti izrađena tako da uz redovito održavanje u svom okruženju ostane sposobna za uporabu tijekom proračunskog radnog vijeka.

Proračunima se u stvari dokazuje zadovoljavanje postavljenih projektnih kriterija. Za svaki od navedenih proračuna određuju se projektni kriteriji koji se sastoje od projektnih uvjeta okruženja (npr. djelovanja) i graničnih vrijednosti za te uvjete (npr. naprezanja u konstrukciji). Projektni kriteriji određeni su propisima (npr. opterećenje željeznicom, širina ceste na kruni brane) ili ih je potrebno odrediti temeljem zahtjeva naručitelja i proračuna provedenih po pravilima struke (npr. visina brane,).

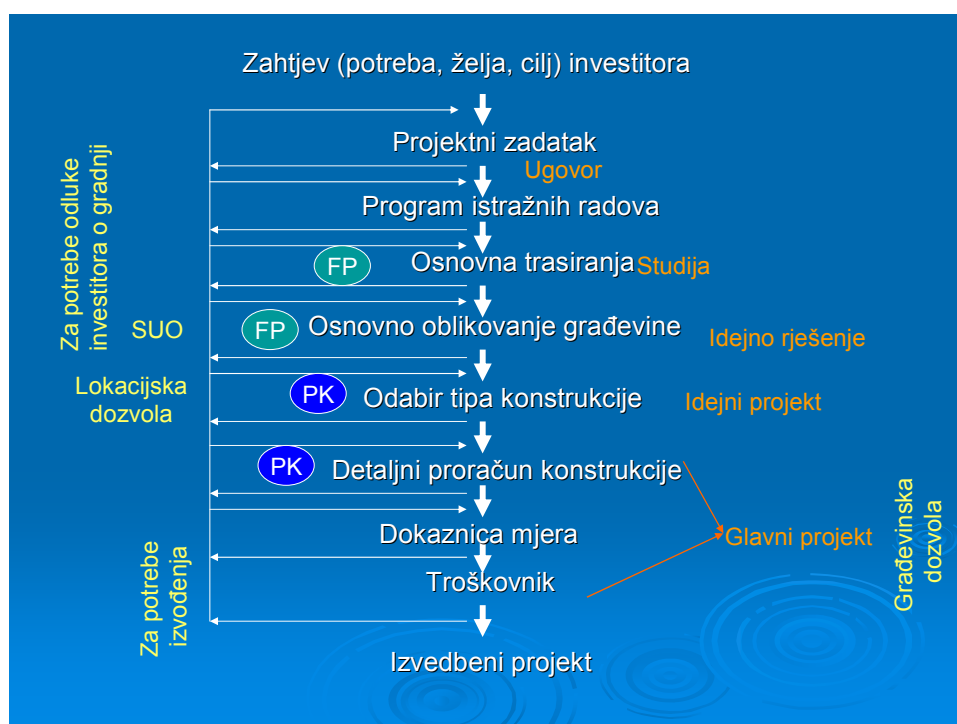
Navedeni proračuni provode se i dokumentiraju u studijama i projektima. Različite su razine projektiranja, a sukladno tim razinama provode se proračuni veće ili manje točnosti. Najnižu razinu projektiranja predstavljaju studije koje se koriste za izradu raznoraznih planova. Prilikom izrade studija koriste se okvirni proračuni provedeni na temelju raspoloživih projektnih podloga i općih inženjerskih saznanja. Nešto viši stupanj projektiranja predstavlja izrada idejnih rješenja. Zakonska pak regulativa razaznaje više stupnjeve projekata koji su rangirani u Idejne projekte, Glavne projekte i Izvedbene projekte. To je slijed razina projektiranja koji je obvezatan u postupku ishodačenja potrebnih dozvola za građenje i građenja. Za tu grupu projekata nužna je izrada detaljnijih podloga kako bi se proračuni proveli na bazi relevantnih podataka.



Slika 1.3.1::2

Razine projektiranja

Postavlja se pitanje u kojoj se fazi projektiranja provode proračuni funkcionalnosti (FP) i proračuni konstrukcija (PK). Bez obzira što postoje razlike kod projektiranja pojedinih tipova hidrotehničkih građevina, ipak postoji jedan osnovni slijed koji počinje sa željama (zahtjev, potreba, cilj) investitora. Slijedi izrada Projektnog zadatka. Radi se o inženjerskoj artikulaciji zahtjeva investitora. Projektni zadatak sadrži opis problema (inženjerske zadaće), definiranje projektnih kriterija te popis potrebnih podloga (geodetske, geološke, geomehaničke, hidrografske, hidrološke, hidrauličke, prostornoplanske, meteorološke, pedološke, projektne,...) temeljem kojih je moguće izraditi projektno rješenje. Treći korak je izrada Programa istražnih radova (geodetski, geološki, geomehanički, hidrografski,...). Tim programom određuje se obim i način izrade dodatnih istraživanja kako bi se dopunile postojeće dostupne podloge. U nastavku se, temeljem analize i razrade podloga te temeljem funkcionalnih analiza i proračuna rade osnovna trasiranja (tlocrtno pozicioniranje građevine). Dalje, sljedeći korak je osnovno oblikovanje građevine. Ono se provodi temeljem funkcionalnih analiza i proračuna, hidroloških proračuna i hidrauličkih proračuna. Daljnji korak je odabir tipa konstrukcije. Da bi se odabrao tip konstrukcije potrebno je poznavati tipična rješenja za date uvjete. Potrebno je provesti osnovne proračune konstrukcije (statičke, geomehaničke), te je potrebno ekonomski valorizirati svaki pojedini tip. U ovom koraku projektiranja treba imati u vidu tehnologiju izgradnje (mogućnost i način izgradnje)! Nakon odabira tipa konstrukcije potrebno je provesti detaljni proračun i razradu svih elemenata konstrukcije. Slijedi izrada dokaznice mjera, pa troškovnika i konačno za izvedbu detaljne nacрте i proračune detalja (planovi oplate, planovi armature, ...). Kako je projektiranje iterativan postupak do iznalaženja konačnog rješenja, sa svakog koraka bit će potrebno vraćati se na jedan od prethodnih (koji puta bit će potrebno preskočiti unazad više koraka).



Slika 1.3.1::3 Pojednostavljeni primjer slijeda projektiranja

Specifičnost hidrotehničkih građevina je u tome da se projektni kriteriji vezani uz vodu mahom vežu uz vjerojatnost njihova pojavljivanja. U hidrotehničkoj se praksi vjerojatnost pojavljivanja opisuje tzv. povratnim periodom (PP, RP, period ponavljanja, razdoblje

ponavljanja). Predstavlja recipročnu vrijednost vjerojatnosti pojavljivanja događaja $p(x)$ jednom u povratnom periodu (PP) izraženom u godinama ($P(x)=1/PP[\text{godina}]$). Na primjer, vjerojatnost pojavljivanja događaja x povratnog perioda od 100 godina je $P(x)=0,01$.

Kako dolazimo do tih podataka? Temeljem izmjerenih hidroloških veličina (protoci, vodostaji, oborine) kroz duže vremensko razdoblje (10 – 50 - >100 godina), nakon osnovne hidrološke obrade (statistička obrada), korištenjem računa vjerojatnosti prognoziramo vjerojatnost pojave.

Moramo biti svjesni da pri tome ne možemo predvidjeti pojavu nekog događaja, već samo možemo teorijski odrediti vjerojatnost da se taj događaj desi u nekom vremenskom razdoblju. Na primjer, ne možemo znati kada će se pojaviti velika voda u rijeci povratnog perioda od 100 godina, koja može poplaviti neko područje. Ali zato možemo izračunati rizik da se ta velika voda pojavi u nekom vremenskom razdoblju.

Rizik pojave događaja definira se kao vjerojatnost pojave događaja (ili premašenja) definiranog povratnog razdoblja $PP[\text{god}]$, jednom u životnom vijeku konstrukcije $LT[\text{god}]$. Izvodi se iz vjerojatnosti premašenja slučajne varijable ekstrema kao:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{PR}\right)^{LT} \quad \forall \quad LT > 1$$

gdje su:

$R[1^\circ]$	rizik izlaganja građevine projektnim uvjetima i težim od njih
$PR[\text{god}]$	povratno razdoblje razmatranog djelovanja na građevinu
$LT[\text{god}]$	projektni vijek uporabe građevine,

U donjoj tablici prikazane su vrijednosti rizika pojave (ili premašenja) događaja projektnog povratnog perioda jednom u vremenu projektnog vijeka uporabe građevine. Treba primijetiti da je rizik da se pojavi (ili premaši) neki vodni val povratnog perioda 100 godina jednom u 100 godina $R=0.63$. Dakle rizik je manji od 1, što znači da nije sigurno da će se u 100 godina pojaviti vodni val 100 godišnjeg povratnog perioda.

Projektni povratni period [god.]	Projektni vijek uporabe građevine [god.]					
	2	10	25	50	100	200
2	0.750	0.999	~1.000	~1.000	~1.000	~1.000
10	0.190	0.651	0.928	0.995	~1.000	~1.000
50	0.040	0.183	0.397	0.636	0.867	0.982
100	0.020	0.096	0.222	0.395	0.634	0.866
200	0.010	0.049	0.118	0.222	0.394	0.633
500	0.004	0.020	0.049	0.095	0.181	0.330
1,000	0.002	0.010	0.025	0.049	0.095	0.181
2,000	0.001	0.005	0.012	0.025	0.049	0.095
10,000	0.0002	0.001	0.002	0.005	0.010	0.020

Tablica 1.3.1.:! Rizik - vjerojatnost pojave (ili premašenja) događaja projektnog povratnog perioda jednom u vremenu projektnog vijeka uporabe građevine

Projektne kriterije se određuju za proračune funkcionalnosti i za proračune konstrukcije. Ako npr. govorimo o djelovanju vode, kao jednom od projektne kriterija, tada ćemo se susresti sa različitim povratnim periodima djelovanja za istu građevinu. Za primjer možemo uzeti opet pojednostavljeni primjer brane. Neka je namjena brane formiranje akumulacije za vodoopskrbu nekoga područja koje troši 250 l/stanovniku/dan. Funkcionalni je kriterij da se osigura volumen vode koji će biti dostatan da osigura navedenu količinu za povratno razdoblje od 25 godina. Prema tome kriteriju će se odrediti veličina akumulacije, odnosno položaj i visina brane. Znači, pojednostavljeno, akumulacija će biti dovoljna da neće biti nestašice vode češće nego li jednom u 25 godina. Nikakva tragedija se neće desiti ukoliko jedan dan u 25 godina neće biti osigurana svim stanovnicima maksimalna količina vode od 250 l/stanovniku. S druge strane, kriterij za proračune konstrukcije mora biti puno stroži s puno većim povratnim periodom. Razlog je da smanjimo opasnost od rušenja zbog kojeg bi moglo doći do ljudskih žrtava i velikih materijalnih šteta. Tako će za proračune konstrukcije brane mjerodavni povratni periodi biti reda veličine 1.000 do 10.000 godina.

U nastavku ćemo se posebno baviti hidrotehničkim djelovanjima na konstrukcije, te posebnim djelovanjima na konstrukcije koja su specifično vezana uz njihovu namjenu. Tako ćemo, na primjer tumačiti i djelovanje broda na keji, lučko opterećenje,... itd. To nisu hidrotehnička opterećenja ali su vezana uz namjenu građevine i ne spadaju u tipična djelovanja okoliša koje djeluje na većinu ostalih građevina (vlastita težina, vjetar, snijeg i sl.)

1.3.1 Proračuni funkcionalnosti

Proračuni funkcionalnosti hidrotehničkih građevina su specifični. Za druge tipove građevina funkcionalni elementi uglavnom su vezani uz normirane zahtjeve. Na primjer visina etaže u visokogradnji (ovisno o namjeni), minimalni radijusi zavoja u cestama i širina kolnika (ovisno o kategoriji ceste) itd. Funkcionalni zahtjevi hidrotehničkih građevina uglavnom su vezani uz vjerojatnost pojavljivanja vodostaja i protoka. To znači da u pravilnicima, normama i preporukama za projektiranje nećemo imati definirane apsolutne vrijednosti protoka i vodostaja mjerodavnih za funkcionalne analize hidrotehničkih građevina. Imat ćemo samo određene povratne periode pojavljivanja mjerodavnih događaja, a primjerim hidrološkim i hidrauličkim proračunima morat ćemo odrediti pripadajuće veličine (protoke i vodostaje). Jasno je, da i hidrotehničke građevine imaju neke normirane funkcionalne zahtjeve (npr. širina kolnika preko krune brane, ...) no o njima ovdje nećemo govoriti. Raznovrsnost hidrotehničkih građevina i hidrotehničkih sustava unutar kojih se nalaze hidrotehničke građevine uvjetuje postojanje široke lepeze projektne (mjerodavne) povratne periode.

Funkcionalni zahtjevi hidrotehničkih građevina za zaštitu područja od poplava

Građevine za zaštitu od poplava moraju spriječiti poplavljanje područja za hidrološke pojave povratne periode 25, 100 i 1000 i više godina. Sprječavanje poplava se postiže odabirom sustava, prostornim rasporedom te oblikovanjem geometrije pojedinih građevina sustava. Na primjer grad Zagreb se štiti od poplavnih voda rijeke Save sustavom sa građevinama odteretnog kanala i hidrotehničkih nasipa uzduž korita.

Odteretni kanal i nasipi su smješteni u prostoru i imaju definiranu geometriju (širina, dubina, visina, nagibi pokosa, uzdužni pad, ...).

Odabir mjerodavnog povratnog perioda vezan je uz način korištenja zemljišta koje se brani. Tako će za zaštitu poljoprivrednog zemljišta uglavnom biti odabran povratni period od 25 godina, za zaštitu manjih naselja 100 godina, a za zaštitu gradova i vrijednih područja 1000 godina. Navedene vrijednosti se uglavnom koriste kod nas, s time da ih određuje stručna služba Hrvatskih voda u okviru tzv. Vodopravnih uvjeta. U drugim zemljama postoje različiti pristupi, pa recimo prema DEFRA (UK Department for Environment, Food and Rural Affairs) kriteriji stupnja rizika za zaštitu od poplava ovise o korištenju zemljišta koje je svrstano u 5 kategorija (vidi tablicu u nastavku).

Korištenje zemljišta [kategorija]	Povratni period [god]
A	50-200
B	25-100
C	5-50
D	1,25-10
E	<2,5

Tablica 1.3.1:I Kriteriji stupnja rizika za zaštitu od poplava - DEFRA (UK Department for Environment, Food and Rural Affairs)

Kategorija korištenja zemljišta određuje se s obzirom na broj stambenih jedinica po km duljine obale vodotoka (jednostrano). Definicija kategorija dana je u donjoj tablici.

Korištenje zemljišta [kategorija]	Broj stambenih jedinica/km ¹ obale	Opis
A	>50	Razvijena urbana zona
B	>25 – 50	Manje razvijena urbana zona
C	>5 - <25	Razvijena ruralna zona
D	>1,25 - <5	Srednje razvijena ruralna zona
E	0 - <1,25	Slabo razvijena ruralna zona

Tablica 1.3.1:II Kategorija korištenja zemljišta za zaštitu od poplava - DEFRA (UK Department for Environment, Food and Rural Affairs)

Odabir povratnog perioda uvelike je vezan uz stupanj povjerenja u prognoze mjerodavnih veličina. Ukoliko nemamo dovoljno pouzdane podatke o hidrološkim veličinama temeljem kojih prognoziramo događaje većih povratnih perioda, sigurnost funkcioniranja objekta je upitna. U tim slučajevima, uz inženjersku argumentaciju, možemo odabrati veći povratni period (npr. povratni period od 200 godina umjesto 100 godina). Drugi pristup je uvođenje strožih kriterija prilikom oblikovanja konstrukcije (na primjer odaberemo veće nadvišenje krune nasipa iznad mjerodavnog vodostaja: umjesto kod nas uobičajenih 1,2 m odaberemo nadvišenje od 1,5 m).

Funkcionalni zahtjevi hidrotehničkih građevina za odvodnju

Odvodnja podrazumijeva sustav hidrotehničkih građevina kojima se prikuplja voda s površine terena te se provodi i ispušta u za to sposoban prijemnik. U hidrotehničkoj praksi odvodnja se radi za poljoprivredna zemljišta, naseljene sredine, te prometnice. Odabir povratnog perioda mjerodavnog za dimenzioniranje odvodnje je ekonomska kategorija. Povećanjem mjerodavnog povratnog perioda povećavaju se mjerodavni protoci i vodostaji, a time se poskupljuje tehničko rješenje. Tako je uglavnom potrebno načiniti tehničko-ekonomsku analizu kojom se utvrđuje isplativost izvedbe sustava za odvodnju. Odnosno cijena izgradnje sustava mora biti prihvatljiva i ne bi trebala prelaziti vrijednost spriječenih šteta koje bi nastale uslijed potapanja štice područja. No to nije jedini kriterij! Konkretno, ako se radi o sustavima za odvodnju poljoprivrednih zemljišta, povratni period mjerodavne oborine iznosi 5-25 godina. Nadalje za odvodnju naselja koristi se povratni period mjerodavne oborine od 0,5 – 2 - 5 godina. Za prometnice, taj kriterij je propisan i vezan je uz sigurnost vožnje. Tako je za odvodnju prometne površine za autoceste i ceste rezervirane za promet motornim vozilima mjerodavni povratni period oborine 10 godina, dok je za ostale ceste 2-5 godina.

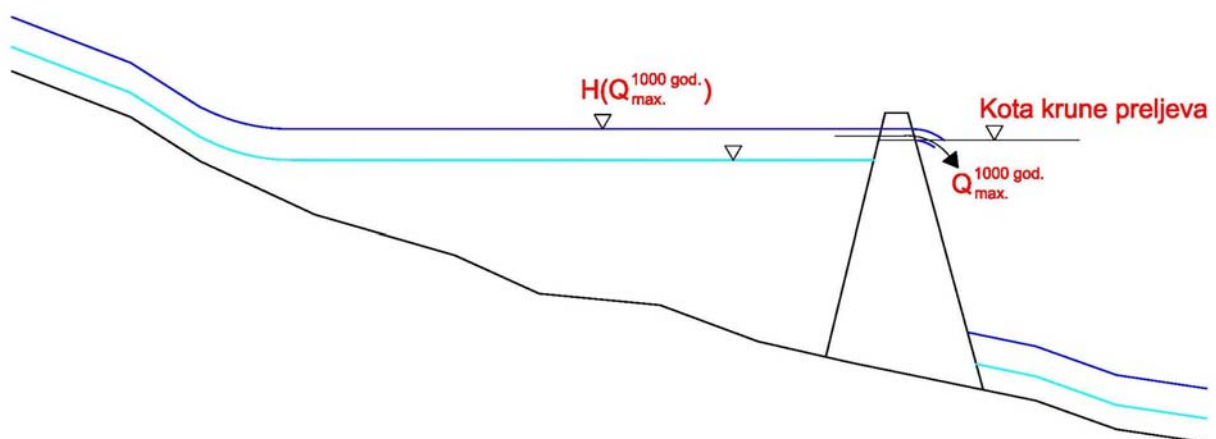
Postavlja se pitanje zašto je za odvodnju poljoprivrednog zemljišta postavljen stroži kriterij nego li za oborinsku odvodnju naselja. Opravdanje se vidi upravo u usporedbi troškova izgradnje i koristi (spriječenih šteta) sustava za odvodnju. Slijedi vrlo pojednostavljena principijelna analiza. Sustav odvodnje poljoprivrednog zemljišta uglavnom se oslanja na mrežu otvorenih zemljanih kanala čija je izgradnja relativno jeftina, a poljoprivredno zemljište koje se zauzima njihovom izgradnjom puno je jeftinije nego zemljište u naseljima. S druge strane, potapanje usjeva ima za posljedicu znatno smanjenje prinosa, što uzrokuje velike materijalne štete. Usporedno, izgradnja sustava za oborinsku odvodnju naselja sa podzemnim kolektorima je skupa, a potapanje površina u naselju obično izaziva blokadu prometa bez nekih velikih izravnih šteta.

Funkcionalni zahtjevi hidrotehničkih građevina za korištenje vode

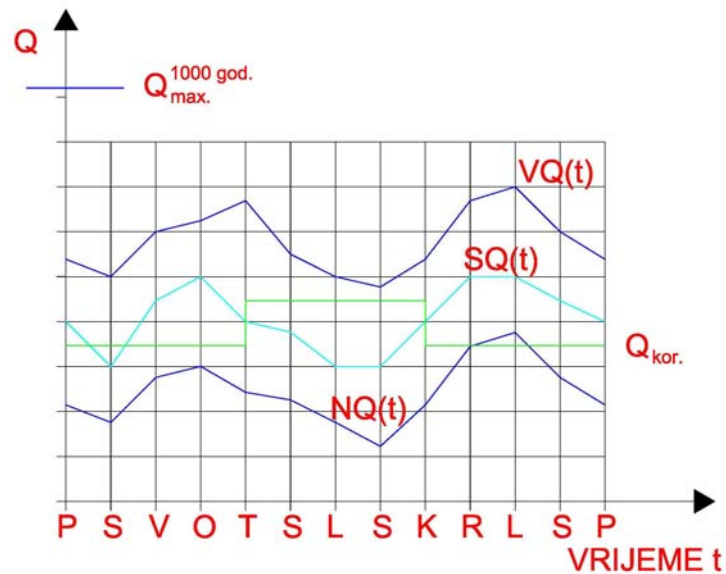
Voda se može koristiti kao sirovina, kao medij, a može se koristiti i njen potencijal. Kao sirovina se koristi za piće, za navodnjavanje, kao rashladna voda i sl. gdje nakon uporabe voda mijenja svoje fizikalno – kemijske osobine. Kao medij vodu koristimo za potrebe plovidbe, športa i rekreacije i sl., a vodni potencijal se koristi za potrebe proizvodnje energije. U ova dva potonja slučaja ne mijenjaju se fizikalno-kemijske osobine vode. Kako je veliki dijapazon načina korištenja voda, tako je i veliki raspon različitih funkcionalnih kriterija. U nastavku ćemo na par pojednostavljenih primjera pokušati objasniti neke od funkcionalnih kriterija.

Funkcionalni zahtjevi hidrotehničkih građevina za korištenje voda vezani su uz zahtjeve korisnika, ali voda je prirodni resurs sa svojim zakonitostima pojavljivanja. Tako, na primjer, akumulacija vode treba biti toliko velika da zadovolji potrebe korisnika vode iz akumulacije. Međutim tu nikako ne smijemo zaboraviti da se akumulacije uglavnom rade na prirodnim vodotocima koji na nju utječu vodama svoga sliva. To znači da će se pojaviti neki hidrološki događaj koji će imati svoju vjerojatnost pojavljivanja, a kada će dotok u akumulaciju biti veći od potreba korisnika.

Konkretnije, branu kao hidrotehničku građevinu, u funkcionalnom pogledu oblikovat ćemo tako da formira akumulaciju. Ta akumulacija mora uskladiti prirodne dotoke i potrebe za vodom (slika 1.3.1:1). Takovo izravnjavanje radi se ili za prosječne uvjete ili za minimalne uvjete dotoka vode u akumulaciju. Npr. načini se analiza prosječnih (ili minimalnih) dotoka (prosjeak iz višegodišnjeg niza opažanja) vode i akumulaciju. Potrebe za vodom se namiruju na način da se u akumulaciji zadrži određena količina vode kada je dotok veći od potreba, da bi se ta voda kasnije, kada je dotok manji od potreba, koristila. To nam je funkcionalni kriteriji s aspekta korisnika za određivanje potrebnog volumena akumulacije, odnosno položaja i potrebne visine brane. Znači u funkcionalnu analizu ulaze prosječni (ili minimalni) protoci vode. U slučaju pojave većeg dotoka u akumulaciju od njenog kapaciteta, morat ćemo na brani predvidjeti preljev preko kojega će se ta voda evakuirati. U tome slučaju preljev će trebati dimenzionirati na ekstremni protok određenog povratnog perioda (Preljev je dio brane koji osigurava da se voda kontrolirano propušta preko brane - nekontrolirano prelijevanje vode preko krune brane nije „dozvoljeno“) (slika 1.3.1:2). Tako će funkcionalni kriterij za dimenzioniranje preljeva biti maksimalni protok vodnog vala koji nailazi na branu i to povratnog perioda 1.000 do 10.000 godina (Nonveiller). Visoka sigurnost zahtijevana je iz razloga sigurnosti brane kao građevine. S jedne strane je razlog stupnja povjerenja u točnost hidroloških proračuna. S druge strane kako nekontrolirano prelijevanje ne bi uzrokovalo rušenje građevine (nasuta brana) što bi za posljednju imalo velike materijalne štete i eventualne ljudske žrtve.



Slika 1.3.1:1 Shematizirani uzdužni presjek kroz akumulaciju



Slika 1.3.1:2 Godišnji hidrogram za neki vodotok (VQ- veliki protoci, SQ-srednji protoci, NQ- mali protoci, $Q_{kor.}$ –potrebe korisnika)

Drugi primjer funkcionalnih proračuna konstrukcija bit će primjer luke na moru. Zahtjevi za luku su da bude sigurno mjesto na kojem se nesmetano mogu obavljati manevri brodova i lučki procesi (utovar, istovar, ...). Za to je potrebno izgraditi niz građevina (lukobran, gatovi, kejevi, ...). Zadržat ćemo se samo na primjeru lukobrana. U funkcionalnom smislu njegov položaj i njegova geometrija moraju biti takvi da štite akvatorij luke od valova. Zahtjev je da valovi u lučkom akvatoriju ne budu veći od određene vrijednosti za maksimalne valove čiji je povratni period od 1-5 godina. Jasno je da su projektni kriteriji za lukobran za zahtjeve konstrukcije puno stroži (povratni periodi 100 i više godina)!

1.3.2 Proračuni hidrotehničke konstrukcije

SL1

Radi se o proračunima nosivosti (stabilnost i slom) i uporabljivosti. No ti proračuni se razlikuju ako se radi o fleksibilnim i o krutim konstrukcijama.

1.3.2.1 Proračuni fleksibilne hidrotehničke konstrukcije

Kod "*fleksibilnih*" hidrotehničkih konstrukcija to se odnosi uglavnom na proračune "*hidrauličke*" stabilnosti u struji vode. Za takve konstrukcije (na pr. obaloutvrda, prokop meandra, prag, obloga gabionskim madracima, obloga lukobrana, biološke vodogradnje....) proračuni kod nas uglavnom nisu zakonski propisani nego se provode prema opće poznatim pravilima struke, preporukama strukovnih udruženja ili općeprihvaćenim propisima drugih država. Dat će se detaljno u ostalim poglavljima ovog kolegija zajedno s pripadnim projektnim kriterijima. Temeljni principi proračuna takve konstrukcije su da kroz radni vijek omogući predviđenu uporabu i da može preuzeti djelovanja i utjecaje vode na ekonomičan i pouzdan način. [PM]

1.3.2.2 Proračuni krute hidrotehničke konstrukcije

Kod "*krutih*" hidrotehničkih (i svih drugih) konstrukcija proračuni su zakonski propisani i provode se prema, kod nas usvojenom, EUROPSKOM NORMOM (EN)* što uključuje:

1) proračune nosivosti po graničnim stanjima nosivosti, (LS1 - Limit State

1) EAU2004,5 HRN ENV 1991 1:1994,14

2) proračune uporabljivosti po graničnim stanjima uporabljivosti, (LS2 - Limit State 2) i HRN ENV 1991 1:1994,14 EAU2004,5

3) Proračune trajnosti.

*U Hrvatskoj je u stvari usvojena EUROPSKA PREDNORMA - ENV i pretočena u hrvatsku notmu pod oznakom HRN ENV. Danas je u Europi već u potpunosti na snazi EUROPSKA NORMA - EN, a uskoro se uvodi i kod nas.

Pojedine hidrotehničke konstrukcije, neke razmatrane HG, proračunavaju se svaka zasebno, no kod svakog tog proračuna mora se uzeti u obzir djelovanje susjedne građevine ako ga ima. [PM]

Europske norme; t.z.v. "EUROPSKA NORMA" (EN) donesene su radi formiranja harmoniziranih direktiva za temeljne sigurnosne zahtjeve građevina i konstrukcija u okviru jedinstvenog europskog tržišta. Nazivi normi i njihove oznake dane su u (Tab. 1.3.2.2.:I). Od spomenutih europskih normi u Hrvatskoj su od 2007. godine na zakonskoj snazi: Osnove proračuna i djelovanja na konstrukcije HRN ENV 1991, Betonske konstrukcije - HRN ENV 1992, Zidane konstrukcije - HRN ENV 1996 i Potresni proračun HRN ENV 1998. I ostale se mogu koristiti, ali ne obavezno, i nisu prevedene na hrvatski jezik.

	EUROPSKA	EUROPSKA	HRVATSKA
Osnove projektiranja	ENV 1990	EN 0	HRN ENV 1991
Djelovanja na konstrukciju	ENV 1991	EN 1	
Betonske konstrukcije	ENV 1992	EN 2	HRN ENV 1992
Čelične konstrukcije	ENV 1993	EN 3	HRN ENV 1993
Spregnute čelične i bet. konstrukcije	ENV 1994	EN 4	HRN ENV 1994
Drvene konstrukcije	ENV 1995	EN 5	HRN ENV 1995
Zidane konstrukcije	ENV 1996	EN 6	HRN ENV 1996
Geotehnički proračun	ENV 1997	EN 7	HRN ENV 1997
Potresni proračun	ENV 1998	EN 8	HRN ENV 1998
Aluminijske konstrukcije	ENV 1999	EN 9	HRN ENV 1999

Tab. 1.3.2.2.: Nazivi i oznake europskih i hrvatskih normi za proračun konstrukcija

Ovo poglavlje HG odnosi se na dio EN-e "Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukciju" HRN ENV 1991. No naglasak je na specifičnostima djelovanja (opterećanja) na HG, dok se proračunavanje konstrukcija obrađuje u drugim kolegijima. Djelovanja na građevinske konstrukcije sistematizirana su i definirana u HRN ENV 1991 u skladu s proračunima konstrukcije metodom graničnih stanja.

Temeljni principi proračuna hidrotehničkih (i drugih) konstrukcija su da konstrukcija kroz proračunski radni vijek omogući predviđenu uporabu i da može preuzeti sva djelovanja i utjecaje na ekonomičan i pouzdan način. ~~HRN ENV 1991 1:1994,12~~ Filozofija proračuna konstrukcije metodom graničnih stanja po EN-i je da za svako granično stanje moraju biti ispunjeni proračunski kriteriji (\leq) koji opisuju uvjete koje konstrukcija mora ispuniti. ~~HRN ENV 1991 1:1994,9~~ Tako je na pr. za granično stanje **nosivosti** kod ispitivanja **stabilnosti** kriterij da proračunski učinci destabilizacijskih djelovanja moraju biti \leq od proračunskih učinaka stabilizacijskih djelovanja, a kod proračuna **sloma** da proračunski učinci djelovanja moraju biti \leq od proračunske otpornosti konstrukcije (naprezanja, deformacije, pomaci...). ~~HRN ENV 1991 1:1994,22,23~~ Za granično stanje **uporabljivosti** kriterij je da proračunski učinci djelovanja moraju biti \leq od nazivnih vrijednosti proračunskih svojstava gradiva (deformacije konstrukcije, oštećenja-pukotine, vibracije) ~~HRN ENV 1991 1,26~~ ~~EN 199:202,46~~ Proračuni **trajnosti** su propisani EN-om kroz zahtjeve za gradiva, proračun konstrukcije, tehnologiju gradnje i kontrolu kakvoće. [Bjeg]

Pouzdanost konstrukcije je vjerojatnost da konstrukcija neće otkazati u razdoblju trajnosti građevine. Ona je osigurana kroz proračun konstrukcije po konceptu parcijalnih koeficijenata sigurnosti. Stoga se pouzdanost kod standardnih konstrukcija u pravilu ne proračunava, jer su parcijalni koeficijenti za a takve objekte (tabulirani u EN-i) izvedeni baš takvim proračunom. ~~BA#~~

Koncept proračuna pouzdane konstrukcije metodom graničnih stanja uz primjenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti je u tome da se grupe djelovanja (atalna-G, promjenjiva-Q i izvanredna-A) slične prirode uvećavaju množenjem s "parcijalnim faktorima sigurnosti" nosivosti ili uporabljivosti za djelovanja " γ " gdje je u principu $\gamma \geq 1$ (na pr. za stalno najčešće su: $\gamma_G=1,35$, za promjenjivo $\gamma_Q=1,5$ i za izvanredno $\gamma_A=1$). No kad na konstrukciju djeluje više promjenjivih djelovanja istovremeno ona se mmože još i s

"koeficijentima kombinacije" za promjenljiva djelovanja " ψ ". Čije su vrijednosti $\psi \leq 1$. ~~HRN ENV 1991-1,25,26~~. Spomenuti faktori sigurnosti i koeficijenti kombinacije definirani su u HRN ENV 1991. S druge strane karakteristična vrijednost svojstva gradiva (najčešće neka granična čvrstoća) dijeli se s "parcijalnim koeficijentom sigurnosti" za svojstvo gradiva " $\gamma_{M \geq 1}$ " (na pr. najčešći za beton su $\gamma_M = 1,5$, a za armaturni čelik $\gamma_M = 1,15$, a za koeficijent trenja između tla i betona; t.j. za tg Φ ~~HRN ENV 1997-1,15~~ $\gamma_M = 1,1$). Parcijalni koeficijenti sigurnosti γ_M definirani su u HRN ENV 1992 - 1999 za svaki građevinski materijal. Pojednostavljeno rečeno stvarna se djelovanja "umjetno povećavaju" parcijalnim faktorima sigurnosti za djelovanja " γ ", a otpornosti gradiva se "umjetno smanjuju" parcijalnim koeficijentima sigurnosti za gradiva " γ_M ". I jedno i drugo je na strani sigurnosti. Parcijalni faktori i koeficijenti u biti trebaju anulirati nesigurnosti i netočnosti: djelovanja, otpornosti gradiva, geometrije, modela djelovanja i modela proračuna konstrukcije. S tako definiranim proračunskim vrijednostima djelovanjima (u stvari s njihovim kombinacijama) i tako definiranim proračunskim vrijednostima otpornosnih svojstava gradiva vrši se proračun konstrukcija provjerom *graničnih stanja nosivosti* ~~HRN ENV 1991-1,14~~ (LS1 - Limit State 1, engl. Ultimate Limit State) i provjera *graničnih stanja uporabivosti* (LS2 - Limit State 2, engl. Serviceability Limit State). Ne rade se sve provjere graničnih stanja pri projektiranju svake konstrukcije, nego samo onih graničnih stanja koja se kod razmatrane konstrukcije mogu javiti!

U numeričkom smislu proračunom konstrukcije po EN provjerava se kriterij da je proračunska vrijednost učinka djelovanja E_d manja ili jednaka (\leq) od otpornosti konstrukcije R_d za nosivost – LS1, ili od nazivne vrijednosti proračunskih svojstava gradiva C_d za uporabivost – LS2. To se načelno izražava:

$$E_d \leq R_d \quad \text{kriterij kod provjere po graničnim stanjima nosivosti – LS1}$$

$$E_d \leq C_d \quad \text{kriterij kod provjere po graničnim stanjima uporabivosti – LS2}$$

Pritom su najvažniji pojmovi i oznake:

- γ** **parcijalni faktor sigurnosti nosivosti ili uporabivosti za djelovanja** definiran u HRN ENV 1991 1-1. Veličina za nosivost uglavnom mu je $\gamma \geq 1$, a samo u nekim slučajevima (kod stabilizacijskih djelovanja u proračunu stabilnosti) $\gamma < 1$, dok je za uporabivost uglavnom $\gamma = 1$ osim ako prema HRN ENV 1992 do HRN ENV 1999 nije drukčije definirano. ~~HRN ENV 1991-1,12,25~~
- ψ** **koeficijent promjenljivog djelovanja**; za zgrade $\psi \leq 1$ ~~HRN ENV 1991-1,26~~
- ψ_0** **koeficijent za kombinaciju promjenljivog djelovanja** definiran u HRN ENV 1991 1-1 ~~HRN ENV 1991-1,12~~
- ψ_1** **koeficijent za čestu (prevladavajuću, dominantnu) vrijednost promjenljivog djelovanja** definiran u HRN ENV 1991 1-1 ~~HRN ENV 1991-1,12~~
- ψ_2** **koeficijent za nazovistalnu vrijednost promjenljivog djelovanja** definiran u HRN ENV 1991 1-1 ~~HRN ENV 1991-1,12~~
- γ_M** **parcijalni koeficijent sigurnosti za svojstvo gradiva** $\gamma_M \geq 1$, modela i geometrije definiran u HRN ENV 1991: 2-9 ~~HRN ENV 1991-1,12,22~~ $\gamma_M \geq 1$
- γ_R** **parcijalni koeficijent sigurnosti za otpornost gradiva** ~~HRN ENV 1991-1,12,22~~

- F** **Djelovanje** podrazumijeva opterećenja (sile) i prisilne utjecaje prirodnog ili umjetnog okoliša na konstrukciju. [PM] Razlikuje se djelovanje
- koje djeluje izravno na konstrukciju: sila (opterećenje) HRN-ENV-1991-1:1994,10,15
 - koje djeluje neizravno na konstrukciju: prisilna deformacija (temperatura, vlaga, nejednoliko slijeganje temelja) ili prisilna akceleracija (potres, vjetar, rad stroja) HRN-ENV-1991-1:1994,10,15 Oznake su još i G za stalno i P za prednapinanje koje je također stalno, Q za promjenljivo, A za izvanredno i A_E za potresno. HRN-ENV-1991-1:1994,10,15

- F_k** **Karakteristična vrijednost djelovanja** je reprezentativna vrijednost djelovanja. HRN-ENV-1991-1:1994,10,16
 Određuje se u biti statistički: najčešće kao srednja vrijednost djelovanja a za neke konstrukcije i proračune kao gornja ili donja vrijednost definirana statistički. Oznake su još i G_k i P_k za stalno, Q_k za promjenljivo, A_k za izvanredno i A_{E,k} za potresno. HRN-ENV-1991-1:1994,10,16

F_d=γ_F×F_{repr} **Proračunska vrijednost djelovanja** je reprezentativna vrijednost djelovanja F_{repr} pomnožena s parcijalnim faktorom sigurnosti djelovanja γ_F. F_{repr} ≡ G_k, P_k, A_k, ψQ. Oznake su još i G_d=γ_G×G_k ili G_k, P_d=γ_P×P_k ili P_k za stalno, Q_k=γ_Q×Q_k, γ_Q×ψ₀×Q_k, ψ₁×Q_k, ψ₂×Q_k ili Q_k za promjenljivo, A_d=γ_A×A_k ili A_k za izvanredno i A_{E,d}=A_{E,k} za potresno. HRN-ENV-1991-1:1994,10,21 Za izračunavanje proračunskih vrijednosti djelovanja množe se karakteristične vrijednosti djelovanja s parcijalnim faktorima "γ", a karakteristične vrijednosti promjenljivih djelovanja u nekim slučajevima još i s koeficijentima kombinacije "ψ". Potresno djelovanje se ne ponderira.

$$\sum G_d + P_d + \sum Q_d + \sum A_d + A_{E,k} = \sum (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_P \cdot P_k + \sum (\gamma_Q \psi_0 \psi_1 \psi_2 \cdot Q_k) + \sum \gamma_A A_d + A_{E,k}$$

Proračunska situacija djelovanja je kombinacija svih ili nekih proračunskih vrijednosti djelovanja koja se na nekoj konstrukciji mogu desiti istovremeno. HRN-ENV-1991-1:1994,13,21,23

- E** **Učinak djelovanja** je odziv konstrukcije na djelovanje koji može biti: HRN-ENV-1991-1:1994,10,11,24
- **glede čvrstoće** [PM]: naprezanje (najčešće); odnosno unutarnja sila, relativna deformacija i pomak konstrukcije HRN-ENV-1991-1:1994,10,24 te razlika naprezanja kod zamora gradiva HRN-ENV-1991-1:1994,14 (za sve nabrojeno skraćenica je unutarnja sila HRN-ENV-1991-1:1994,10).
 - **glede uporabljivosti**: [PM] deformacija, pomak ili ubrzanje konstrukcije, oštećenje (pukotine), vibracije HRN-ENV-1991-1:1994,15,21,26 (skraćeno odzivi uporabljivosti konstrukcije) [PM]

E_d=f(G_d, P_d, Q_d, A_d) **Proračunska vrijednost učinka djelovanja** je odziv konstrukcije na neku proračunsku situaciju djelovanja HRN-ENV-1991-1:1994,24 E_d se izražava: a) kod proračuna stabilnosti kao proračunska vrijednost učinka destabilizirajućih djelovanja, b) kod proračuna nosivosti kao naprezanje (najčešće); odnosno unutarnja sila, relativna deformacija i pomak konstrukcije HRN-ENV-1991-1:1994,10,24 te razlika naprezanja kod zamora gradiva HRN-ENV-1991-1:1994,14 (za sve nabrojeno skraćenica je unutarnja sila) ili c) kod proračuna uporabljivosti kao deformacija, pomak ili ubrzanje konstrukcije, oštećenje (pukotine), vibracije HRN-ENV-1991-1:1994,15,21,26 (za sve nabrojeno skraćenica je odziv uporabljivosti konstrukcije) [PM]. Najuprošćenije rečeno E_d je funkcija od sume djelovanja pomnoženik (uvećanih) s parcijalnim koeficijentima sigurnosti za opterećenja, od geometrije konstrukcije, te od svojstva materijala {na pr $\sigma = \sum M(E_d)/W$ ili $\delta = f[\sum M(E_d)]/EI$ } [PM]. No kod proračuna stabilnosti E_d je suma djelovanja koja su pomnožena (uvećana) s parcijalnim koeficijentima sigurnosti za opterećenja.

- X** **Svojstvo gadiva** (uključivo tlo) je mehaničko svojstvo glede čvrstoće i krutosti HRN ENV 1991-4:1994,10,12,17 kao na pr.: čvrstoća, modul elastičnosti, poissonov koeficijent; ali i sva druga fizikalna svojstva kao na pr. gustoća mase, trenje, temperaturno izduženje, [PM] Ako se radi o čvrstoći koja ima oznaku f onda vrijedi $X \equiv f$ [PM]
- X_k** **Karakteristična vrijednost svojstva gadiva** je statistički određeno svojstvo. Za čvrstoću to je najčešće 5%fraktil (može biti i gornja i donja vrijednost), a za krutost srednja vrijednost HRN ENV 1991-4:1994,10,11,12,17 Karakteristične vrijednosti svojstava gradiva nalaze se u HRN ENV 1992-9 HRN ENV 1991-4:18 Ako se radi o čvrstoći, koja ima oznaku f , onda vrijedi $X_k \equiv f_k$ [PM]
- $X_d = X_k / \gamma_M$** **Proračunska vrijednost svojstva gadiva** je X_k podijeljena s parcijalnim koeficijentom sigurnosti za materijal γ_M HRN ENV 1991-4:1994,10,11,11,12 Ako se radi o čvrstoći koja ima oznaku f onda vrijedi $X_d \equiv f_k / \gamma_M$ [PM]
- f** **Čvrstoća** je mehaničko svojstvo *gradiva* (uključujući tlo i stijenje) da se odupre djelovanju, najčešće izraženo u jedinicama naprezanja HRN ENV 1991-4:1994,10,17 EN 1990:2002,14,24 HRN ENV 1992-4:1,12 U sustavu oznaka $f \equiv X$ [PM]
- f_k** **Karakteristična vrijednost čvrstoće gradiva** je statistički određena čvrstoća. Za čvrstoću to je najčešće 5%fraktil (može biti i gornja i donja vrijednost HRN ENV 1991-4:1994,10,11,12,17 Karakteristične vrijednosti čvrstoće gradiva nalaze se u HRN ENV 1992-9 HRN ENV 1991-4:18 U sustavu oznaka $f_k \equiv X_k$ [PM] Neki primjeri karakterističnih čvrstoća su: za čelik S360 granica popuštanja je $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$, za beton razreda 25/30 karakteristična tlačna čvrstoće betona je $f_{ck} = 25 \text{ [N/mm}^2]$ ili 28.dnevna prelomna čvrstoća standardiziranog valjka ili kocke, f_{ct} karakteristična vlačna čvrstoće betona ili 28.dnevna prekidna čvrstoća standardizirane prizme, $f_{ct,fl}$ karakteristična vlačna čvrstoće betona na savijanje ili 28.dnevna prelomna čvrstoća standardizirane prizme i sl. [PM]
- R** **Otpornost** je mehaničko svojstvo elementa ili dijela *konstrukcije* (ili presjeka elementa ili komponente konstrukcije) da se odupre djelovanju bez loma (na pr. otpornost na vlak, tlak, savijanje, izvijanje, HRN ENV 1991-4:1994,9,12 EN 1990:2002,14,24 zamor,) izražava se:
- **glede stabilnosti** kao proračunska vrijednost učinka stabilizirajućih djelovanja
 - **glede čvrstoće** [PM]: naprezanje (najčešće); odnosno unutarnja sila, relativna deformacija i pomak konstrukcije HRN ENV 1991-4,10,24 te razlika naprezanja kod zamora gradiva HRN ENV 1991-4:1994,14 (za sve nabrojeno skraćeno je unutarnja sila HRN ENV 1991-4,10).
 - **glede uporabljivosti**: [PM] deformacija, pomak ili ubrzanje konstrukcije, oštećenje (pukotine), vibracije HRN ENV 1991-4:1994,15,21,25 (skraćeno odzivi uporabljivosti konstrukcije) [PM po analogiji učinka djelovanja]
- R_k** **karakteristična otpornost** HRN ENV 1991-4:1994,12,
- R_d** **proračunska vrijednost otpornosti** može se definirati preko dva principa:
1. $R_d = f(X_k / \gamma_M)$ što je najčešće. Ako se radi o čvrstoći, koja ima oznaku f , onda vrijedi $X_k \equiv f_k$ pa je $R_d = f_k / \gamma_M$ [PM]
 2. $R_d = R_k / \gamma_R$ rjeđe u proračunima zasnovanim na pokusima (na pr nosivost pilota na bazi broja udaraca malja za pobijanje)
- HRN ENV 1991-4:1994,12,
- C_d** **Nazivna vrijednost, ili funkcija, proračunskih svojstava gradiva** HRN ENV 1991-4:1994,11,26 glede uporabljivosti kao što su deformacija, pomak ili ubrzanje konstrukcije, oštećenje (pukotine), vibracije (skraćeno odzivi uporabljivosti konstrukcije) definirana u HRN ENV 1991: 2-9 [PM prema def.E]

1.3.2.2.1 PRORAČUNI NOSIVOSTI KRUTE HIDROTEHNIČKE KONSTRUKCIJE SL2

Proračuni nosivosti odnose se na sigurnost konstrukcije i ljudi. HRN-ENV 1991-1:1994,14 Oni su u biti proračuni sigurnosti za nosivost po metodi graničnih stanja (LS1). HRN-ENV 1991-1:1994,14 Prema EN predviđene su provjere sigurnosti za nosivost po četiri granična stanja nosivosti (Tab. 1.3.2.2.1::I). EN1990:2000,28, 43 koje se mogu podijeliti u dvije grupe EN1990:2000 43:

- a) **proračuni stabilnosti** i HRN-ENV 1991-1:1994,22
- b) **proračuni sloma**. HRN-ENV 1991-1:1994,22]

GRANIČNA STANJA NOSIVOSTI – LS1		
GRUPA PRORAČUNA KONSTRUKCIJE	NAZIV GRANIČNOG STANJA	OZNAKA
a) stabilnost	gubitak stabilnosti ili pomak konstrukcije razmatrane kao kruto tijelo (EQU) HRN-ENV 1991-1:1994,14,22 EN1990:2000,28,43	LS1 A
b) slom	slom ili pretjerane deformacije konstrukcije (STR) HRN-ENV 1991-1:1994,14,23 EN1990:2000,28,43	LS1 B
	slom ili pretjerane deformacije temeljnog tla (GEO) HRN-ENV 1991-1:1994,14,17,22	LS1 C
	slom uslijed zamora (FAT) HRN-ENV 1991-1:1994,15 EN1990:2000,28	LS1 D

Tab. 1.3.2.2.1::I Nazivi graničnih stanja nosivosti za proračun konstrukcija prema HRN ENV 1991 EN1990:2000,28, 43 HRN-ENV 1991-1:1994,25

Filozofija je proračuna konstrukcija po *graničnim stanjima nosivosti* u provjeri da konstrukcija ne otkáže zbog premašenja mjerodavnih graničnih stanja koja kod razmatrane konstrukcije mogu nastupiti; HRN-ENV 1991-1:1994,9,14,20 EN1990:2000,29 t.j. provjeri kriterija da *vrijednosti učinaka proračunskih djelovanja* na konstrukciju HRN-ENV 1991-1:1994,21 ne prelaze *proračunsku vrijednost otpornosti* konstrukcije. HRN-ENV 1991-1:1994,20

SL3

ad a) Provjere sigurnosti za stabilnost (LS1 A) vrše se za konstrukciju koja se promatra kao kruto tijelo. EN1990:2000,28 Te provjere vrše se za stanja konstrukcije koja vode njenom otkazivanju uslijed gubitka ravnoteže HRN-ENV 1991-1:1994,14 ili ukupnog pomaka konstrukcije kao krutog tijela. HRN-ENV 1991-1:1994,22

- provjerom sigurnosti na horizontalnu stabilnost; t.j. klizanje (Sl. 1.3.2.2.1::1),
- provjerom sigurnosti na prevrtanje (Sl. 1.3.2.2.1::1).
- provjerom sigurnosti na vertikalnu stabilnost; t.j. na isplivavanje (AB sandučaste konstrukcije) i
- provjera sigurnosti na hidraulički slom temeljnog tla.

Jednostavno rečeno konstrukcija, koja se promatra kao kruto tijelo, se ne smije pomaknuti (proklizati), isplivati niti prvrnuti. [PM] Rečeni fizički kriteriji računski se provjeravaju kroz matematički kriterij da *proračunski učinci destabilizacijskih djelovanja* moraju biti \leq od *proračunskih učinaka stabilizacijskih djelovanja*: HRN-ENV 1991-1:1994,22,23 EN1990:2000,43

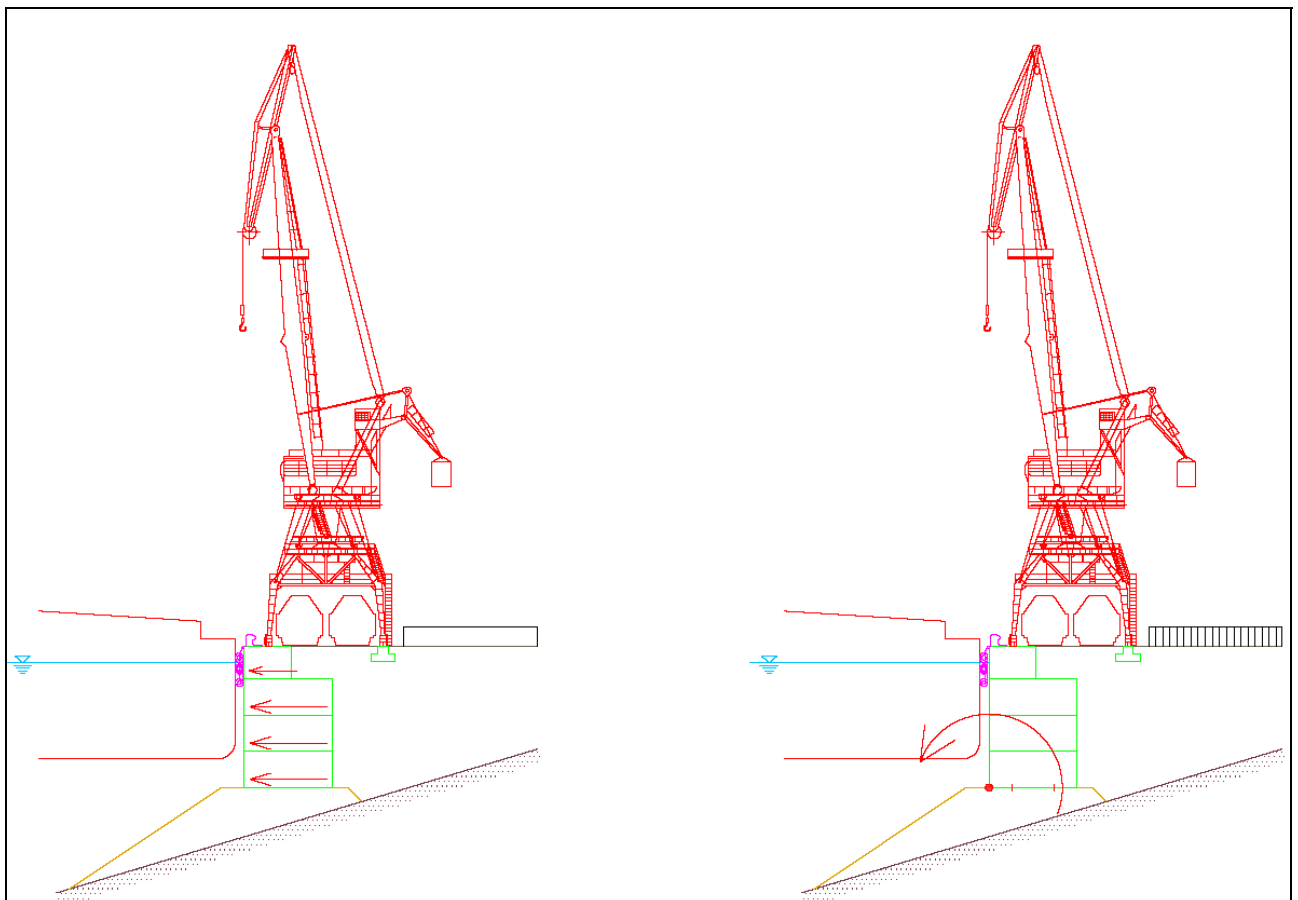
$$E_{d,destab} \leq E_{d,stab}$$

gdje je:

$E_{d,destab}$ proračunske vrijednosti učinka destabilizirajućih djelovanja HRN-ENV 1991-1:1994,22 u vidu destabilizirajućih sila i momenata [PM] Definira se na temelju odgovarajuće kombinacije djelovanja iz Tab. 1.3.2.4::II.

$E_{d,stab}$ proračunske vrijednosti učinka stabilizirajućih djelovanja HRN-ENV 1991-1:1994,22,23 u vidu stabilizirajućih sila i momenata. [PM] Definira se na temelju odgovarajuće kombinacije djelovanja iz Tab. 1.3.2.4::II.

SL4



Sl. 1.3.2.2.1::1 Provjere nosivosti; t.j. stabilnosti (klizanje i prevrtanje) konstrukcije gravitacijskog vertikalnog keja (LS1 A – EQU)

SL5

ad b) Provjere sigurnosti za slom vrše se za konstrukciju koja se promatra kao elastoplastično tijelo. Te provjere vrše se za stanja konstrukcije koja vode njenom otkazivanju uslijed sloma, ~~HRN ENV 1991-1:1994,9,14,23~~ pretjeranih deformacija, ~~HRN ENV 1991-1:1994,14,23~~ prelaska u mehanizam, gubitka stabilnosti konstrukcije ili gubitka stabilnosti nekog njenog dijela uključujući ležajeve i temeljenje ~~HRN ENV 1991-1:1994,9,14,15,23~~ (trake, ploče piloti, dijafragme, žmurje), ~~EN 1990:202 (E),14,28~~ te zamora. ~~HRN ENV 1991-1:1994,14~~ ~~EN 1990:202 (E),28~~ Jednostavno rečeno za konstrukciju, koja se ne promatra kao kruto tijelo, moraju se obaviti slijedeće provjere:

- provjera sloma preko unutarnjih naprezanja ili sila (Sl. 1.3.2.2.1::2 i Sl. 1.3.2.2.1::3)
- provjera pretjeranih deformacija elemenata ili cijele konstrukcije
- provjera prelaska u mehanizam provjerom stvaranja plastičnih zglobova
- provjera gubitka stabilnosti provjerom izvijanja elementa ili poprečnog presjeka
- provjera zamora provjerom razlike naprezanja za dugotrajno kratkoperiodički promjenjivo djelovanje [PM]

Rečeni fizički kriteriji računski se provjeravaju kroz matematički kriterij da proračunski učinci djelovanja moraju biti \leq od proračunske otpornosti: ~~HRN ENV 1991-1:14,,23~~ ~~EN1990:2000,43~~

$$E_d \leq R_d,$$

gdje je:

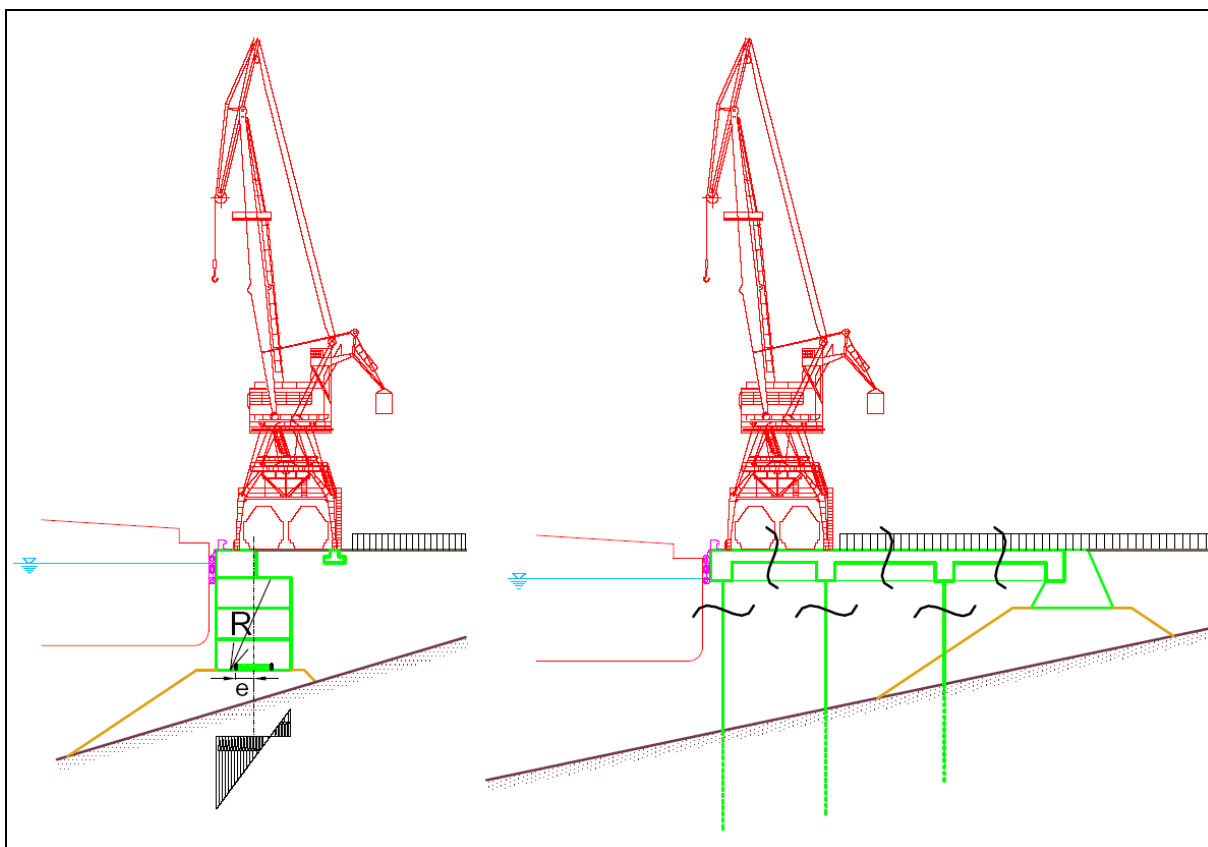
E_d proračunska vrijednost učinka djelovanja izražena najčešće kao: naprezanje; odnosno unutarnja sila, relativna deformacija i pomak konstrukcije, ~~HRN ENV 1991-1:1994,10,21~~ te razlika naprezanja kod zamora gradiva ~~HRN ENV 1991-1:1994,14~~ (za sve nabrojeno skraćena je unutarnja sila). Definira se na temelju odgovarajuće kombinacije djelovanja iz Tab. 1.3.2.4::II.

$R_d = f(X_d) = f\left(\frac{X_k}{\gamma_M}\right)$ proračunska vrijednost otpornosti izražena najčešće kao naprezanje [PM] ili bilo koja druga unutarnja sila, ~~EN1990:2000,42~~, ~~HRN ENV 1991-1,12,20,22~~ Ako se radi o čvrstoći, koja ima oznaku f , onda vrijedi $X_k = f_k$ pa je $R_d = f_k / \gamma_M$ [PM]

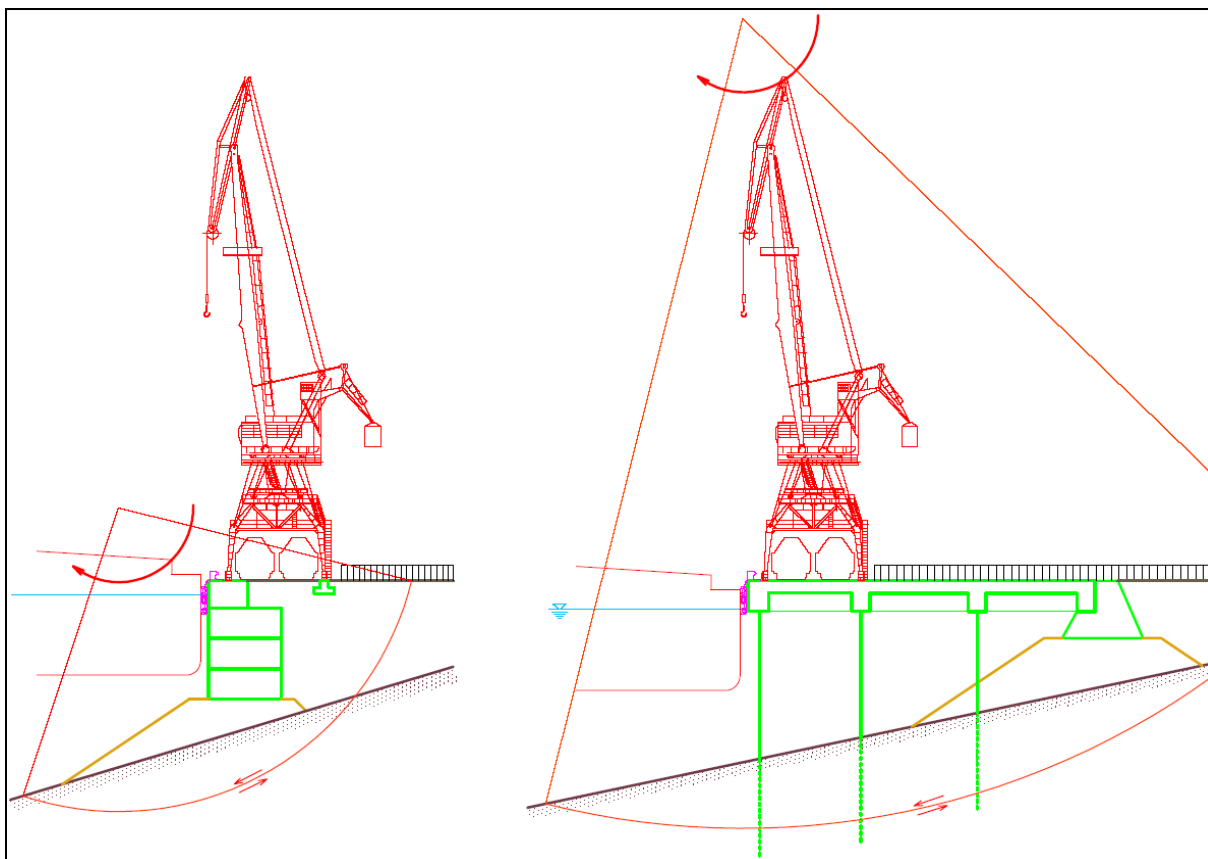
- X_k karakteristična vrijednost svojstva gradiva. Najčešće čvrstoća izražena preko nekog graničnog naprezanja (za čelik vrijedi: $X_k=f_y$; gdje je f_y karakteristična vrijednost čvrstoće; odnosno granica popuštanja [Bandr]; za beton vrijede: $X_k=f_{ck}$; gdje je f_{ck} karakteristična tlačna čvrstoće betona ili 28.dnevna prelomna čvrstoća standardiziranog valjka ili kocke, $X_k=f_{ct}$; gdje je f_{ct} karakteristična vlačna čvrstoće betona ili 28.dnevna prekidna čvrstoća standardizirane prizme, $X_k=f_{ct,fl}$ gdje je $f_{ct,fl}$ karakteristična vlačna čvrstoće betona na savijanje ili 28.dnevna prelomna čvrstoća standardizirane prizme i sl.), ili bilo koje drugo mehaničko svojstvo gradiva. [PM]
- γ_M parcijalni koeficijent sigurnosti za relevantno mehaničko svojstvo gradiva
- X_d proračunska vrijednost svojstva gradiva. Najčešće čvrstoća , ali i bilo koje drugo mehaničko svojstvo gradiva.

HRN-ENV 1991-1,42,22 EN1990:2000,43

SL6 i 7



Sl. 1.3.2.2.1::2 Provjere nosivosti; t.j. sloma konstrukcije vertikalnog keja (LS1 B – STR)



Sl. 1.3.2.2.1::3 Provjere nosivosti; t.j. sloma temeljnog tla vertikalnog keja (LS1 C – GEO)

1.3.2.2.2 PRORAČUNI UPORABJIVOSTI KRUTE HIDROTEHNIČKE KONSTRUKCIJE

SL8

Proračuni uporabljivosti vrše se za konstrukciju koja se promatra kao elastoplastično tijelo, a odnose se na uporabljivost konstrukcije a time i cijele građevine, udobnost ljudi i izgled. HRN-ENV-1991-1:15 EN1990:2000,28,46 Oni su u biti provjere sigurnosti glede uporabljivosti konstrukcije po metodi graničnih stanja (LS2). HRN-ENV-1991-1,9,20 Prema EN predviđene su provjere sigurnosti za uporabljivost po 4 granična stanja (Tab. 1.3.2.2.2::I i Sl. 1.3.2.2.2::2). EN1990:2000,28,

Filozofija je proračuna konstrukcija po *graničnim stanjima uporabljivosti* u provjeri da konstrukcija ne otkáže zbog premašenja mjerodavnih graničnih stanja koja kod razmatrane konstrukcije mogu nastupiti: t.j. provjeri da *učinci proračunskih djelovanja* na konstrukciju (odzivi uporabljivosti konstrukcije) HRN-ENV-1991-1,24 kao što su: deformacije pomaci i ubrzanja konstrukcije, naprezanja, oštećenja (pukotine), vibracije, zamor i otpornost pada na klizanje HRN-ENV-1991-1:1994,15,24 ne prelaze *postavljene kriterije ponašanja* konstrukcije glede uporabljivosti. HRN-ENV-1991-1:1994,20 Kriteriji ponašanja konstrukcije glede uporabljivosti dijelom su propisani EN-om (progibi, pukotine prema razredu izloženosti,

vibracije, zamor) [PM], a dijelom ih definira investitor (pomaci i deformacije koji proizlaze iz funkcioniranja instalacija i strojeva, otpornost poda na klizanje te izgleda konstrukcije). HRN ENV 1991-1:15 EN1990:2000,46, 54

GRANIČNA STANJA UPORABLJIVOSTI - LS2		
VRSTA PRORAČUNA KONSTRUKCIJE	NAZIV GRANIČNOG STANJA	OZNAKA
a) deformacije	uporabljivost konstrukcije (uključujući strojeve i instalacije na njoj), komfor ljudi, izgled, oštećenja završnih radova (žbuke, stolarije, ...) HRN ENV 1991-1:15, EN1990:2000,28, 54	LS2 A
b) vibracije	komfor ljudi, uporabljivost konstrukcije HRN ENV 1991-1:1994, 15 EN1990:2000,29	LS2 B
c) oštećenje (uklj. pukotine)	trajnost, funkcioniranje, izgled HRN ENV 1991-1:15 HRN ENV 1992-1-1:15 EN1990:2000,29,56	LS2 C
d) zamor	oštećenje konstrukcije HRN ENV 1991-1:15 EN1990:2000,29	LS2 D

Tab. 1.3.2.2.2.:I Nazivi graničnih stanja uporabljivosti za proračun konstrukcija prema HRN ENV 1991 EN1990:2000,54 HRN ENV 1991-1:1994,15

Rečeni fizički kriteriji računski se provjeravaju kroz matematički kriterij da proračunski učinci djelovanja moraju biti \leq od nazivne vrijednosti (ili funkcije) proračunskog svojstva gradiva HRN ENV 1991-1:15, EN1990:2000,28 HRN ENV 1992-1-1:15

$$E_d \leq C_d \text{ HRN ENV 1991-1,26}$$

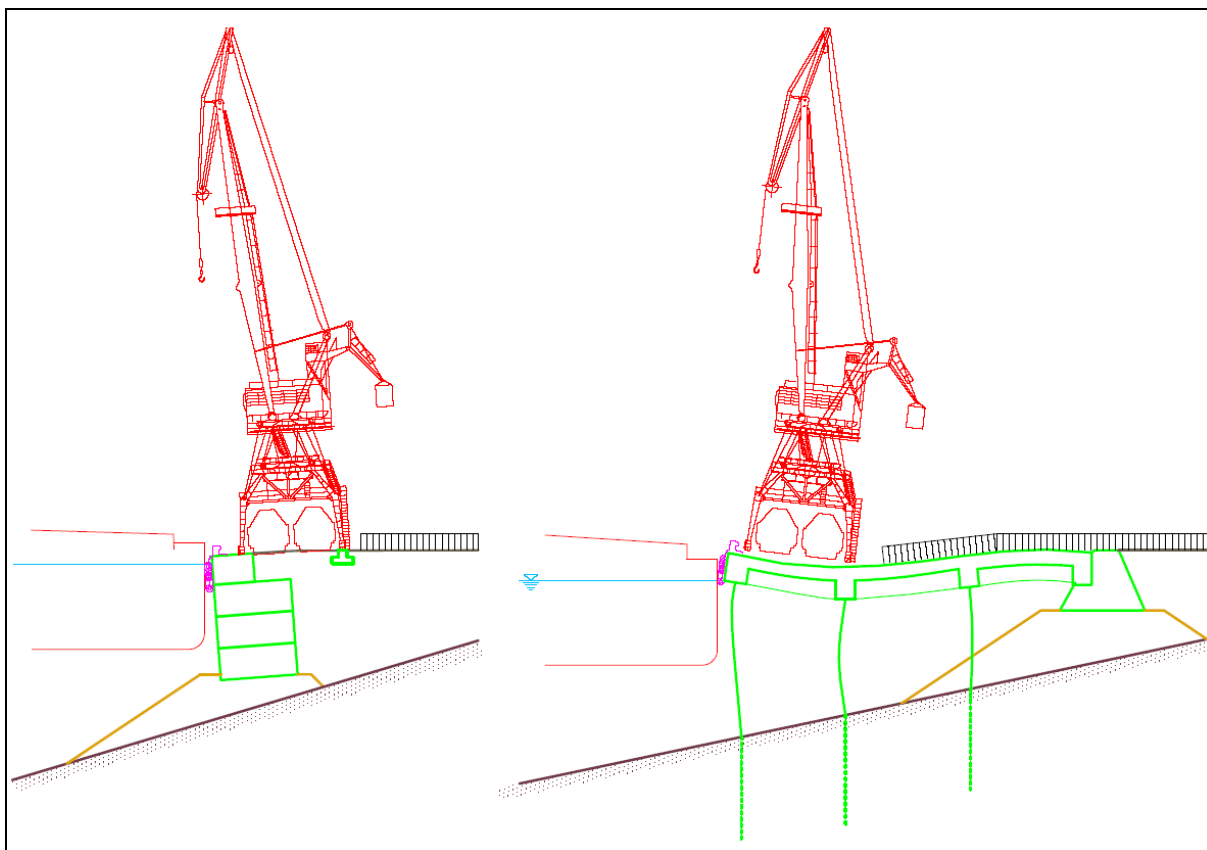
SL9

gdje je:

E_d proračunska vrijednost učinka djelovanja izražena kao: deformacija, pomak ili ubrzanja konstrukcije, oštećenje (širina pukotine), vibracije, zamor, HRN ENV 1991-1:1994,15,21,26 deformacija, naprezanje ili granica naprezanja, otpornost poda na klizanje EN1990:2000,46, 54 (za sve nabrojeno skraćenica je odziv uporabljivosti konstrukcije). [PM] Definira se na temelju odgovarajuće kombinacije djelovanja iz Tab. 1.3.2.4.:II.

C_d nazivna vrijednost (ili funkcija) proračunskog svojstva gradiva HRN ENV 1991-1,26; t.j. granična proračunska vrijednost odgovarajućeg kriterija uporabljivosti. EN1990:2000,46 Izražena je bilo koji odziv uporabljivosti konstrukcije. [PM] Granične vrijednosti ovih kriterija dane su u HRN ENV 1992-1999. HRN ENV 1991-1: 26 EN1990:2000,46

SL10



Sl. 1.3.2.2.2::2 Provjere uporabljivosti; t.j. deformacija vertikalnog keja

1.3.2.3 Klasifikacija djelovanja

SL11

Djelovanje podrazumijeva a) sile (vlastito i prisilno opterećenje) i b) prisilna djelovanja umjetnog ili prirodnog okoliša na konstrukciju: [PM]

- Ad a) Sila; t.j. vlastito opterećenje, opterećenje od fiksne opreme i fiksne mehanizacije, te prisilno korisno i prometno opterećenje kao i opterećenje od tla, vode i zraka [PM] koja djeluju na konstrukciju. Radi se o izravnom djelovanju. HRN-ENV-1991-1: 10,15
- Ad b) Prisilna djelovanja umjetnog okoliša akceleracija od rada stroja ili prirodnog okoliša [PM]; t.j. prisilno ili spriječeno deformiranje uslijed promjene temperature, nejednolikog slijeganja, skupljanja betona ili vlage, te prisilna akceleracija od potresa HRN-ENV-1991-1: 10,15, hidrodinamičkog djelovanja vode (vibracije uslijed otkidanja vrtloga) i vjetra (lepršanje i lepetanje) [PM] Radi se o neizravnom djelovanju HRN-ENV-1991-1: 10,15

No sva ta djelovanja ne javljaju se uvijek istovremeno, pa se za proračun konstrukcije klasificiraju u grupe kako slijedi:

- prema promijenjivosti tokom vremena
- prema mogućnosti promjene položaja u prostoru
- prema svojoj prirodi ili odzivu konstrukcije.

Klasifikacija je temelj za formiranje logičnih kombinacija istovremenog djelovanja t.zv. "proračunskih situacija djelovanja", i potom radi ponderiranja djelovanja "parcijalnim faktorima sigurnosti za djelovanja".

Djelovanja će se prikazati na primjeru opće shema opterećenja gravitacijskog keja i keja na pilotima, jer je u hidrotehnici keji najraznovrsnije opterećena konstrukcija. Na Sl. 1.3.2.3.:1 su prikazana otprilike sva djelovanja (opterećenja) koja se mogu javiti u uporabnom vijeku keja sa svojim približnim pozicijama.

1.3.2.3.1 KLASIFIKACIJA DJELOVANJA PREMA PROMJENJIVOSTI TOKOM VREMENA

SL12

Prema promijenjivosti tokom vremena mogu se podijeliti na:

- stalna G**,
- promjenljiva Q i**
- izvanredna djelovanja A**. HRN-ENV-1991-1: 10

SL13

Stalna djelovanja G će vjerojatno trajati u cijelom razdoblju proračunske situacije i čije su promjene veličine u odnosu na prosjek zanemarive. HRN-ENV-1991-1: 10 Direktna su posljedica gradnje. U ovu skupinu pripadaju vlastita opterećenja kao što su [PM] vlastita težina, nepokretna oprema, cestovni zastor, sila prednaprezanja HRN-ENV-1991-1: 10,15,25 i srodne nesavršenosti pri izgradnji, trenje na pokretnim ležajevima, je [PM] skupljanje i puzanje betona, nejednoliko slijeganje EN-1990-2002,30 te prisilna opterećenja od tla, od površinske i od podzemne vode u mirovanju (hidrostatika). HRN-ENV-1991-1: 10,15,25 Proračunska vrijednost stalnog djelovanja G_d dobije se kao $G_d = \gamma_G \times G_k$; gdje je G_k - karakteristična vrijednost stalnog djelovanja, a γ_G - parcijalni faktor sigurnosti stalnog djelovanja. Najčešće vrijednosti γ_G za nosivost su 1 (stab), 1,35 (slom), a γ_G za uporabivost: uvijek 1. Karakteristična vrijednost G_k u principu se uzima kao srednje

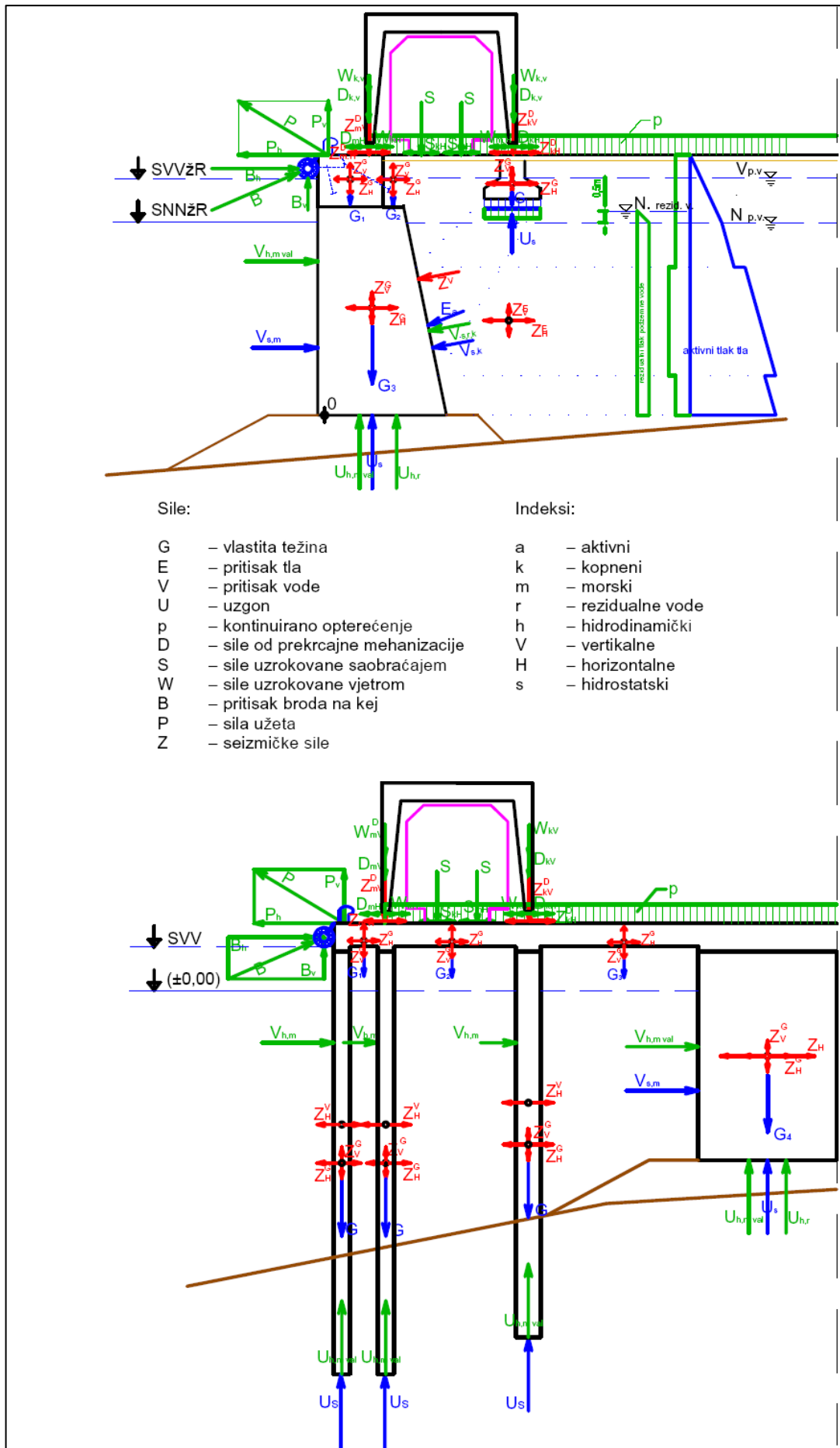
vrijednost, a ponekad i kao gornja i donja ($G_{k,sup}$ ili $G_{k,inf}$). Vrijednosti se navode u HRN ENV 1991-2. HRN ENV 1991-1: 10,16 EN 1990:2002,30 Od toga na keju se javlja:

- vlastita težina ($G_{1,2,3}$),
- nepomična oprema,
- cestovni zastor,
- sila tlaka tla: aktivni tlak (E_a) i pasivni otpor (E_p)
- sila tlaka vode (V):
 - sila hidrostatičkog tlaka vode ($V_{s,k}$, $V_{s,m}$)
 - sila hidrostatičkog uzgona (U_s)
 - sila tlaka rezidualne vode ($V_{s,r}$)

Promjenljiva djelovanja Q su ona koja vjerojatno neće trajeti cijelo razdoblje proračunske situacije, ili kod kojega je varijacija veličine po vremenu značajna u odnosu na prosječnu veličinu. HRN ENV 1991-1: 10 U tu skupinu pripadaju: prisilna opterećenja HRN ENV 1991-1:15 iz umjetnog okoliša [PM], kao što su: sve vrste korisnog (skladišno, pokretna mehanizacija...) i prometna, [PM] zatim iz prirodnog okoliša [PM] kao što su: djelovanje temperature, opterećenje vjetrom ili snijegom, HRN ENV 1991-1:15 zatim opterećenja od površinske vode u gibanju (hidrodinamika) te ostala opterećenja i djelovanja iz prirodnog i umjetnog okoliša. [PM] Proračunska vrijednost promjenljivog djelovanja Q_d dobije se kao $Q_{D,1} = \gamma_Q \times Q_{k,1}$ i $Q_{D,i} = \gamma_{Q,i} \times Q_{k,i} \times \psi_{s,i}$, gdje je $Q_{k,i}$ - karakteristična vrijednost promjenljivog djelovanja, γ_Q - parcijalni faktor sigurnosti promjenljivog djelovanja i ψ - koeficijent kombinacije. Najčešće vrijednosti γ_Q za nosivost su 1,5 (slom), a γ_Q za uporabljivost: uvijek 1. Najčešće vrijednosti za ψ za i za uporabljivost: kod zgrada su 0,7. Karakteristična vrijednost Q_k definira se ili kao gornja ili kao donja vrijednost ili kao nazivna vrijednost, HRN ENV 1991-1:16, a u proračunu će se uzeti nepovoljnije za razmatranu proračunsku situaciju ili kombinaciju djelovanja. [PM] Osim toga kod razmatrane proračunske situacije ili kombinacije jedno od mnogih promjenljivih djelovanja je prevladavajuće i označava se Q_{k1} , a ostala se označavaju s Q_{ki} , $i > 1$, HRN ENV 1991-1:12 kako bi se na njih mogli primijeniti različiti koeficijenti sigurnosti za djelovanja. Vrijednosti se navode u HRN ENV 1991-2 i 1991-3. Karakteristične vrijednosti promjenljivog djelovanja Q_k iz umjetnog okoliša (prometno, skladišno i sl. djelovanja) su lagano varijabilna [PM] tokom referentnog razdoblja od 1 godine. Karakteristične vrijednosti Q_k definira statistički kao gornja ili donja vrijednost koje odgovaraju 98% i 2%-tnom fraktilu prosječnoj godini HRN ENV 1991-1:16. Ako nema statistike definiraju se s jednom t.j. nazivnom vrijednošću. HRN ENV 1991-1:16 Promjenljiva djelovanja iz prirodnog okoliša (vjetar, snijeg, temperatura visoka i niska, strujanje vode, morski val...) su slučajne prirode i jače su varijabilna. Njihove karakteristične vrijednosti Q_k u principu odgovaraju 50-godišnjem povratnom razdoblju, ali mogu biti i drukčije definirane. HRN ENV 1991-1:16 EN 1990:2002,31 Od toga na keju se javlja:

- uporabno opterećenje (odnosi se samo na zgrade)
- korisno opterećenje nepokretno kontinuirano, tj. skladišno (p)
- korisno opterećenje pokretno:
 - sile od prekrcajne mehanizacije (D):
 - vertikalne (D_{kV} , D_{mV})

- vijuganje (D_{kH} , D_{mH})
 - kočenje (D_{kH} , D_{mH})
- sile od broda:
 - sila udara broda na kejs kod normalnog manevra (B)
 - sila priveznog konopa (vjetar na brod) (P)
- prometno opterećenje od željeznice i ceste (S):
 - vertikalno (cest. i želj. - S_{kV} , S_{mV})
 - vijuganje (želj. - S_{kH} , S_{mH})
 - kočenje (želj. - S_{kH} , S_{mH})
- opterećenje vjetrom (W_H):
 - na mehanizaciju (W_{kH} , W_{mH} , W_{kV} , W_{mV})
 - na željeznicu (W_{kH} , W_{mH} , W_{kV} , W_{mV})
- sila tlaka vode (V):
 - sila tlaka rezidualne vode ($V_{s,r}$)
- opterećenje snijegom
- opterećenje ledom
- hidrodinamičke sile:
 - sila hidrodinamičkog tlaka od struje vode i m. valova ($V_{h,m}$)
 - sile otpora i inercije od od struje vode i m. valova ($V_{h,m}$)
 - sila hidrodinamičkog uzgona od od struje vode i m. valova ($U_{h,r}$)
- djelovanje temperature



Sl. 1.3.2.3::1 Pregled i pozicije djelovanja na gravitacijski kej i kej na pilotima
1.2 PODLOGE ZA PROJEKTIRANJE
HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA

Izvanredna djelovanja A uključuju kratkotrajna djelovanja čiji događaj ima malu vjerojatnost nastupa u razdoblju projektiranog radnog vijeka konstrukcije. U tu skupinu pripadaju: prisilna djelovanja HRN ENV 1991-1-15 iz umjetnog okoliša [PM] kao što su: udar vozila ili plovila, eksplozija, požar HRN ENV 1991-1-15,17,24 zatim iz prirodnog okoliša [PM] potres, tsunami morski valovi (od potresa - nema ih u HR). HRN ENV 1991-1-15,17 Proračunska vrijednost izvanrednog djelovanja A_d dobije se kao $A_d = \gamma_A \times A_k$, gdje je A_k - karakteristična vrijednost izvanrednog djelovanja, a γ_A - parcijalni faktor sigurnosti izvanrednog djelovanja. Najčešća mu je vrijednost 1. Karakteristična vrijednost A_k u principu se propisuju u EN-i (eksplozije i udari HRN ENV 1991-2-7 i EN 1991-1-7:2006, požar HRN ENV 1991-2-2, izvanredna prometna opterećenja na mostovima HRN ENV 1991-3). HRN ENV 1991-1-10,17,21,23 Izvanredna djelovanja se ne uvećava s parcijalnim faktorom sigurnosti za djelovanja, pa su proračunska i karakteristična vrijednost uvijek jednake: $A_d = A_k$. HRN ENV 1991-1-21,23 Posebno se tretira potres A_E . Djelovanje potresa se ne uvećava s parcijalnim faktorom sigurnosti za djelovanja, pa su proračunska i karakteristična vrijednost uvijek jednake: $A_{Ed} = A_{Ek}$. No proračunska vrijednost se malo uvećava za koeficijent važnosti građevine $\gamma_i \geq 1$. Vrijednosti se navode u HRN ENV 1998-1. HRN ENV 1991-1-10,17,21,23 Proračunska vrijednost potresa A_{Ed} u principu odgovaraju 500-godišnjem povratnom razdoblju. Po karakteru su ubrzanje iz kojeg se množenjem s masom i raznim koeficijentima izračunava nazovistatička sila:

- požar
- havarijski udar vozila ili broda
- potresno opterećenje (Z):
 - na vlastitu težinu (Z_H^G, Z_V^G)
 - na skladišno opterećenje p
 - na mehanizaciju (Z_{kH}^D)
 - na tlo iza zida (Z_H^E, Z_V^E)
 - na vodu oko konstrukcije (Z_H^V)

Gornja djelovanja dalje se mogu razvrstati:

- prema mogućnosti promjene položaja u prostoru i
- prema svojoj prirodi ili odzivu konstrukcije.

1.3.2.3.2 KLASIFIKACIJA DJELOVANJA PREMA MOGUĆNOSTI PROMJENE POLOŽAJA U PROSTORU

SL14

Prema mogućnosti **promjene položaja u prostoru** opterećenja se mogu podijeliti na **nepomična** i **slobodna** djelovanja. Nepomičnim djelovanjem smatra se vlastita težina, dok su slobodna djelovanja: pomična korisna opterećenja, voda, vjetar i snijeg.

1.3.2.3.3 KLASIFIKACIJA DJELOVANJA PREMA SVOJOJ PRIRODI ILI ODZIVU KONSTRUKCIJE SL15

Prema svojoj **prirodi ili odzivu konstrukcije** djelovanja mogu biti *statička* (ne izazivaju značajno ubrzanje konstrukcije ili njenih elemenata) i *dinamička* (izazivaju značajna ubrzanja konstrukcije ili njenih elemenata). U standardnim statičkim proračunima dinamička djelovanja (sile) se zamjenjuju uvećanim mirnim t.z.v. nazovistatičkim (kvazistatičkim) silama, pa su time i proračuni nazovistatički. Dinamički proračuni se rijetko rade za masivne konstrukcije (takve su u najčešće HG) no tada se dinamičke sile uzimaju promjenjive kakve su po svojoj prirodi.

1.3.2.4 Kombinacije djelovanja (bez provjere zamora) SL16

Posebno se definiraju situacije djelovanja za:

- granično stanje nosivosti (LS1) i
- granično stanje uporabivosti (LS2).

Unutar gornje dvije grupe formiraju se "proračunske situacije" i "kombinacije" istovremenih djelovanja LC1 do LC6 (LC – engl. Loading Case), Tab. 1.3.2.4.:I.

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI (LS1)		
situacija djelovanja 1 (LC1) Stalna ili promjenljiva proračunska situacija	situacija djelovanja 2 (LC2) Izvanredna proračunska situacija	situacija djelovanja 3 (LC3) Potresna proračunska situacija
GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI (LS2)		
kombinacija djelovanja 4 (LC4) Karakteristična kombinacija	kombinacija djelovanja 5 (LC5) Česta kombinacija	kombinacija djelovanja 6 (LC6) Nazovistalna kombinacija

Tab. 1.3.2.4.:I Načelne kombinacije djelovanja za granična stanja nosivosti (LS1) i uporabivosti (LS2) i odgovarajuće proračunske situacije djelovanja

Proračunske situacije djelovanja (LC1 do LC6) za granična stanja LS1 i LS2 prikazane su u tablici 1.3.2.4.:II.

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI – LS1	
Trajne i prolazne proračunske situacije – LC1	$E_d = f \left(\sum_{j \geq 1} (\gamma_G \cdot G_{k,j}) + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} (\gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) \right)$
Izvanredne proračunske situacije – LC2	$E_d = f \left(\sum_{j \geq 1} (\gamma_{GA} \cdot G_{k,j}) + \gamma_{PA} \cdot P_k + \psi_1 \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + A_d \right)$
Potresna proračunska situacija – LC3	$E_d = f \left(\sum_{j \geq 1} (G_{k,j}) + P_k + \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + \gamma_I \cdot A_{Ed} \right)$
GRANIČNO STANJE UPORABLJIVOSTI-LS2	
Karakteristična (rijetka) kombinacija – LC4	$E_d = f \left(\sum_{j \geq 1} (G_{k,j}) + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) \right)$
Česta kombinacija – LC5	$E_d = f \left(\sum_{j \geq 1} (G_{k,j}) + P_k + \psi_1 \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \right)$
Nazovistalna kombinacija – LC6	$E_d = f \left(\sum_j (G_{k,j}) + P_k + \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \right)$
+	simbol za izraz "kombiniran s"
Σ	simbol za izraz "kombinirani učinak"
E_d	proračunska vrijednost učinka djelovanja najčešće izražena kod proračuna graničnog stanja nosivosti (LS1) kao: moment, sila, naprezanje; unutarnja sila, relativna deformacija i pomak konstrukcije, a kod graničnog stanja uporabljivosti (LS2) kao: deformacija, pomak ili ubrzanja konstrukcije, oštećenje (širina pukotine), vibracije, zamor, deformacija, naprezanje ili granica naprezanja, otpornost poda na klizanje
j ≥ 1	indeksiranje stalnih djelovanja
i ≥ 1	indeksiranje promjenjivih djelovanja
G_{kj}	karakteristične vrijednosti stalnih djelovanja
P_k	karakteristične vrijednosti djelovanja prednapinjanja
Q_{k1}	karakteristične vrijednosti prevladavajućega promjenljivog djelovanja
Q_{ki}	karakteristične vrijednosti ostalih promjenljivih djelovanja
A_d	proračunska vrijednost izvanrednoga djelovanja
A_{Ed}	proračunska vrijednost seizmičkoga djelovanja
γ_G	parcijalni faktor sigurnosti stalnog djelovanja
γ_{GA}	parcijalni faktor sigurnosti stalnog djelovanja za izvanredne proračunske situacije
γ_P	parcijalni faktor sigurnosti stalnog djelovanja uzrokovanog prednapinjanjem
γ_{PA}	parcijalni faktor sigurnosti stalnog djelovanja uzrokovanog prednapinjanjem za izvanredne proračunske situacije
γ_Q	parcijalni faktor sigurnosti promjenljivoga djelovanja
γ_I	koeficijent važnosti građevine kod potresne proračunske situacije
ψ₀	koeficijent za kombinaciju vrijednosti promjenljivoga djelovanja (opisuje vjerojatnost istodobnog nastupanja više djelovanja)
ψ₁	koeficijent za čestu (prevladavajuću, dominantnu) vrijednosti promjenljivoga djelovanja (opisuje vjerojatnost istodobnog nastupanja više djelovanja)
ψ₂	koeficijent za nazovistalnu vrijednosti promjenljivoga djelovanja (opisuje vjerojatnost istodobnog nastupanja više djelovanja)

Tab. 1.3.2.4.:II Kombinacije djelovanja za granična stanja nosivosti (LS1) i uporabljivosti (LS2) i odgovarajuće proračunske situacije (kombinacije) djelovanja (LC1, do LC6), HRN ENV 1991 EN1990:2000,44 - 47

Primjena i vrijednosti parcijalnih koeficijenata sigurnosti γ_G , γ_Q i γ_A , te koeficijenata kombinacije Ψ_0 , koeficijenata česte vrijednosti Ψ_1 i koeficijenata nazovi stalne (kvazistatičke) vrijednosti Ψ_2 za proračune nosivosti zgrada dani su u Tab. 1.3.2.4.:III i IV, a za proračune uporabljivosti zgrada dani su u Tab. 1.3.2.4.:V.

Tablica 9.2 – Parcijalni koeficijenti: granična stanja nosivosti zgrada				Stranica 25 ENV 1991-1:1994	
Slučaj ¹⁾	Djelovanje	Simbol	Situacije		
			P/T	A	
slučaj A gubitak statičke ravnoteže; čvrstoća građiva ili tla je nevažna (vidi točku 9.4.1)	stalna djelovanja; vlastita težina nosivih i nenosivih elemenata, stalna djelovanja prouzročena tlom, podzemnom vodom i slobodnom vodom – nepovoljno	$\gamma_{Gsup}^{4)}$	[1,10] ²⁾	[1,00]	
	– povoljno	$\gamma_{Ginf}^{4)}$	[0,90] ²⁾	[1,00]	
	promjenljiva djelovanja – nepovoljno	γ_Q	[1,50]	[1,00]	
	izvanredna djelovanja	γ_A		[1,00]	
slučaj B ⁵⁾ slom konstrukcije ili elementa konstrukcije, uključujući temelje, pilote, temeljne zidove itd. uvjetovano čvrstoćom građiva (vidi 9.4.1)	stalna djelovanja ⁶⁾ (vidi gore) – nepovoljno	$\gamma_{Gsup}^{4)}$	[1,35] ³⁾	[1,00]	
	– povoljno	$\gamma_{Ginf}^{4)}$	[1,00] ³⁾	[1,00]	
	promjenljiva djelovanja – nepovoljno	γ_Q	[1,50]	[1,00]	
	izvanredna djelovanja	γ_A		[1,00]	
slučaj C ⁵⁾ slom u tlu	stalna djelovanja (vidi gore) – nepovoljno	$\gamma_{Gsup}^{4)}$	[1,00]	[1,00]	
	– povoljno	$\gamma_{Ginf}^{4)}$	[1,00]	[1,00]	
	promjenljiva djelovanja – nepovoljno	γ_Q	[1,30]	[1,00]	
	izvanredna djelovanja	γ_A		[1,00]	
P trajna situacija T prolazna situacija A izvanredna situacija					
¹⁾ Proračun treba provjeriti za svaki slučaj A, B i C posebno, po potrebi. ²⁾ U toj provjeri karakteristična vrijednost nepovoljnoga dijela stalnog djelovanja množi se koeficijentom [1,1], a povoljnoga dijela koeficijentom [0,9]. Podrobnija pravila navedena su u nizovima ENV 1993 i 1994. ³⁾ U toj provjeri karakteristične vrijednosti svih stalnih djelovanja iz jednog izvora množe se s koeficijentom [1,35] ako je ukupni rezultirajući učinak djelovanja nepovoljan, a s [1,0] ako je ukupni rezultirajući učinak djelovanja povoljan. ⁴⁾ U slučajevima kad je granično stanje osjetljivo na promjene stalnih djelovanja, gornje i donje karakteristične vrijednosti tih djelovanja treba uzeti u obzir prema točki 4.2(3). ⁵⁾ Za slučajeve B i C proračunska svojstva tla mogu biti različita, vidi prednormu ENV 1997-1-1. ⁶⁾ Umjesto uporabe γ_B (1,35) i γ_Q (1,50) za bočni tlak tla, proračunska svojstva tla mogu biti uključena u skladu s nizom ENV 1997 i uz primjenu koeficijenta modela γ_{sd} .					

Tab. 1.3.2.4.:III Parcijalni koeficijenti sigurnosti γ_G , γ_Q i γ_A za djelovanja kod provjere granična stanja nosivosti zgrada za trajna (stalna), prolazna (promjeniva) i izvanredna djelovanja dani u HRN ENV 1991-1:1994, str. 25

Koeficijent važnosti konstrukcije Y_1 javlja se samo kod seizmičkih proračuna nosivosti. Faktor važnosti u pravilu je 1,0 [ENV HRN 1998-1-1:1994, 4.1(3)], a specijalni slučajevi propisani su pojedinima specifičnim normama kao npr. za zgrade (Tab 1.3.2.4.:IV i V).

Kejovi su često mostovskog tipa pa se može primijeniti faktor važnosti definiran za mostove u HRN ENV 1998-2:1994, 2.1(3) dan u tablici 1.3.2.4.:VI. Novija europska norma EN 1998-2:2005 preporuča vrijednost faktora važnosti kod mostova manje važnosti 0,85 dok su za druga dva razreda predviđene iste vrijednosti kao u HRN ENV 1998-2.

Razred važnosti	Zgrade	Faktor važnosti
I	Zgrade čija je cjelovitost pri potresu životno važna za zaštitu ljudi, npr. bolnice, vatrogasne postaje, elektrane itd.	1,4
II	Zgrade čija je potresna otpornost važna sa stajališta posljedica vezanih za rušenje, npr. škole, dvorane za skupove, kulturne institucije i sl.	1,2
III	Obične zgrade koje ne pripadaju drugim kategorijama	1,0
IV	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost, npr. poljoprivredne zgrade itd.	0,8

Tab 1.3.2.4.:IV Vrijednosti faktora važnosti po HRN ENV 1998-1-2:1994

Razred važnosti	Zgrade	Faktor važnosti
I	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost, npr. poljoprivredne zgrade itd.	0,8
II	Obične zgrade koje ne pripadaju drugim kategorijama	1,0
III	Zgrade čija je potresna otpornost važna sa stajališta posljedica vezanih za rušenje, npr. škole, dvorane za skupove, kulturne institucije i sl.	1,2
IV	Zgrade čija je cjelovitost pri potresu životno važna za zaštitu ljudi, npr. bolnice, vatrogasne postaje, elektrane itd.	1,4

Tab 1.3.2.4.:V Vrijednosti faktora važnosti po EN 1998-1:2004

Razred važnosti mosta	Faktor važnosti
Veća od prosječne – mostovi najvažniji za očuvanje prometa, mostovi čije bi rušenje prouzročilo veliki broj žrtava, veliki mostovi za koje se zahtijeva trajanje dulje od običnog	1,30
Prosječna	1,00
Manja od prosječne – mostovi koji nisu nužni za promet i za koje nije ekonomski opravdano usvajanje standardne vjerojatnosti premašaja proračunskog potresa	0,70

Tab. 1.3.2.4.:VI Faktor važnosti kod potresnog proračuna mostova, HRN ENV 1998-2:1994

Stranica 26 ENV 1991-1:1994		Tablica 9.3 – Koeficijenti ψ za zgrade		
Djelovanje	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
uporabno opterećenje u zgradama ¹⁾				
kategorija A: stambena	[0,7]	[0,5]	[0,3]	
kategorija B: uredi	[0,7]	[0,5]	[0,3]	
kategorija C: prostori za veće skupove ljudi	[0,7]	[0,7]	[0,6]	
kategorija D: trgovine	[0,7]	[0,7]	[0,6]	
kategorija E: skladišta	[1,0]	[0,9]	[0,8]	
prometna opterećenja u zgradama				
kategorija F: težina vozila ≤ 30 kN	[0,7]	[0,7]	[0,6]	
kategorija G: 30 kN < težina vozila ≤ 160 kN	[0,7]	[0,5]	[0,3]	
kategorija H: krovovi	[0]	[0]	[0]	
snijeg	[0,6] ²⁾	[0,2] ²⁾	[0] ²⁾	
vjetar	[0,6] ²⁾	[0,5] ²⁾	[0] ²⁾	
temperatura u građevini (ne požar) ³⁾	[0,6] ²⁾	[0,5] ²⁾	[0] ²⁾	
¹⁾ Za kombinaciju uporabnog opterećenja u višekatnim zgradama vidi prednormu ENV 1991-2-1. ²⁾ Može se zahtijevati prilagodba za različita zemljopisna područja. ³⁾ Vidi prednormu ENV 1991-2-5.				

Tab. 1.3.2.4.:IV Koeficijenti kombinacije Ψ_0 , koeficijenti česte vrijednosti Ψ_1 i koeficijenti nazivi stalne (kvazistatičke) vrijednosti Ψ_2 za zgrade dani u HRN ENV 1991-1:1994, str. 26, a za mostove u HRN ENV 1991-3:1995, str. 62

Tablica 9.4 – Proračunske vrijednosti djelovanja za uporabu u kombinaciji djelovanja			
Kombinacija	Stalna djelovanja G_d	Promjenljiva djelovanja Q_d	
		Dominantna	Ostala
karakteristična (rijetka)	$G_k (P_k)$	Q_{k1}	$\psi_{0i} Q_{ki}$
česta	$G_k (P_k)$	$\psi_{11} Q_{k1}$	$\psi_{2i} Q_{ki}$
nazovistalna	$G_k (P_k)$	$\psi_{21} Q_{k1}$	$\psi_{2i} Q_{ki}$
NAPOMENA Za granična stanja uporabljivosti, parcijalni koeficijenti (uporabljivosti) γ_G i γ_Q uzimaju se kao 1,0, osim ako nije drukčije određeno.			

Tab. 1.3.2.4.:V Parcijalni koeficijenti sigurnosti γ_G i γ_Q za granična stanja uporabljivosti s primjenom koeficijenata kombinacije Ψ_0 , koeficijenata česte (prevladavajuće, dominantne) vrijednosti Ψ_1 i koeficijenata nazovi stalne (kvazistatičke) vrijednosti Ψ_2 za zgrade dani u HRN ENV 1991-1:1994, str. 26

Za svaku situaciju djelovanja (LC1 do LC6) treba načiniti niz kombinacija djelovanja koja se mogu javiti istovremeno (to automatski mogu načiniti softveri za proračun konstrukcija), i potom izračunati proračunsku vrijednost učinka djelovanja E_d . Za svaku (najmanje 6, najviše nekoliko stotina), tako određenu proračunsku vrijednost učinka djelovanja E_d , provodi se provjera sigurnosti (stabilnost i slom) za granična stanja nosivosti (LS1) i uporabljivost i (LS2). Na taj način može se naći kritična kombinacija za LS1 i LS2 kao jedna od svih mogućih kombinacija djelovanja EN1990:2000,43.

1.3.2.5 Prikaz nekih promjenjivih djelovanja na obalnu konstrukciju u luci

Ovdje se neće opisivati opća djelovanja poznata iz drugih kolegija, kao što su: vlastita težina, korisno opterećenje, nepomična oprema, sile prednaprezanja, skupljanje i puzanje materijala, deformacije nastale kao posljedica načina izgradnje, djelovanje temperature, opterećenje snijegom, opterećenje ledom i prometno opterećenje, nego je naglasak stavljen na specifična djelovanja kod hidrotehničkih građevina.

1.3.2.5.1 Promjenjiva djelovanja vode na konstrukciju

Strujanje ispod temelja

Potrebno je istaknuti problem temeljenja brana, kao jedan od najsloženijih problema hidrotehničkih građevina. Osnovne karakteristike temelja brana su: *nosivost*, *deformabilnost*, *vodopropusnost* i *stabilnost*.

Ovdje će se posebna pažnja posvetiti vodopropusnosti. Bitno je uočiti razliku između problema temeljenja na tlu i na stijeni. Naime, propusnost uslijed pora znatno se razlikuje od propusnosti uslijed pukotina.

Srednja filtracijska brzina u nekoj propusnoj kontinuiranoj i homogenoj sredini određena je Darcyjevim zakonom

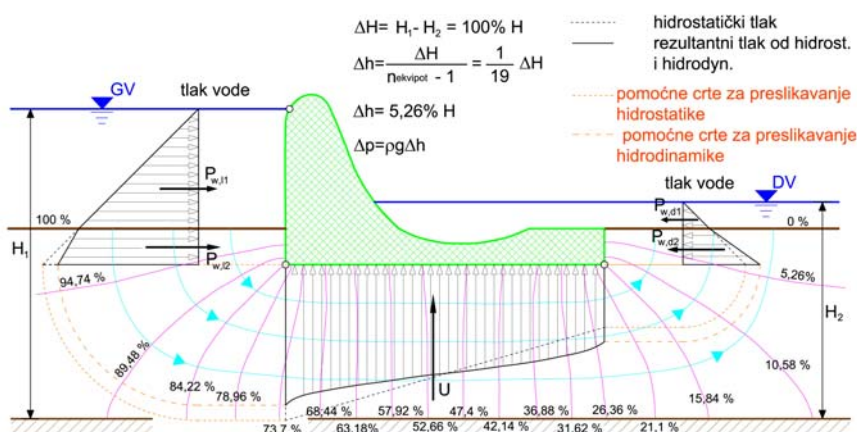
$$v = k \frac{\Delta H}{L} = kl,$$

gdje je:

- v brzina tečenja podzemne vode
- ΔH promjena razine gornje i donje vode ($H_1 - H_2$)
- L duljina puta oko temelja
- l pad piezometarske linije
- k koeficijent filtracije.

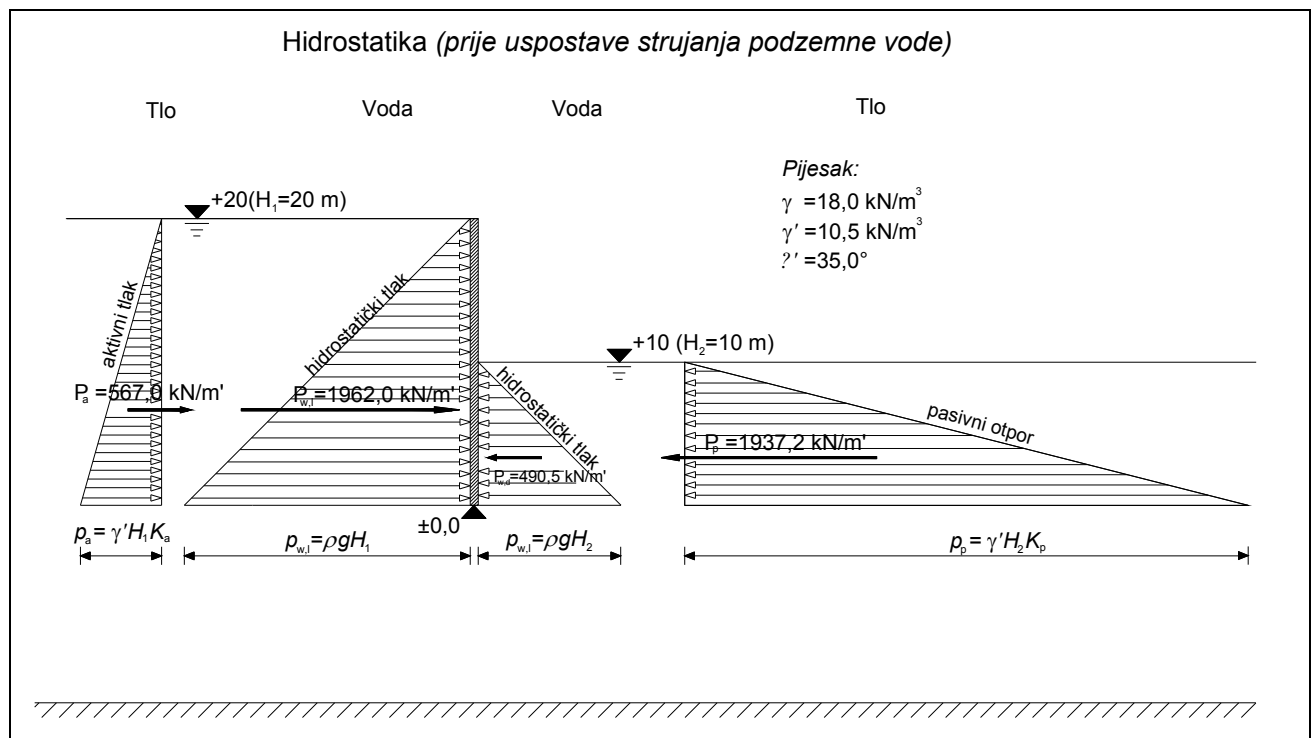
Opis djelovanja uzrokovanih tečenjem vode ispod brane prikazan je na slici 1.3.2.5.1::1.

Injekcijske zavjese imaju zadatak da smanje količinu filtrirane vode i produže put procijeđivanja, te na taj način smanje silu uzgona u temeljima brane i hidrostatičke sile smicanja na bokovima brane.

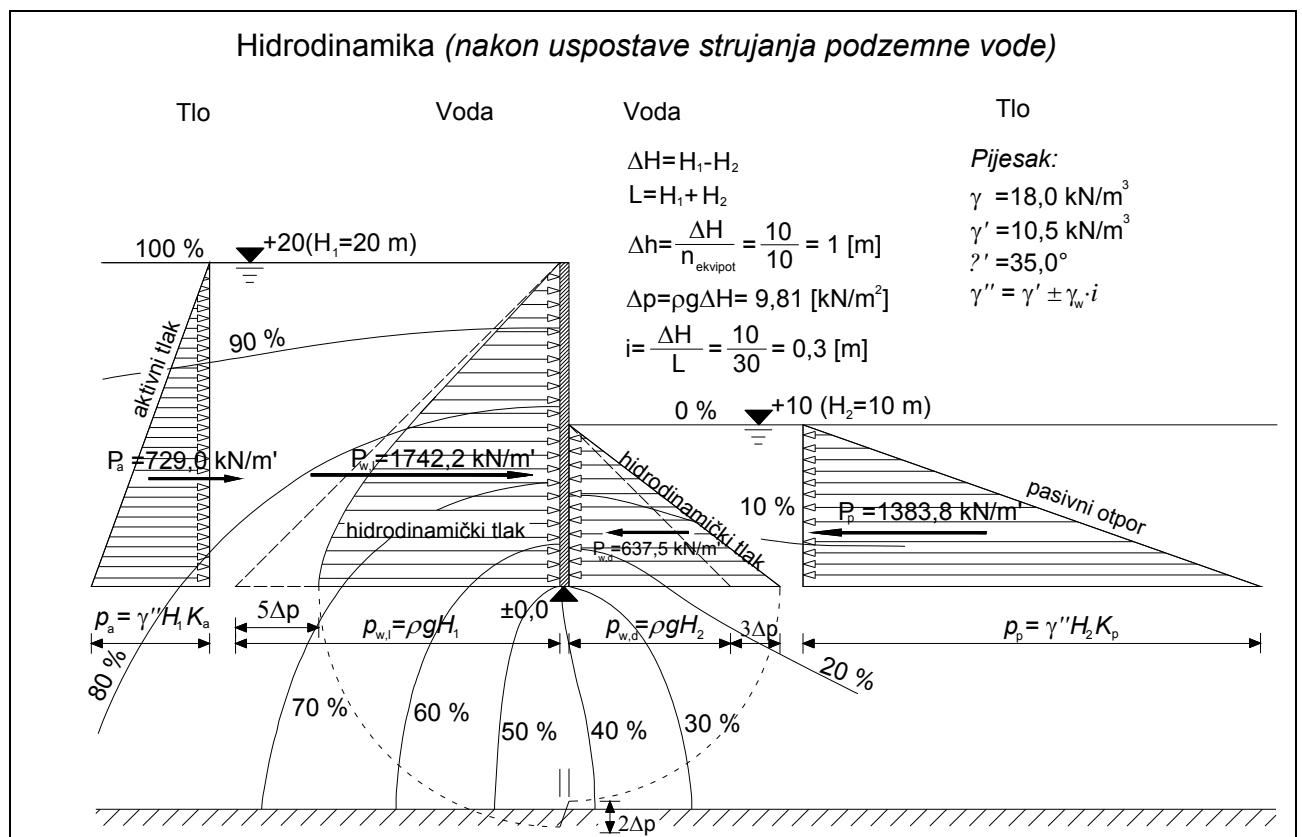


Slika 1.3.2.5.1::1: Strujna mreža i sile na branu.

Primjer: Usporedba djelovanja hidrostatičkog i hidrodinamičkog opterećenja AB dijafragmu



Slika 1.3.2.5.1::2: Dijagram hidrostatičkog opterećenja na AB dijafragmu



Slika 1.3.2.5.1::3: Dijagram hidrodinamičkog opterećenja na AB dijafragmu

Usporedba djelovanja hidrostatičkog i hidrodinamičkog opterećenja na dijafragmu:

Odabrano tlo: Pijesak

$$\gamma' = 10,5 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\varphi' = 35,0^\circ$$

Hidrostatika

$$K_a = \text{tg}^2(45 - \varphi/2) = 0,27$$

$$K_p = \text{tg}^2(45 + \varphi/2) = 3,69$$

$$\text{Aktivni tlak } p_a = \gamma' \times H_1 \times K_a = 10,5 \times 20 \times 0,27 = 56,7 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Pasivni otpor } p_p = \gamma' \times H_2 \times K_p = 10,5 \times 10 \times 3,69 = 387,45 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Hidrostatički tlak } p_{w,l} = \rho \times g \times H_1 = 1 \times 9,81 \times 20 = 196,2 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Hidrostatički tlak } p_{w,d} = \rho \times g \times H_2 = 1 \times 9,81 \times 10 = 98,1 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Sila aktivnog tlaka } P_a = (p_a \times H_1) / 2 = 567,0 \text{ kN} / \text{m}'$$

$$\text{Sila pasivnog otpora } P_p = (p_p \times H_2) / 2 = 1937,2 \text{ kN} / \text{m}'$$

$$\text{Sila hidrostatičkog tlaka } P_{w,l} = (p_{w,l} \times H_1) / 2 = 1962,0 \text{ kN} / \text{m}'$$

$$\text{Sila hidrostatičkog tlaka } P_{w,d} = (p_{w,d} \times H_2) / 2 = 490,5 \text{ kN} / \text{m}'$$

$$\sum X_{\text{lijevo}} \Rightarrow P_{uk,l} = P_a + P_{w,l} = 2529,0 \text{ kN}$$

$$\sum X_{\text{desno}} \Rightarrow P_{uk,d} = P_p + P_{w,d} = 2427,7 \text{ kN}$$

$$\sum M_{\text{lijevo}}^{(\pm 0,0)} \Rightarrow M_{uk,l} = P_a \times z_a + P_{w,l} \times z_{w,l} = (567,0 + 1962,0) \times 6,6 = 16691,4 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{\text{desno}}^{(\pm 0,0)} \Rightarrow M_{uk,d} = P_p \times z_p + P_{w,d} \times z_{w,d} = (1937,2 + 490,5) \times 3,3 = 8011,4 \text{ kNm}$$

Hidrodinamika

$$\gamma'' = \gamma' \pm \gamma_w \times i$$

$$\gamma'' = 10,5 + 10,0 \times 0,3 = 13,5 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\gamma''' = 10,5 - 10,0 \times 0,3 = 7,5 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\text{Aktivni tlak } p_a = \gamma'' \times H_1 \times K_a = 13,5 \times 20 \times 0,27 = 72,9 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Pasivni otpor } p_p = \gamma''' \times H_2 \times K_p = 7,5 \times 10 \times 3,69 = 276,75 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Hidrodinamički tlak } p_{w,l} = \rho \times g \times H_1 - 5\Delta p = 1 \times 9,81 \times 20 - 5 \times 9,81 = 147,15 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Hidrodinamički tlak } p_{w,d} = \rho \times g \times H_2 + 3\Delta p = 1 \times 9,81 \times 10 + 3 \times 9,81 = 127,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Sila aktivnog tlaka } P_a = (p_a \times H_1) / 2 = 729,0 \text{ kN} / \text{m}'$$

$$\text{Sila pasivnog otpora } P_p = (p_p \times H_2) / 2 = 1383,8 \text{ kN} / \text{m}'$$

$$\text{Sila hidrodinamičkog tlaka } P_{w,l} = \int_0^{20} \text{krivulja.hid.tlaka} = 1742,2 \text{ kN} / \text{m}'$$

Sila hidrodinamičkog tlaka $P_{w,d} = (p_{w,d} \times H_2) / 2 = 637,5 \text{ kN} / \text{m}'$

$$\sum X_{\text{lijevo}} \Rightarrow P_{uk,l} = P_a + P_{w,l} = 2471,2 \text{ kN}$$

$$\sum X_{\text{desno}} \Rightarrow P_{uk,d} = P_p + P_{w,d} = 2021,3 \text{ kN}$$

$$\sum M_{\text{lijevo}}^{(\pm 0,0)} \Rightarrow M_{uk,l} = P_a \times z_a + P_{w,l} \times z_{w,l} = 729,0 \times 6,6 + 1742,2 \times 6,9 = 16832,6 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{\text{desno}}^{(\pm 0,0)} \Rightarrow M_{uk,d} = P_p \times z_p + P_{w,d} \times z_{w,d} = (1383,8 + 637,5) \times 3,3 = 6670,3 \text{ kNm}$$

USPOREDBA	hidrostatika	hidrodinamika
$\sum X_{\text{lijevo}}$ [kN]	2529,0	2471,2
$\sum X_{\text{desno}}$ [kN]	2427,7	2021,3
$\sum M_{\text{lijevo}}^{(\pm 0,0)}$ [kNm]	16691,4	16832,6
$\sum M_{\text{desno}}^{(\pm 0,0)}$ [kNm]	8011,4	6670,3

ZAKLJUČAK:

Hidrostatika je na strani sigurnosti.

Opterećenje građevina u struji tekućine

Hidrodinamička sila optjecanja, rastavlja se na dvije komponente:

- horizontalnu i
- uzgonsku silu, koje se mogu napisati u obliku:

$$F_{oH} = \rho C_o A_o \frac{v^2}{2},$$

$$F_{oU} = \rho C_U A_U \frac{v^2}{2}, \text{ gdje je}$$

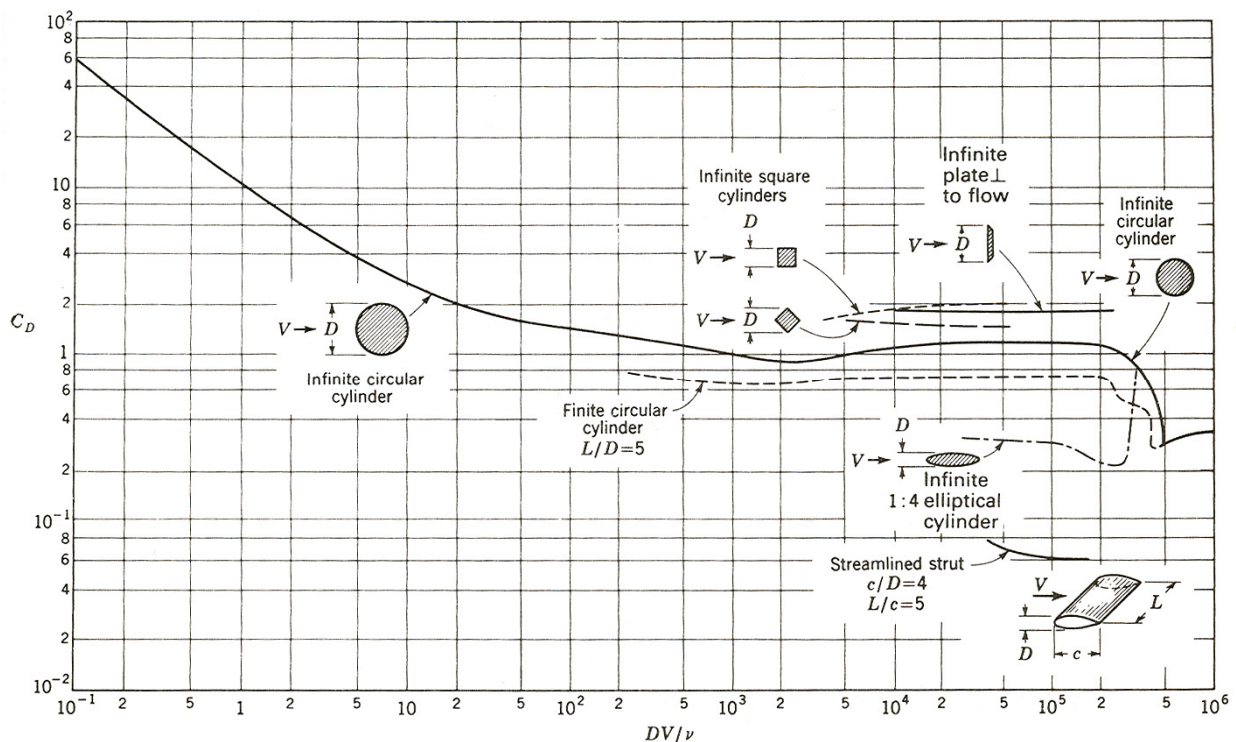
ρ gustoća tekućine

C bezdimenzionalan koeficijent otpora oblika prikazan na slici 1.3.2.5.1::4

A projekcija građevine u smjeru sile

v brzina strujanja tekućine.

Horizontalnoj komponenti hidrodinamičke sile optjecanja suprotstavlja se tijelo inercijalnom silom jednakom sili suprotnog smjera (sila hidrodinamičkog otpora).

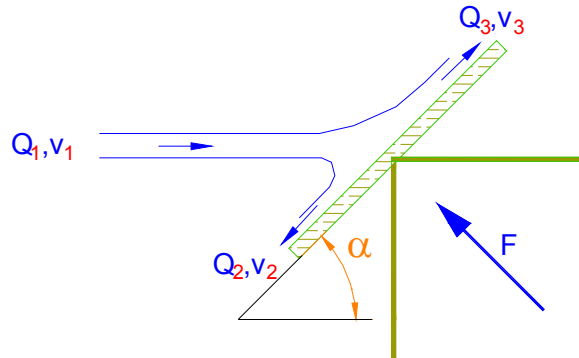


Slika 1.3.2.5.1::4: Koeficijent otpora oblika u nekim specifičnim slučajevima

Sila mlaza

Sila mlaza (slika 1.3.2.5.1::5) određuje se iz zakona održanja količine gibanja i definirana je izrazom:

$$\vec{F} = \rho Q \vec{v} \sin \alpha$$



Slika 1.3.2.5.1::5: Sila mlaza

1.3.2.5.2 PROMJENJIVA DJELOVANJA NA KONSTRUKCIJU IZ PRIRODNOG I UMJETNOG OKOLIŠA

Karakteristična vrijednost promjenjivog djelovanja iz prirodnog okoliša je 50 godišnjeg povratnog razdoblja, odnosno kod većih i važnijih pomorskih gradnji možem se ići i na 100 godišnje povratno razdoblje. No razlika je mala. Kod morskih i riječnih luka to se odnosi na valove i vjetar i struje.

Promjenjiva djelovanja u lukama iz umjetnog okoliša su sile pristajanja i priveza broda kao dominantne horizontalne sile. Na svakoj pojedinoj lokaciji potrebno je precizno proučiti moguće djelovaje valova i struja. U područjima hladne klime, značajan utjecaj okoline na konstrukcije je djelovanje leda. Led može izazvati horizontalni udar na konstrukciju, povećati težinu konstrukcije, oštetiti materijal, te prouzročiti podizanje i lom pilota. U području hrvatskog primorja led se kao opterećenje okoline ne javlja pa se ovdje neće detaljnije razmatrati. Također potrebno je navesti i djelovanje obraštanja pilota školjkama koje može imati značajan utjecaj kod vrlo dugih pilota, no ovdje se također neće detaljnije razmatrati. Opterećenja umjetnog okoliša luke vezan su a na operativne postupke kod obalnih konstrukcija:

- sile od pristajanja i priveza broda; t.j.i udar plovila kod pristajanja te sile priveza koje se javljaju uslijed vjetra, valova i struja koji djeluju na plovilo dok je privezano
- vertikalne i horizontalne sile trenja između plovila i odbojnika od utjecaja valova, promjene istisnine broda uslijed punjenja i pražnjenja, te uslijed manevra pristajanja
- koncentrirane sile od prekrcaja roba i utjecaja prekrcajne opreme veza (uključujući razne vrste dizalica, konvejera, sistema pumpi i sl.)
- djelovanja prometa (željeznica i cesta).

- skladišno opterećenje na obalnoj konstrukciji i na planumu iza nje.

Vjetar

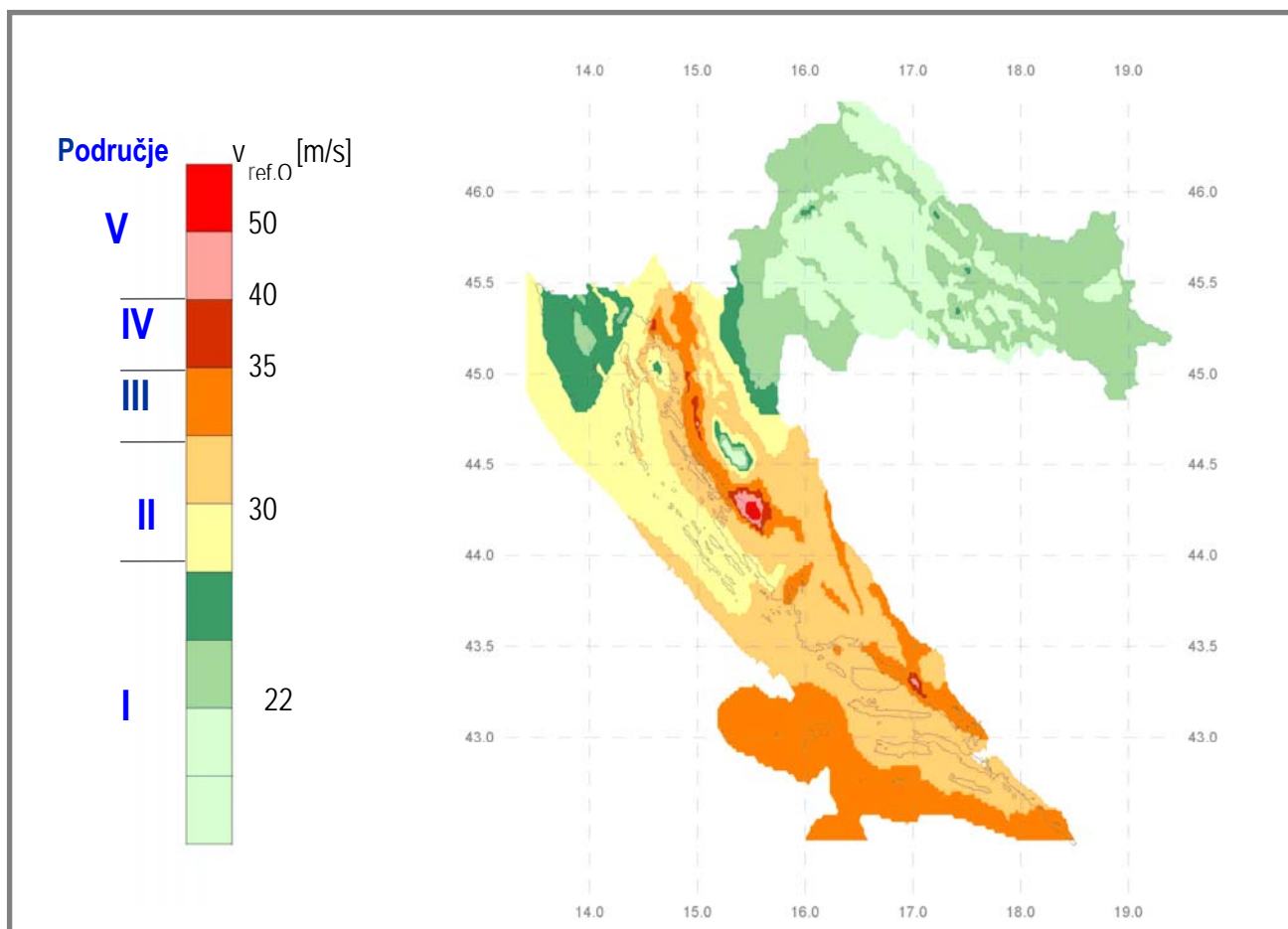
Općenito sila vjetra na brod proporcionalna je s kvadratom brzine vjetra. Utjecaj vjetra je po prirodi dinamičkog karaktera. Obično se promatra dvije komponente utjecaja vjetra jednu uzduž i jednu popreko na gat. Maksimalna sila obično nastupa kada vjetar puše okomito na uzdužnu os broda. Za opis djelovanja vjetra koriste se sljedeće jednadžbe:

$$W_L = \frac{1}{2} C_{DL}(\psi) \rho_z v_{1-3s}^2 A \text{ [N]},$$

$$W_T = \frac{1}{2} C_{DT}(\psi) \rho_z v_{1-3s}^2(z_T) A \text{ [N]} \quad (4.7-9)$$

gdje su:	$C_{DT}(\psi)$	poprečni koeficijent otpora broda u struji zraka
	$C_{DL}(\psi)$	uzdužni koeficijent otpora broda u struji zraka
	ρ_z	gustoća mase zraka, $\rho_z = 1,3 \text{ kg/m}^3$,
	$v_{1-3s}(z_T)$	brzina udara vjetra trajanja 1-3 s na težišnoj visini nadvođa broda z_T [m] (EN-1, BS), [m/s]
	A	površina izložena vjetru od brodova, prekrcajne opreme na konstrukciji i same konstrukcije iznad površine mora; zaštićene površine obično se uzimaju u proračun s 50% vrijednosti [m ²]
	ψ	kut između smjera vjetra i osi broda [°].

Vrijednosti koeficijenata otpora prikazani su na slikama 1.3.2.5.2.:2 do 5.[Agerschou]

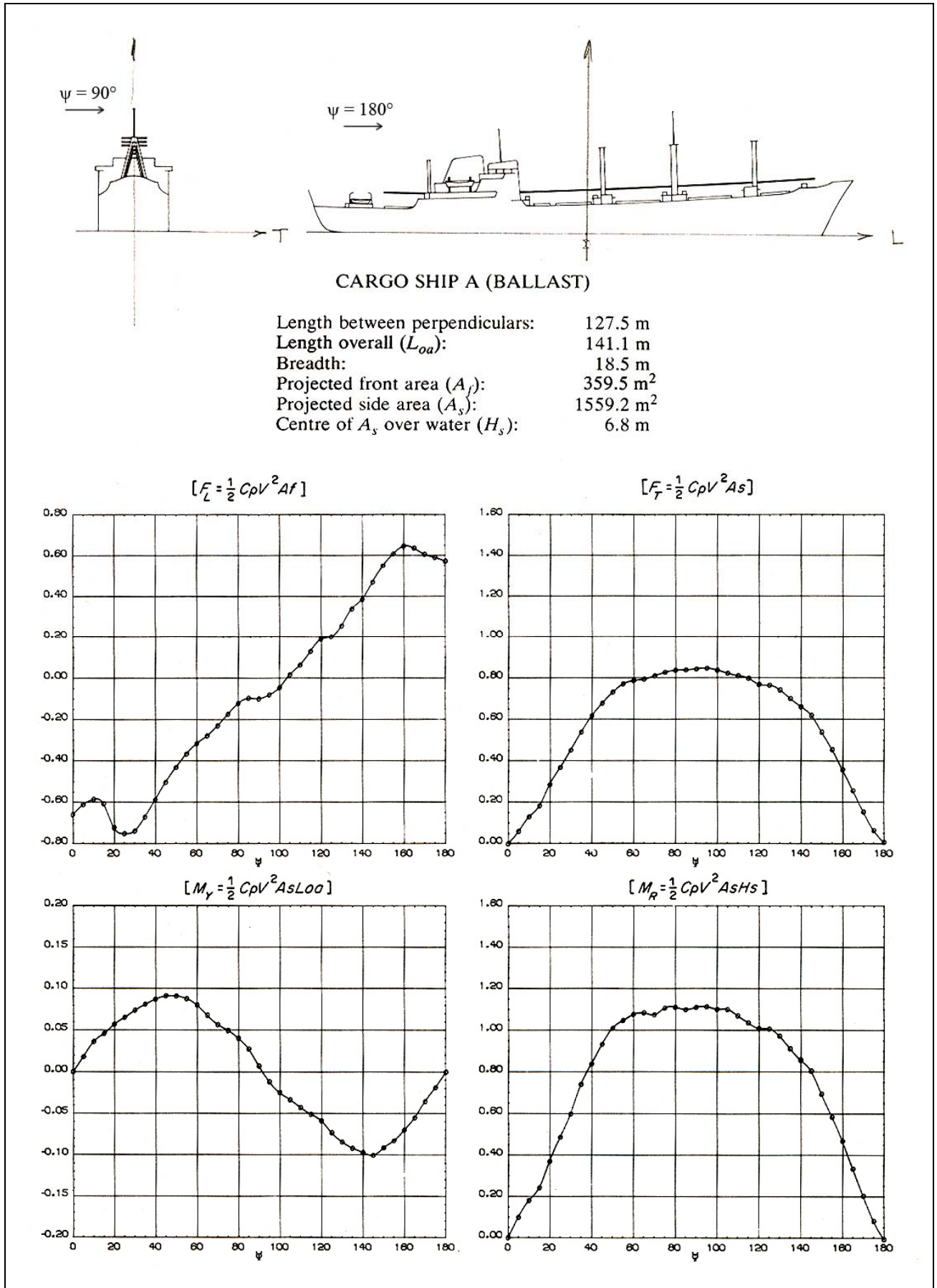


Sl. 1.3.2.5::1 Zemljovid područja opterećenja vjetrom prema HRN ENV 1991-2-4:2001, str. 5, Slika NA. D. 1 prikazuje osnovnu poredbenu brzinu vjetra $v_{ref,0}$ definiranu kao 10-minutna srednja brzina na visini od 10 m iznad ravnog tla kategorije hrapavosti II koja se može očekivati za povratni period od 50 godina.

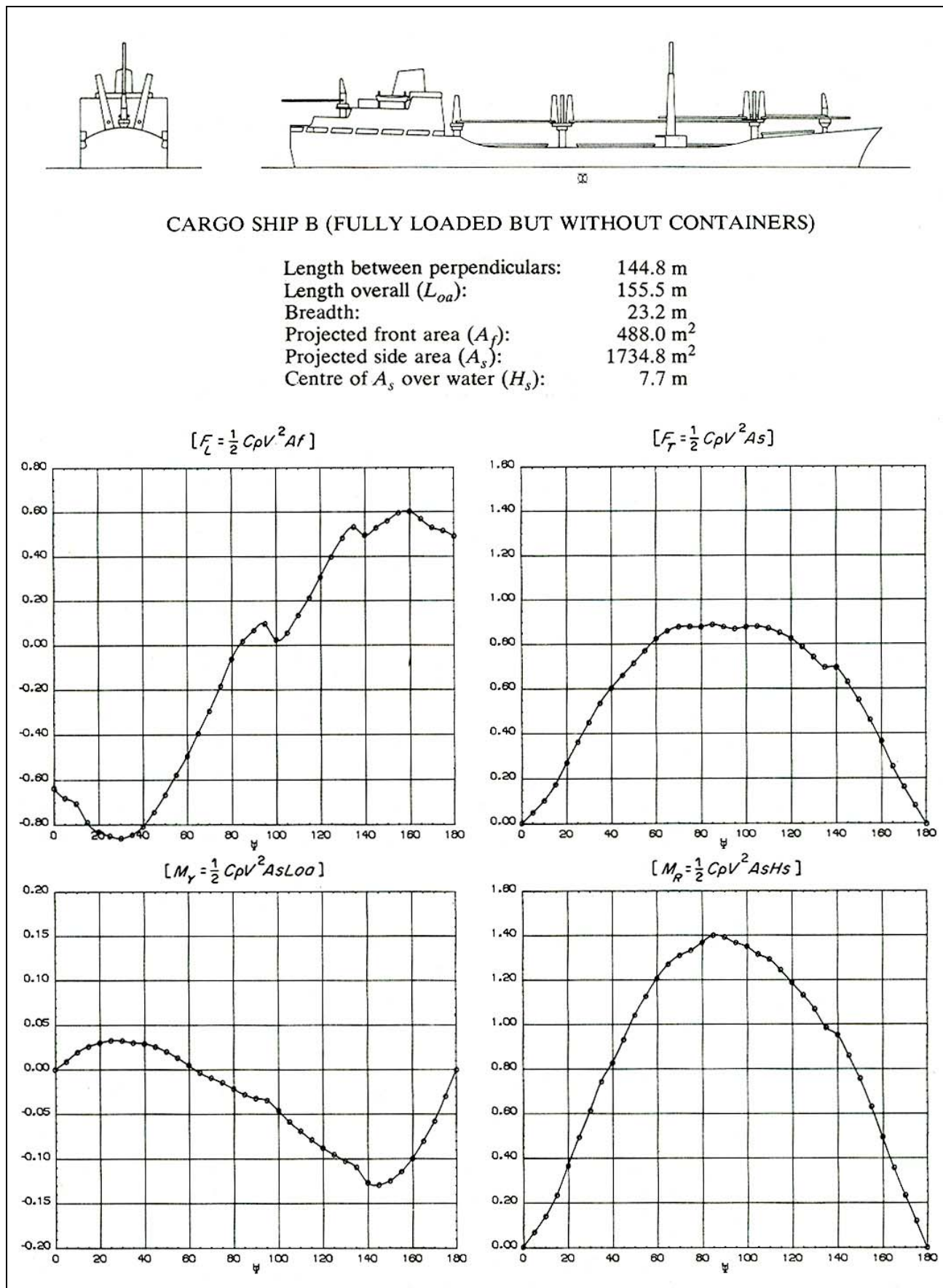
Udar u Tab. 1.3.2.5:I izveden je iz srednje 10-minutne brzine vjetra može preko faktora mahovitosti kao trenutnareferentna brzina vjetra $v_{ref,x}$; t.j. kao 1-sekundni udar.

Područja	$v_{ref,0}$ (m/s)	$v_{ref,x}$ (m/s)
I	22	35
II	30	45
III	35	55
IV	40	65
V	50	75

Tab. 1.3.2.5:I Vrijednosti osnovne poredbene ($v_{ref,0}$) brzine vjetra i trenutne ($v_{ref,x}$) brzine vjetra po područjima opterećenja vjetrom, prema HRN ENV 1991-2-4:2001, str. 4, Tablica NAD.1

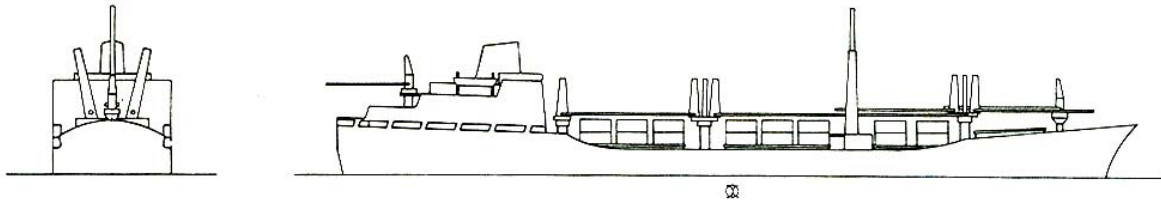


Slika 1.3.2.5.2::2 Koeficijent otpora za teretni brod



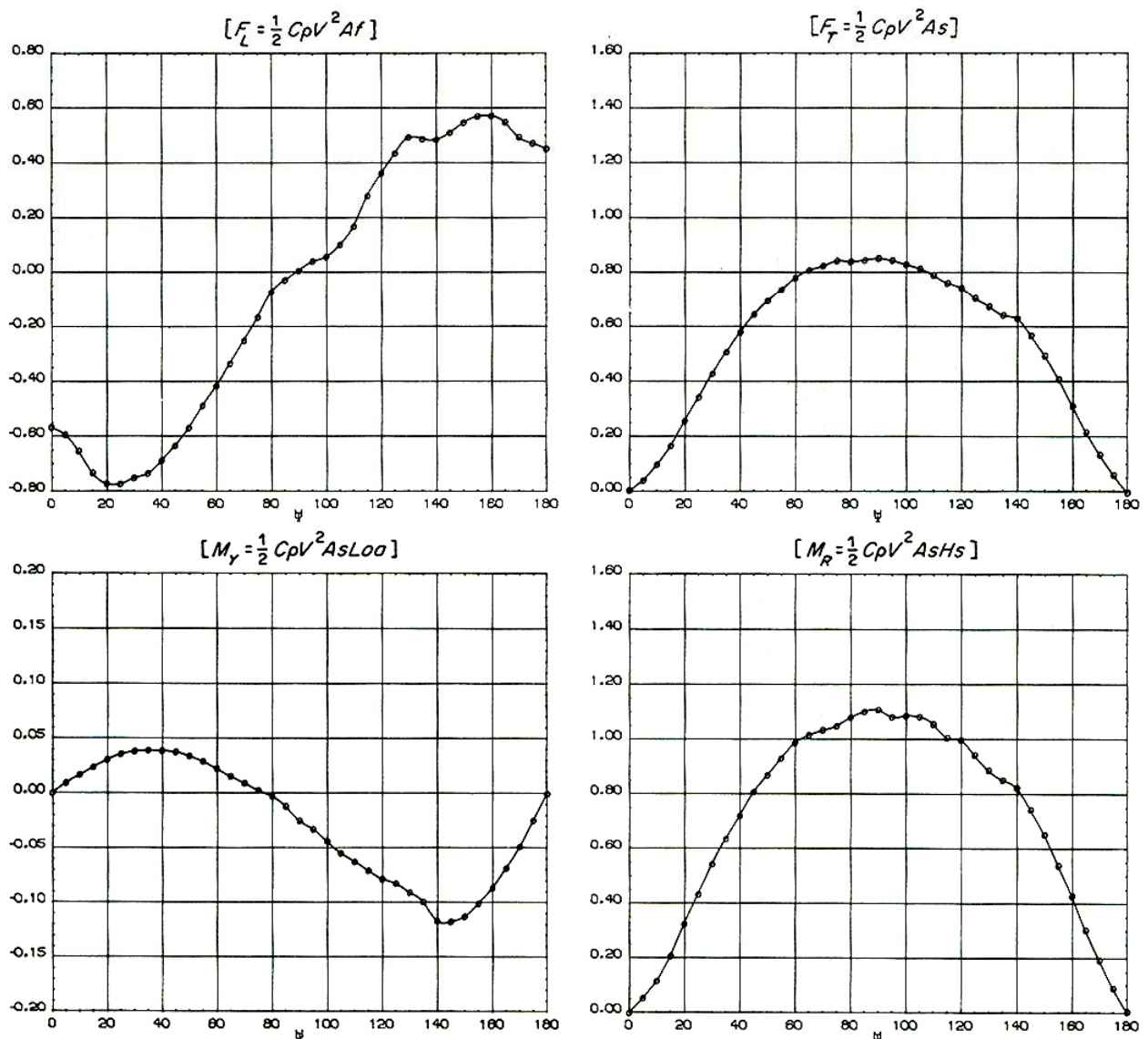
Slika 1.3.2.5.2::3

Koeficijent otpora za teretni brod – bez kontejnera

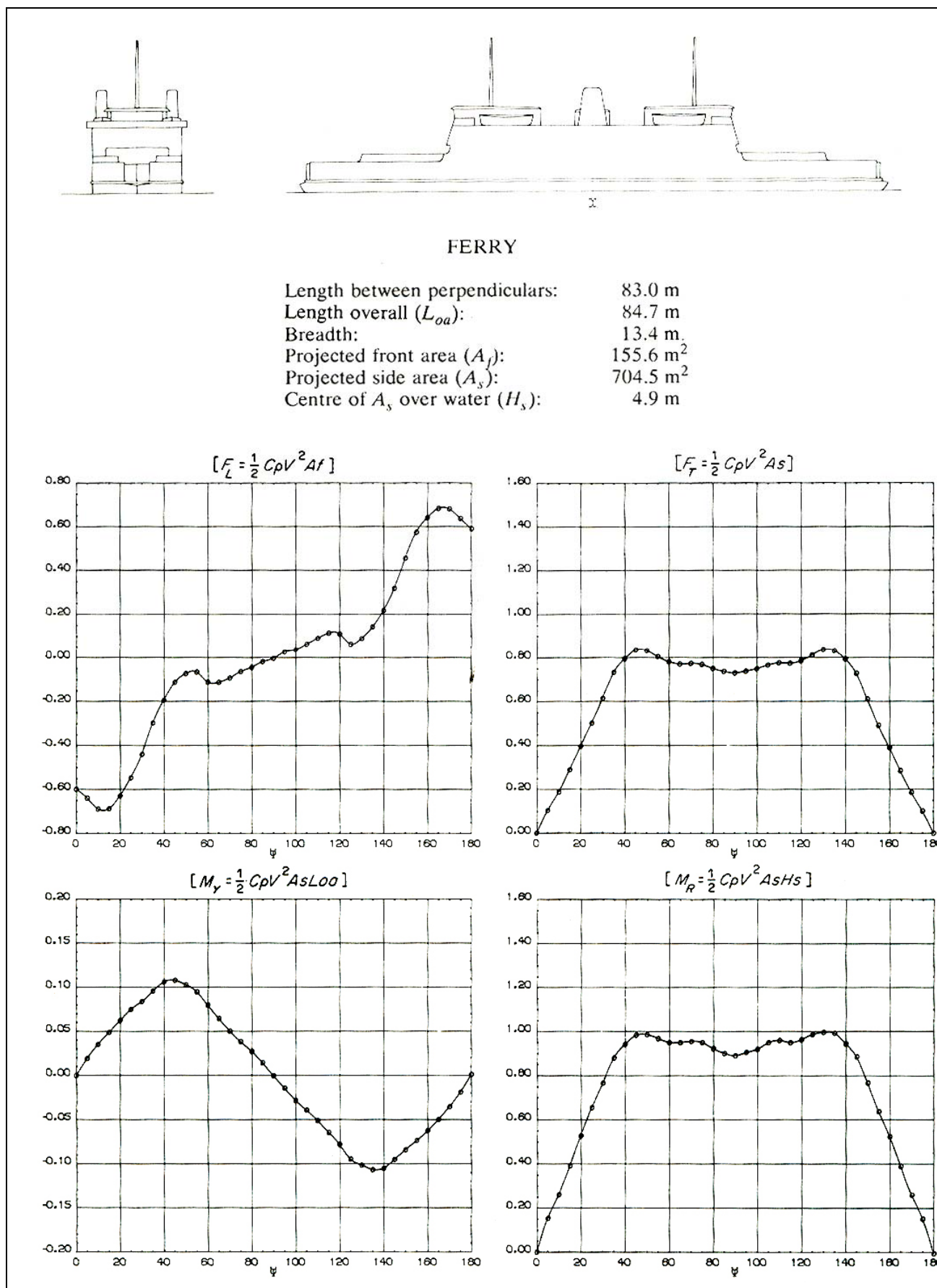


CARGO SHIP B (FULLY LOADED AND WITH CONTAINERS)

Length between perpendiculars:	144.8 m
Length overall (L_{oa}):	155.5 m
Breadth:	23.2 m
Projected front area (A_f):	488.0 m ²
Projected side area (A_s):	1971.4 m ²
Centre of A_s over water (H_s):	7.7 m

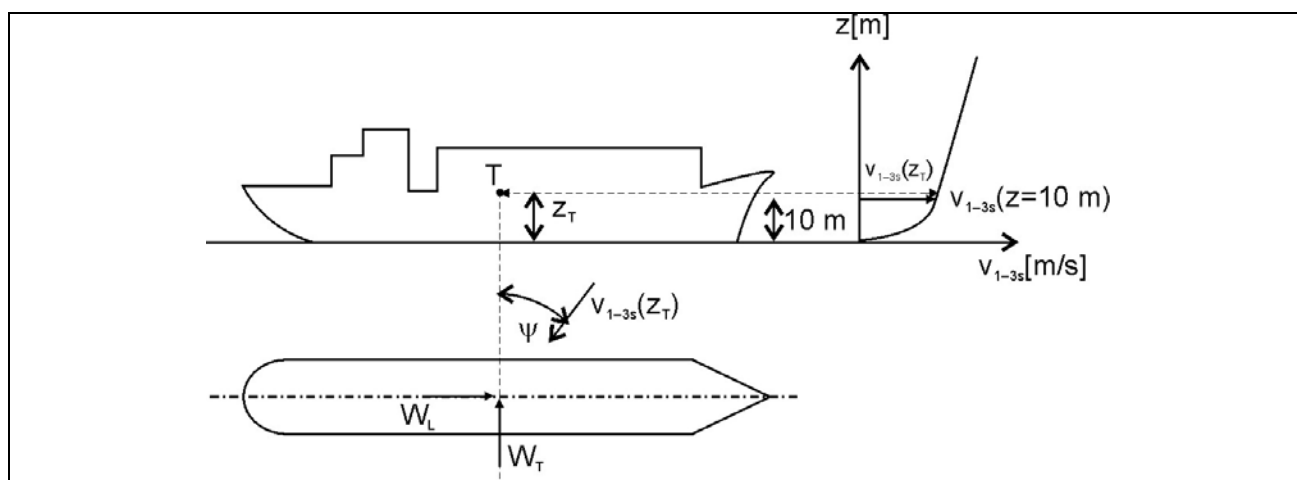


Slika 1.3.2.5.2::4 Koeficijent otpora za teretni brod – sa kontejnerima



Slika 1.3.2.5.2::5 Koeficijent otpora za trajekte

Nominalna brzina vjetra obično se uzima na standardnoj WMO visini od 10 m iznad tla ili mora, a u proračunu se uzima na težišnoj visini nadvođa broda iz vertikalnog profila brzine kako je prikazano na slici 1.3.2.5.2::6.



Slika 1.3.2.5.2::6 Vertikalni profil brzine vjetra

Kod proračuna konstrukcije na utjecaj vjetra pretpostavlja se da prekrcajna oprema neće biti u upotrebi kod vjetra jačeg od 20 m/s.

Morske struje

Karakteristična brzina struja pada s dubinom, a opterećenje na konstrukciju u ovisnosti je o kvadratu brzine, veličini i obliku površine izložene djelovanju. Sila djelovanja struje na konstrukciju odnosno brod u uzdužnom i poprečnom smjeru računa se prema izrazu

$$F_{CT} = \frac{1}{2} C_{DT}(\psi) \rho_w v_c^2 A,$$

$$F_{CL} = \frac{1}{2} C_{DL}(\psi) \rho_w v_c^2 A$$

gdje je

C_{DT}	poprečni koeficijent otpora
C_{DL}	uzdužni koeficijent otpora
ρ_w	gustoća mora [kg/m ³]
v_c	brzina struje [m/s]
A	površina izložena djelovanju struje [m ²].

Kod jakih struja konstrukcija se uglavnom postavlja paralelno sa smjerom strujanja, a projektna brzina strujanja uzima se s povratnim periodom 5 godina. Djelovanje morskih struja na brod na konstrukciju se obično prenosi preko priveza svih konopa, a znatno rjeđe kao udar broda u odbojnik, no djelovanje morske struje izravno na konstrukciju može imati značajan utjecaj.

Valovi

Maksimalan tlak vala na vertikalni zid desit će se u trenutku totalne refleksije kada je na licu zida greben superponiranog stojnog vala; tj. kada je visina "clapotisa" $H^c = 2 H_{dol}$. Ukupan tlak na vertikalni zid sastoji se od hidrostatičkog i hidrodinamičkog. Veličina hidrodinamičkog tlaka na nekoj dubini D proračunava se prema Sainflou (Sl. 1.3.2.5.2::6) i iznosi:

$$p_{dyn} = \frac{\rho g a_{sup}}{ch \frac{2\pi D}{L}} = \frac{\rho g H_{dol}}{ch \frac{2\pi D}{L}} \quad [N/m^2 = Pa]$$

dinamički tlak nelomljenog vala
prema Sainflou

$$\rho = 1025 [kg/m^3] \quad \text{gustoća}$$

mase morske vode

H_{dol} [m]

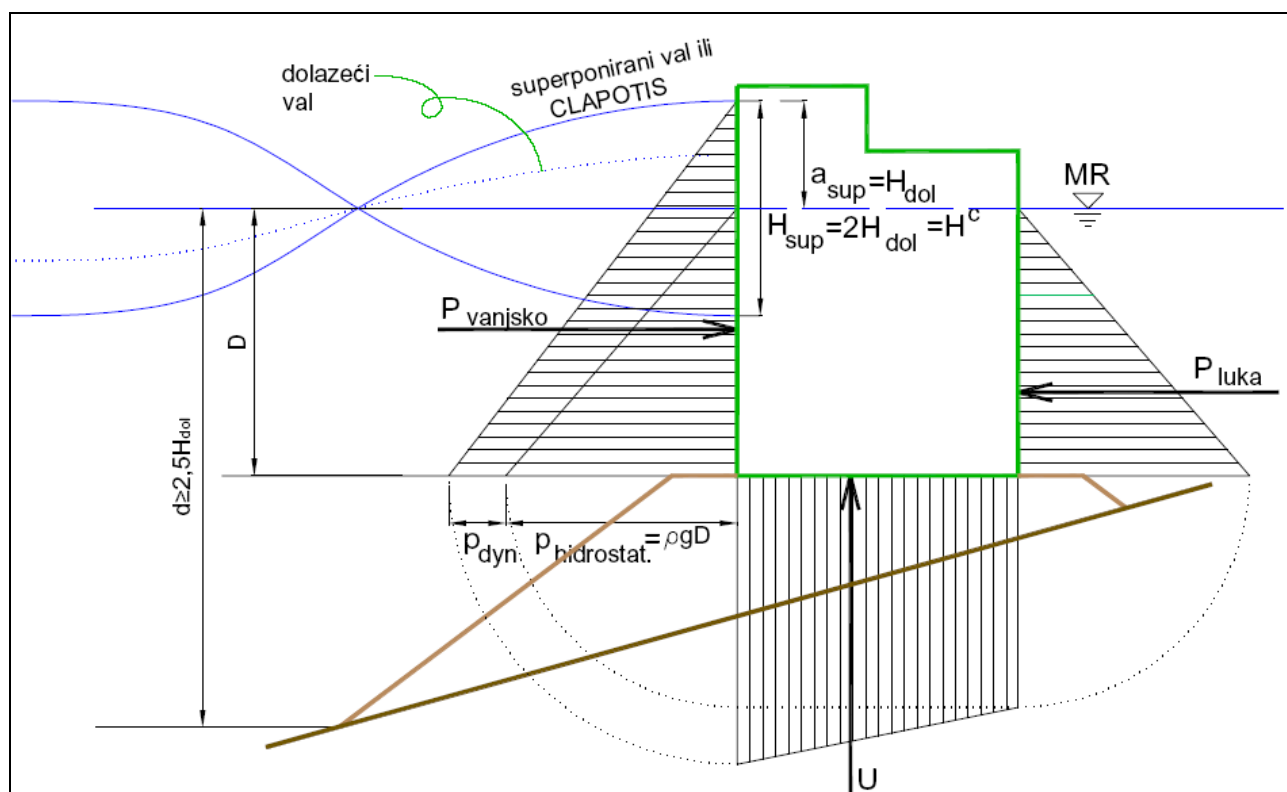
L [m]

D [m]

visina dolazećeg vala

dužina dolazećeg vala

dubina mora na kojoj se traži dinamički tlak



Sl. 1.3.2.5.2::6 Tlak nelomljenog vala na vertikalni zid

Proračun vrijedi samo za nelomljene valove ispred vertikalnog zida. Uvjet za nelomljene valove (vrlo siguran - inženjerski) je da dubina dna pred zidom bude: $d \geq 2,5 H_{dol}$. U slučaju loma vala pred zidom tlak je mnogo puta veći i određuje se po drugim metodama.

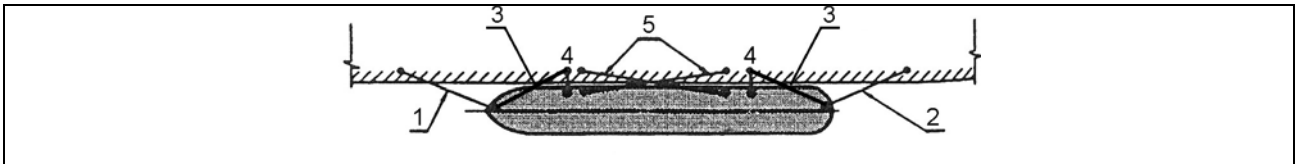
Privez brodova

Sile priveza broda nastaju uslijed utjecaja okoliša, plovila u blizini, te samog manevra pristajanja. Na konstrukciju se prenose priveznim konopima na razne oblike priveznih uređaja (poleri, bitve i sl.). Najveći utjecaj na određivanje sila priveza u zaštićenim lukama ima vjetar.

Privezni konopi podijeljeni su kako je prikazano na slici 1.3.2.5.2::7:

- pramčani i krmeni konopi
- springovi
- poprečne veze
- duga uzdužna veza.

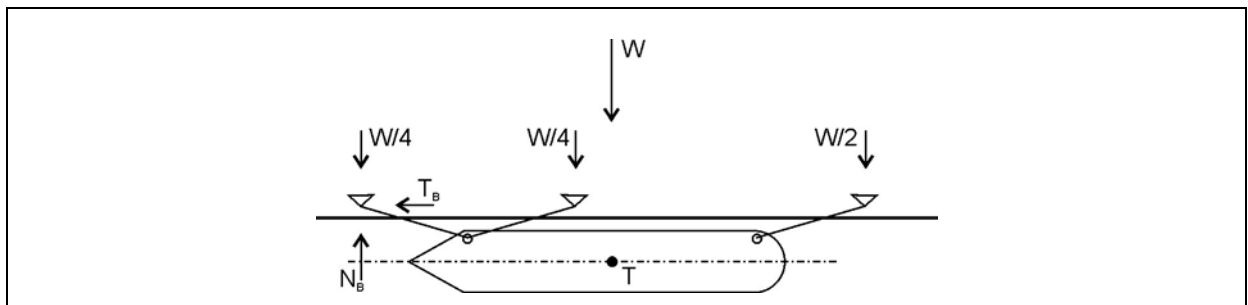
Konopi pramca i krme pružaju otpor strujama i silama vjetra paralelnim na plovilo. Pričvršćeni su na pripadni kraj plovila pod kutem 30-45° u odnosu na gat. Springovi uz preuzimanje navedenih sila sprečavaju pomake uslijed valova, a postavljaju se pod kutem 5-10° u odnosu na gat. Općenito, potrebna su minimalno 3 užeta za siguran privez, no praktično broj užadi ovisi o veličini plovila.



Slika 1.3.2.5.2::7: Karakteristični privez broda (1,2 – pramčani i krmeni konopi, 3 – springovi, 4 – poprečne veze, 5 – duga uzdužna veza)

Sile priveza računaju se prema opterećenju okoline na najveći brod predviđen na gatu. Sam proračun trebao bi u obzir uzeti predviđen način priveza prema maritimnoj studiji. Sila priveznog užeta na svaki poler izračunava se za statički neodređen model krutog tijela učvršćenog elastičnim vezama podvrgnut silama i momentima od vjetra i morskih struja. Ukoliko se rade pojednostavljeni modeli samo s poprečnom silom W od vjetra bez momenta ($M_w = 0$), kao na slici 1.3.2.5.2::8, može se statička shema priveza broda "krutim" konopima napraviti određenom (uz primjenu simetrije) pa se normalne horizontalne sile na poler N_B mogu jednostavno izračunati.

Pojednostavljenje je na strani sigurnosti zbog "krutih" konopa.



Slika 1.3.2.5.2::8: Pojednostavljene statičke sile priveza broda

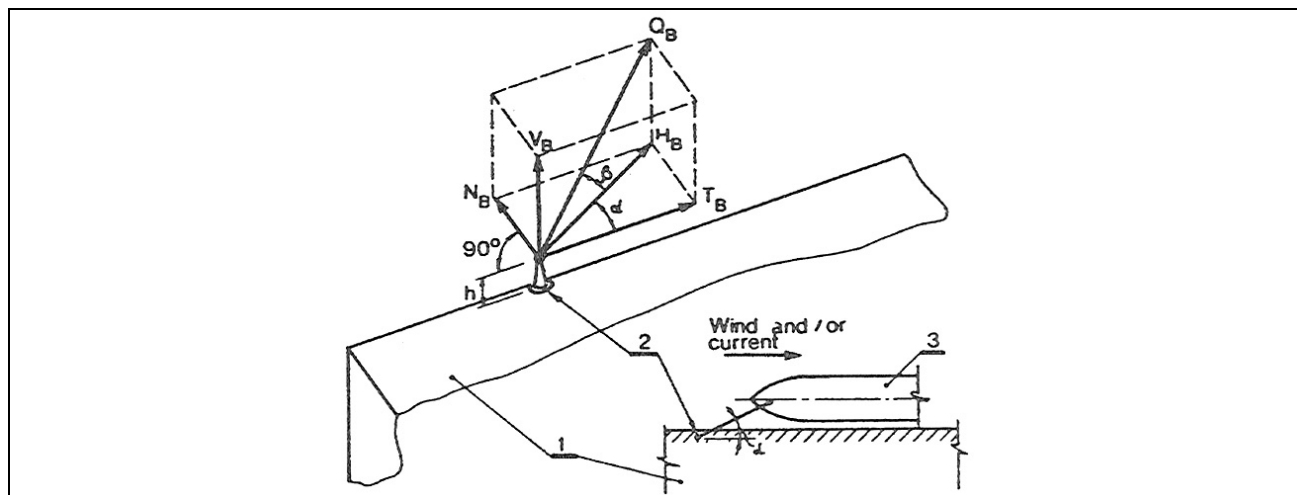
Ukupna sila, Q_B , na poler, te njena vertikalna i uzdužna komponenta, V_B i T_B iznose:

$$Q_B = \frac{N_B}{\sin \alpha \cos \beta}, \quad N_s = W/4 \text{ ili } W/2$$

$$V_B = Q_B \sin \beta,$$

$$T_B = Q_B \cos \alpha \cos \beta,$$

gdje su kutevi α i β prikazani na slici 1.3.2.5.2::9.

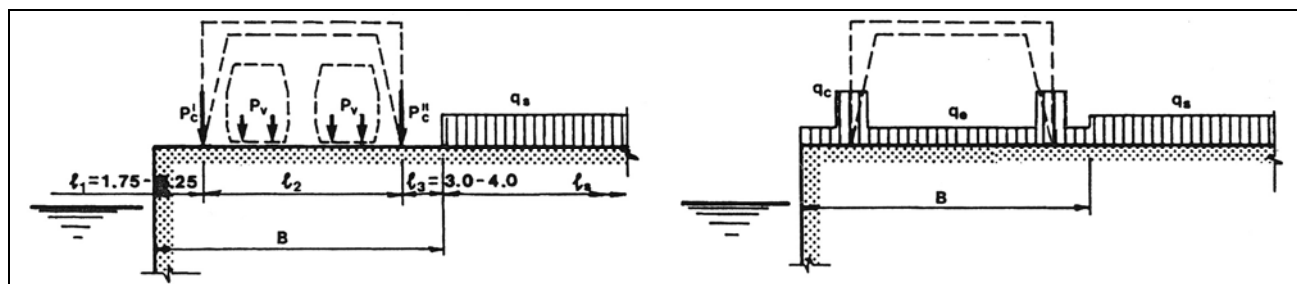


Slika 1.3.2.5.2::9: Sile priveza po komponentama

Preporuke različitih pravilnika o broju priveznih točaka n_P ne razlikuju se bitno, pa se za privez u 6 točaka preporuča da svaki poler treba imati nosivost minimalno trećinu ukupne sile, a kod priveza u 3 točke pola ukupne sile.

Manipulacija teretom

Pri određivanju projektnog opterećenja najčešće se koriste dva koncepta opterećenja – koncentrirano i kontinuirano opterećenje ili ekvivalentno kontinuirano (slika 1.3.2.5.2::10). Ekvivalentno kontinuirano opterećenje u većini slučajeva je pojednostavljenje stvarnog stanja.



Slika 1.3.2.5.2::10: Projektno opterećenje prekrcajnih terminala

Horizontalne sile uslijed manipulacije teretom sile su kočnja i sile pokretanja mehanizacije na gatu (jednakih su intenziteta, ali suprotnih smjerova djelovanja) i sile vijuganja. Iznos sila dobiva se prema odgovarajućim propisima.

Udar broda kod redovitog pristajanja

Praktički je nemoguće spriječiti udar broda u konstrukciju, a odbojnici imaju ulogu spriječiti direktan kontakt između njih.

Udar broda na konstrukciju može se određivati statističkim, empirijskim i teoretskim metodama ili fizikalnim i matematičkim modelima.

Teoretska (kinetička) metoda univerzalnija je od drugih navedenih, te može biti primijenjena na brodove raznih veličina pa će biti i detaljnije obrađena. Metoda u obzir uzima slijedeće faktore koji utječu na disipaciju ukupne energije udara:

- rotacija broda
- elastična deformacija konstrukcije
- kompresija sustava odbojnika
- istiskivanje vode između broda i konstrukcije (Na slici 1.3.2.5.2::11 prikazan je pomak vode uslijed bočnog pomaka broda.)

Odbojnici apsorbiraju samo dio ukupne kinetičke energije broda koju se definira kao "efektivna kinetička energija udara" broda E .

$$E = \frac{(W_1 + W_2)v_n^2}{2} C_E C_S C_C, [\text{kNm}]$$

gdje su

W_1 istisnina broda [t]

W_2 hidrodinamička ili pridružena masa [t]

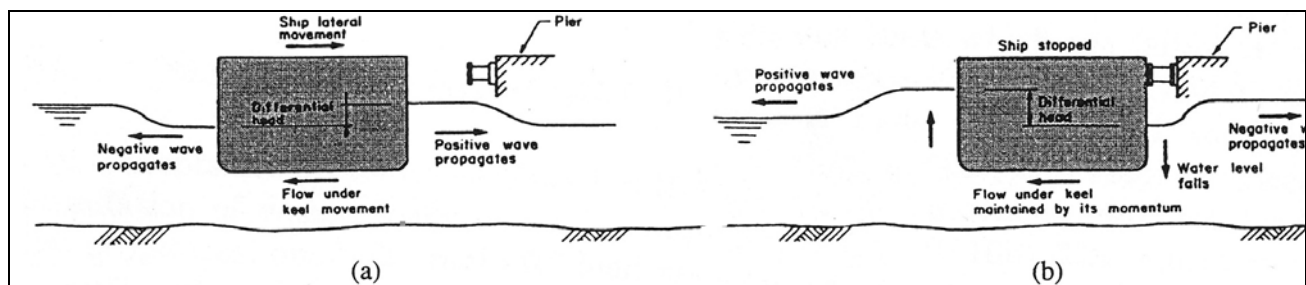
v_n komponenta brzine broda okomita na konstrukciju [m/s]

C_E koeficijent ekscentriciteta

C_S koeficijent elastičnosti broda i/ili konstrukcije

C_C koeficijent konstrukcije.

Zbroj $W = (W_1 + W_2)$ često se naziva i virtualna masa broda, izražava se u tonama.



Slika 1.3.2.5.2::11: Pomak vode i napredovanje vala uslijed bočnog pomaka broda

Može se pisati i $W = C_m W_1$, gdje je C_m hidrodinamički faktor mase, koeficijent pridružene mase, koji se temelji na rezultatima ispitivanja na modelima, a razni autori dali su različite izraze. Ovdje je dan najčešće korišten izraz:

autor	izraz	oznake
Vasco Costa (1964)	$C_m = 1,0 + \frac{2D}{B}$	D-gaz broda B-širina broda

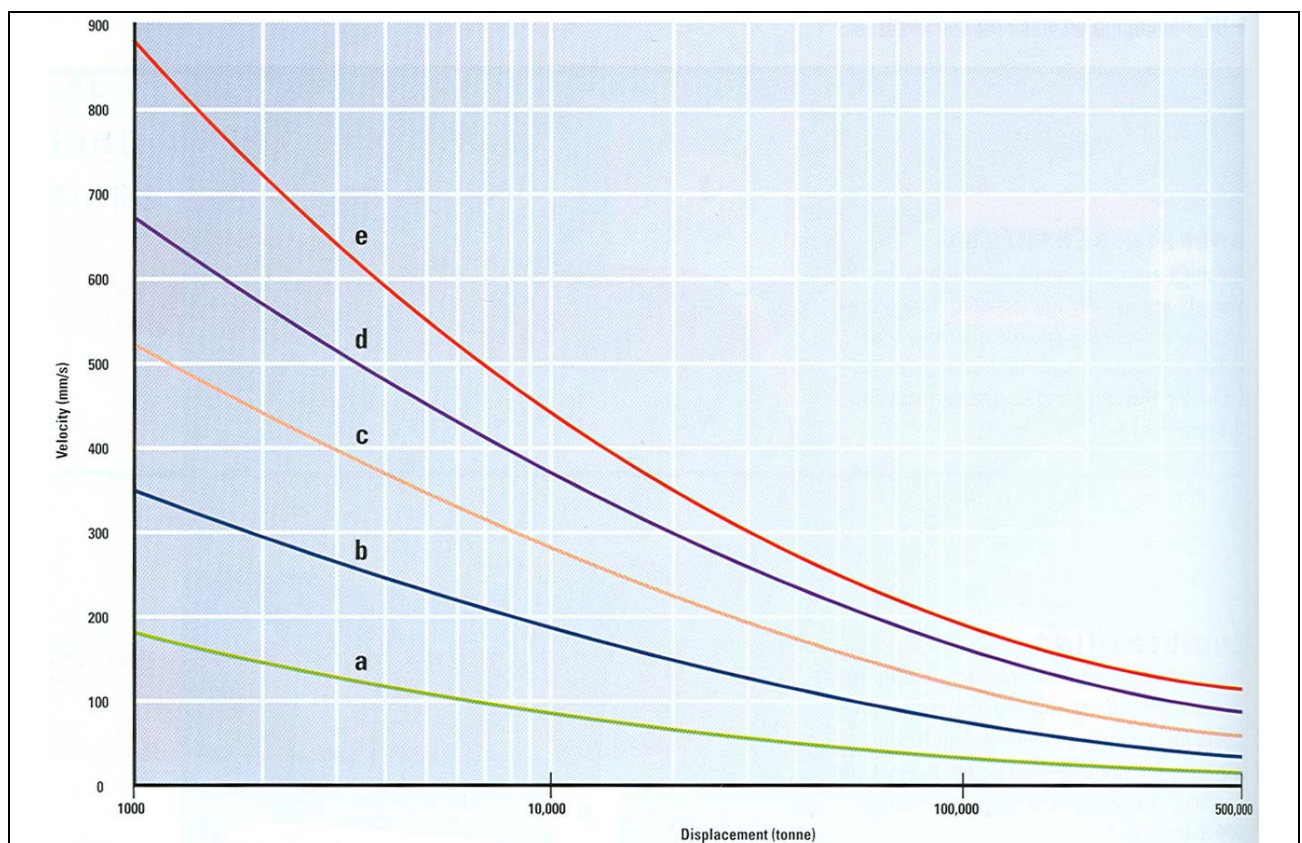
Tablica 1.3.2.5.2::I: Hidrodinamički faktor mase

Razne studije dobile su raspon vrijednosti C_m -a između 1,3 i 3,6. PIANC je izdao preporuku (osim kada projektant ima valjan razlog za upotrebu neke druge vrijednosti) za korištenje vrijednosti 1,5 do 1,8.

Sada se ekvivalentna kinetička energija broda može pisati:

$$E = W \frac{v_n^2}{2} C_m C_E C_S C_C.$$

Prilazna brzina i kut vrlo su važne komponente određivanja energije udara broda. Prilazna brzina ovisi o veličini broda, načinu prilaza, uvjetima okoliša i ljudskom faktoru. Prikladan odabir brzine vrlo je važan za dobivanje realne vrijednosti kinetičke energije kod projektiranja sistema odbojnika i konstrukcije gata. Brzine pristajanja preporučene prema BS, PIANC i drugim propisima prikazane su u tablici 1.3.2.5.2::II i na slici 1.3.2.5.2::12.



Slika 1.3.2.5.2::12: Brzine pristajanja

Istisnina broda	v(a)	v(b)	v(c)	v(d)	v(e)
[t]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
1.000	179	347	518	671	868
2.000	151	295	443	574	722
3.000	135	266	402	522	647
4.000	126	249	376	489	594
5.000	117	233	352	459	561
10.000	95	191	288	378	452
20.000	75	155	229	306	359
30.000	64	1335	200	266	309
40.000	57	121	177	238	277
50.000	52	112	163	219	254
100.000	39	86	126	170	200
200.000	27	62	94	129	156
300.000	21	48	76	106	132
400.000	19	44	71	99	125
500.000	18	41	68	96	121
a	laki privez, zaštićen				
b	težak privez, zaštićen				
c	laki privez, izložen				
d	dobar privez, izložen				
e	težak privez, izložen				

Tablica 1.3.2.5.2.:II: Brolsma tablica brzina pristajanja

Koeficijent ekscentriciteta C_E dan je izrazom

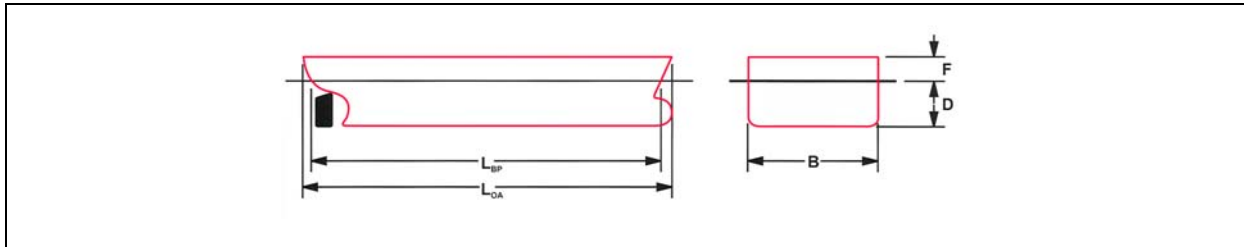
$$C_E = \frac{K^2 + (R^2 \cos^2 \gamma)}{K^2 + R^2},$$

gdje je

$$K = (0,19C_B + 0,11)L_{pp} \quad \text{radijus okretanja, [m]}$$

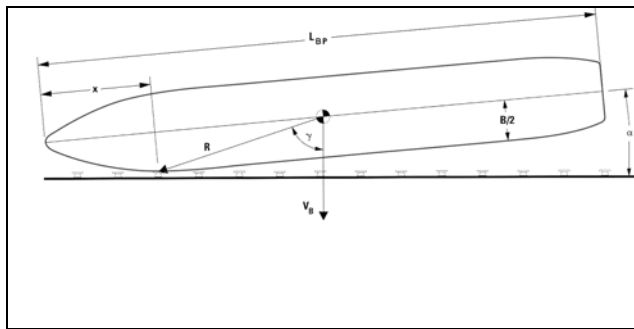
$$R = \sqrt{\left(\frac{L_{pp}}{2} - x\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2} \quad \text{udaljenost centra mase broda do točke udara, [m]}$$

γ	kut vektora brzine, [°]
L_{pp}	dužina broda između okomica (perpendikulara), [m] (slika 1.3.2.5.2::13)
x	udaljenost mjesta udara brodskog trupa u obalu od pramca, [m]
B	širina broda, [m].

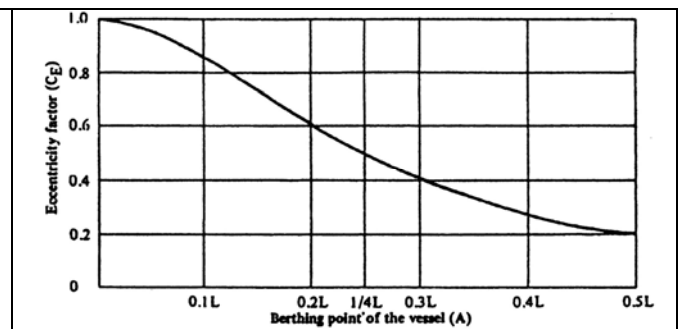


Slika 1.3.2.5.2::13: Dužina broda između okomica

(Sve oznake prikazane su na slici 1.3.2.5.2::14). Također može se odrediti prema dijagramu prikazanom na slici 1.3.2.5.2::15.

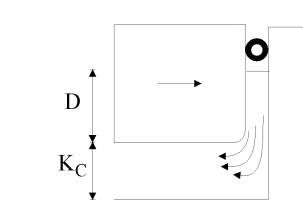
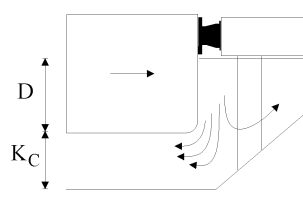
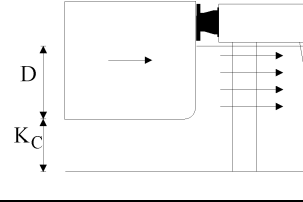


Slika 1.3.2.5.2::14: Udar broda – oznake

Slika 1.3.2.5.2::15: Ovisnost koef. C_E i točke udara trupa broda u kej [FENTEK]

Često se koristi i približna formula oblika $C_E \approx \frac{K^2}{K^2 + R^2}$, za $\gamma \approx 90^\circ$.

Koeficijent konstrukcije C_C uzima u obzir ublažavajući efekt istiskivanja vode između broda i konstrukcije, a definiran je prema tablici 1.3.2.5.2::III.

vrsta konstrukcije	C_c	slika
zatvorena konstrukcija	$\frac{K_c}{D} \leq 0,5 \Rightarrow C_c \approx 0,8$	
	$\frac{K_c}{D} > 0,5 \Rightarrow C_c \approx 0,9$	
poluotvorena konstrukcija	$\frac{K_c}{D} \leq 0,5 \Rightarrow C_c \approx 0,9$	
	$\frac{K_c}{D} > 0,5 \Rightarrow C_c \approx 1,0$	
otvorena konstrukcija	1,0	

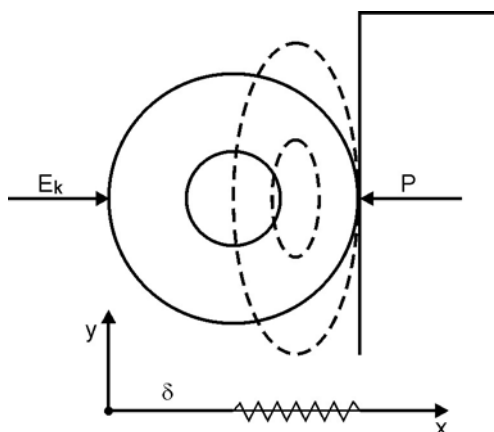
Tablica 1.3.2.5.2.:III: Koeficijent konstrukcije C_c

Koeficijent mekoće pristajanja C_s određuje energiju koja se apsorbira elastičnim deformacijama trupa broda, a ne uzima se u obzir kod "mekanih" odbojnika (deformacija odbojnika $\delta_F > 150mm$) kako je prikazano u tablici 1.3.2.5.2.:IV.

uvjet	C_s
$\delta_F \leq 150mm$	0,9
$\delta_F > 150mm$	1,0

Tablica 1.3.2.5.2.:IV: Koeficijent mekoće pristajanja C_s

Odbojnici (fenderi) djeluju na principu opruge krutosti k te na taj način absorbiraju energiju udara broda.



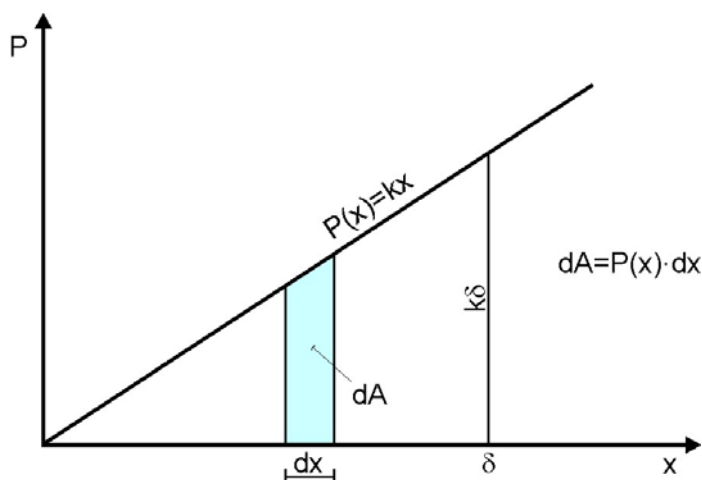
Slika 1.3.2.5.2::16: Osnovni princip djelovanja odbojnika

Prema slici 1.3.2.5.2::16 može se pisati $P = k \cdot \delta$, odnosno $\delta = \frac{P}{k}$, pri čemu je

P	sila na konstrukciju [N]
k	koeficijent elastičnosti odbojnika (opruge) [N/m]
δ	pomak [m]

Rad sile opruge na deformaciju odbojnika A [Nm] definira se, prema slici 1.3.2.5.2::17, izrazom

$$A = \int_0^{\delta} P(x) dx = k \int_0^{\delta} x dx = k \cdot \frac{x^2}{2} \Big|_0^{\delta} = k \cdot \frac{\delta^2}{2} = \frac{1}{2} P \cdot \delta = \frac{P^2}{2k}$$

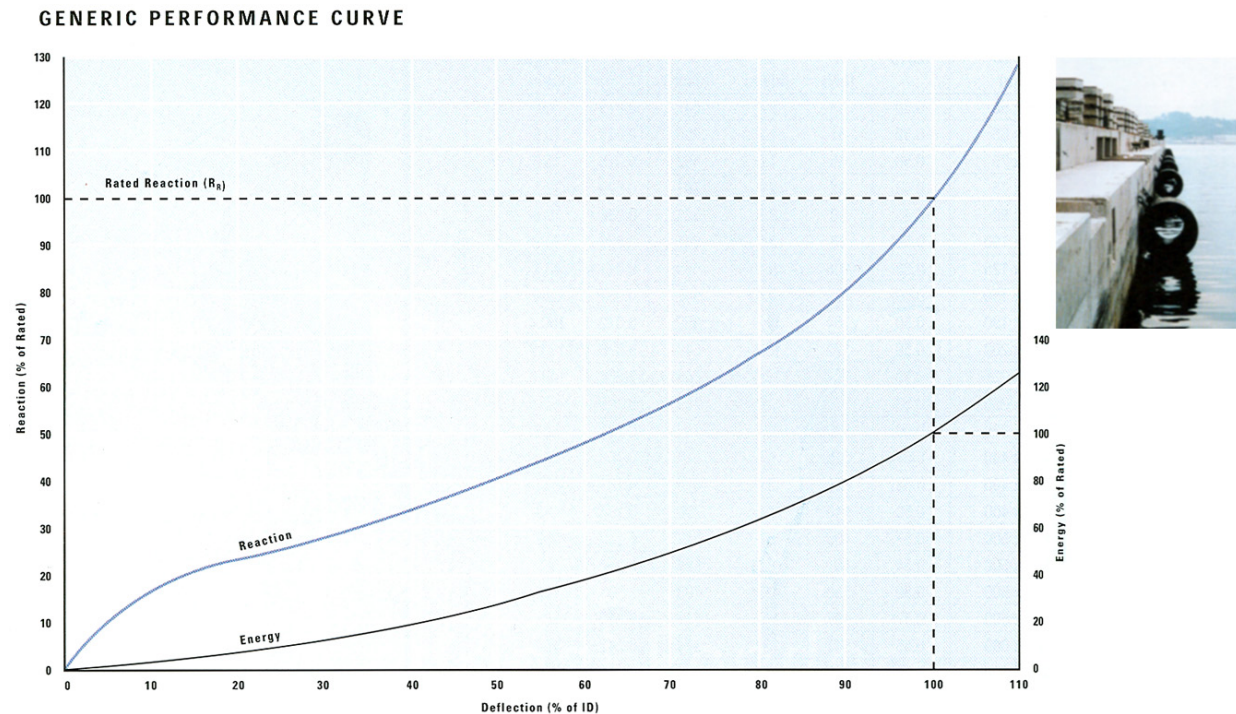
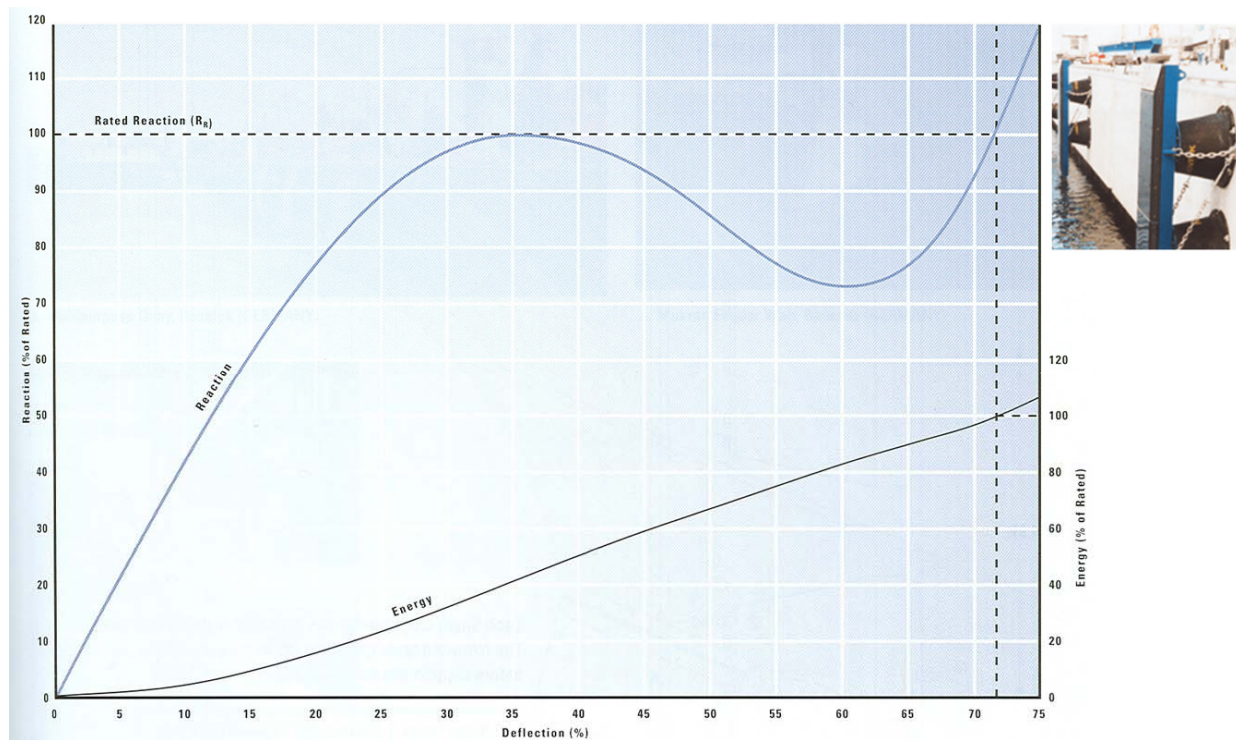


Slika 1.3.2.5.2::17: Rad sile opruge

Ekvivalentna kinetička energija broda mora biti jednaka radu odbojnika pa slijedi

$$\frac{P^2}{2k} = E_k.$$

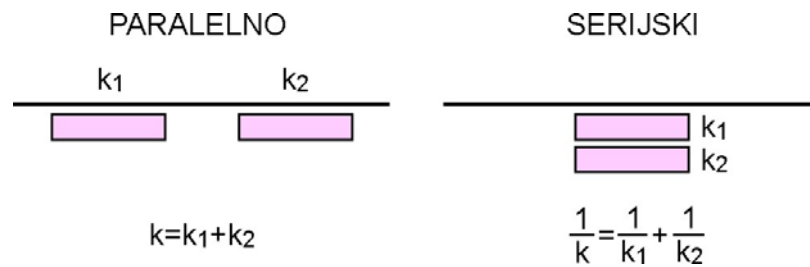
Realno koeficijent k nije konstantan pa se umjesto dobivenog eksplicitnog izraza koriste dijagrami $P(E_k)$, primjer kojeg je prikazan na slici 1.3.2.5.2::18 a i b, za dozvoljene deformacije koje ovise o odabiru odbojnika i iznose cca 60-70 %.

Slika 1.3.2.5.2::18a:Dijagram $P(E_k)$ Slika 1.3.2.5.2::18b:Dijagram $P(E_k)$

Odbojnici mogu biti postavljeni na dva načina (slika 1.3.2.5.2::19):

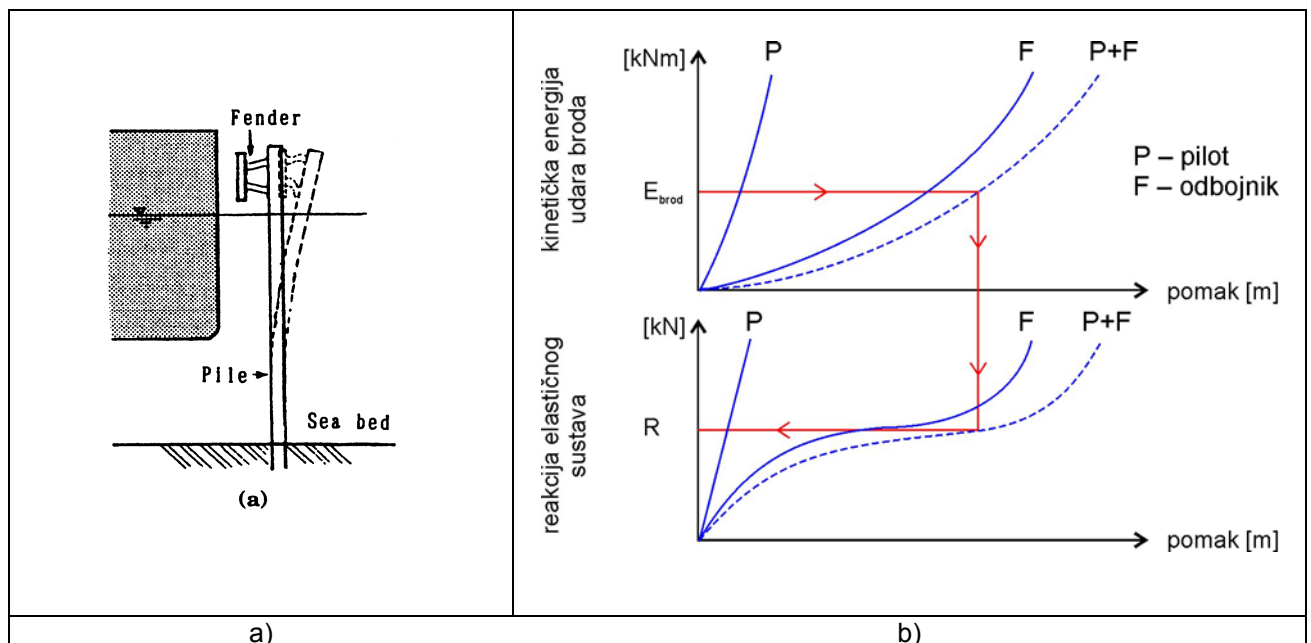
- paralelno
- serijski,

te o tome ovisi način proračuna ukupnog koeficijenta k .



Slika 1.3.2.5.2.:19: Odbojnici postavljeni paralelno i serijski

Najsloženiji model djelovanja opisan je interakcijom elastičnog priveznog pilota i odbojnika. Na slici 1.3.2.5.2.:20 prikazana je apsorpcija energije kombinacijom fleksibilnog pilota i odbojnika u obliku ovisnosti reakcije i pomaka sustava. Doprinos pilota uobičajeno se zanemaruje kao mali, a što je i na strani sigurnosti.



Slika 1.3.2.5.2.:20: a) fleksibilni sustav pilot/odbojnik

b) odnos reakcije sustava i pomaka

Primjer proračuna opterećenja brodom**Podaci za proračun opterećenja**

Definirani su slijedeći ulazni podaci za proračun opterećenja:

brzina udara vjetra – olujni vjetar	$v_u^o = 50 \text{ m/s}$
brzina udara vjetra	$v_u = 20 \text{ m/s}$
brzina pristajanja broda	$v = 0,30 \text{ m/s}$

Mjerodavne valne visine

naročito opterećenje: $H_{\max}^{100g} = 1,25 \text{ m}$

redovito opterećenje: $H_{\max}^{5g} = 1,00 \text{ m}$

– mjerodavni smjer je okomito na trasu gata.

Projektno mjerodavan trajekt "Valun"

(slika 1)

Osnovne karakteristike trajekta "Valun" prikazane su u tablici I.

dužina preko svega	L=	81,2	[m]
dužina između okomica	L _{pp} =	80,0	[m]
širina preko svega	B=	15,1	[m]
visina nadvođa	h=	15,1	[m]
bočna površina trajekta	A _B =	758,15	[m ²]
težište bočne površine trajekta	h _{TB} =	5,08	[m]
čelna površina trajekta	A _C =	120,8	[m ²]
težište čelne površine trajekta	h _{TC} =	5,08	[m]
gaz	t=	3,6	[m]
istisnina	W=	2000	[t]

Tablica I: Geometrijske karakteristike trajekta "Valun"

Proračun opterećenja**Sila vjetra na trajekt "Valun"**

Maksimalna brzina udara vjetra $v_u = 50 \text{ m/s}$ (olujni vjetar), neovisno o smjeru, koef. $C_{DL}(\psi)$, $C_{DT}(\psi)$ očitani s dijagrama za najnepovoljniji smjer vjetra:

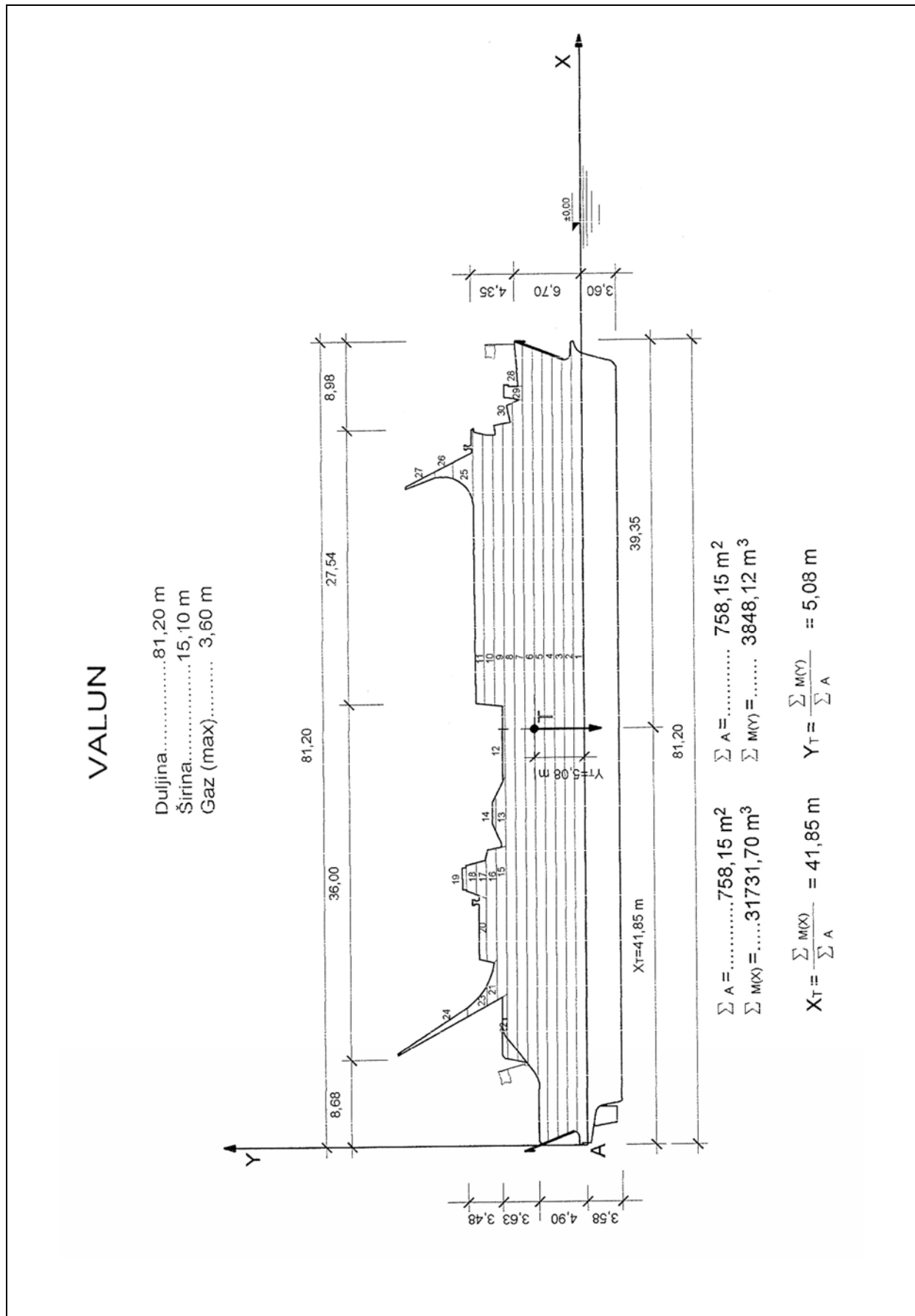
$$W_L = \frac{1}{2} C_{DL}(\psi) \rho_z v_{1-3s}^2 A = \frac{1}{2} 0,70 \cdot 1,3 \cdot 50^2 \cdot 758,15 \cdot 10^{-3} = 862,4 \text{ kN}$$

$$W_T = \frac{1}{2} C_{DT}(\psi) \rho_z v_{1-3s}^2(z_T) A = \frac{1}{2} 0,85 \cdot 1,3 \cdot 50^2 \cdot 120,8 \cdot 10^{-3} = 166,9 \text{ kN}$$

Analogno za redovni vjetar $v_u = 20 \text{ m/s}$ slijedi, također neovisno o smjeru puhanja vjetra:

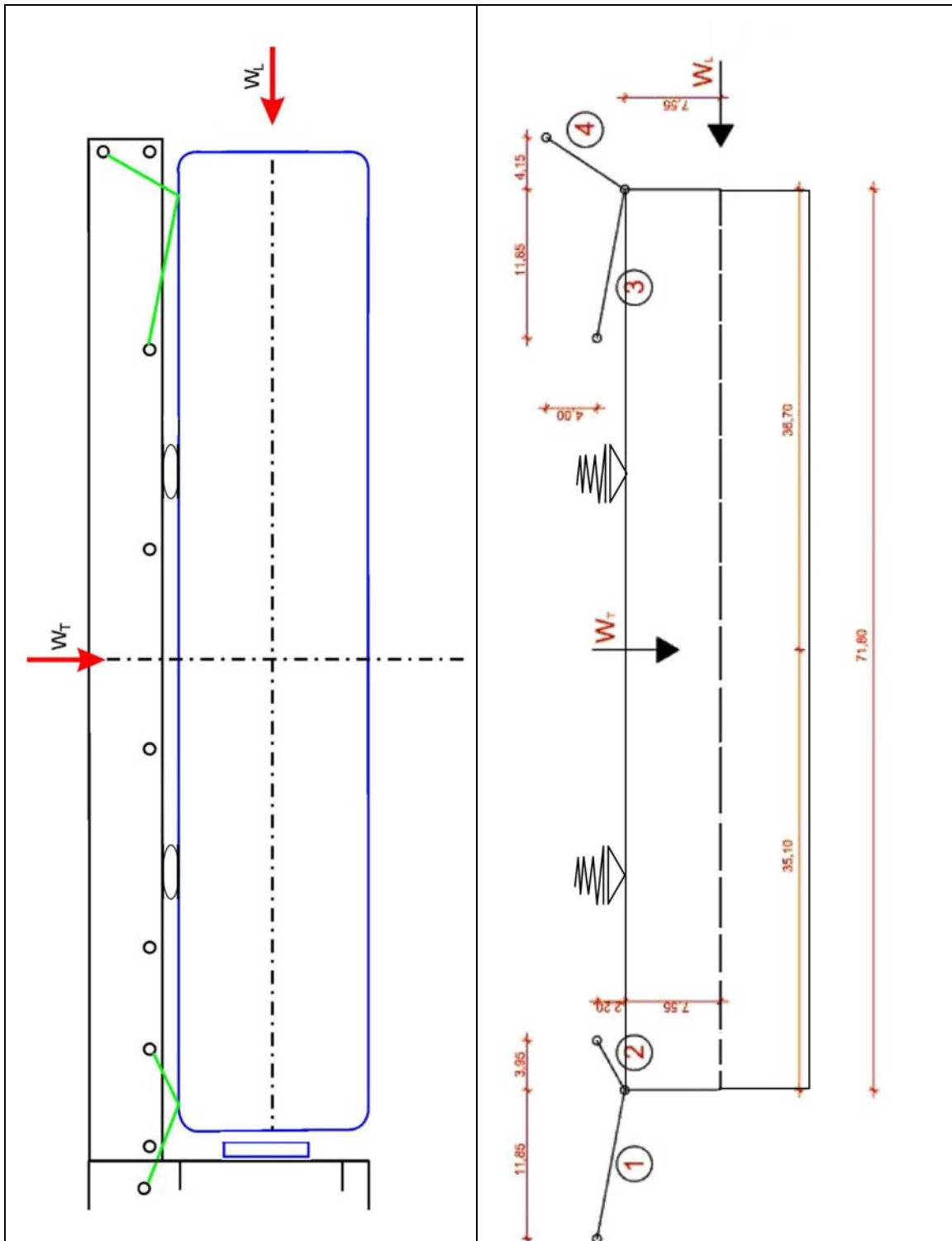
$$W_L = \frac{1}{2} C_{DL}(\psi) \rho_z v_{1-3s}^2 A = \frac{1}{2} 0,70 \cdot 1,3 \cdot 20^2 \cdot 758,15 \cdot 10^{-3} = 138,0 \text{ kN}$$

$$W_T = \frac{1}{2} C_{DT}(\psi) \rho_z v_{1-3s}^2(z_T) A = \frac{1}{2} 0,85 \cdot 1,3 \cdot 20^2 \cdot 120,8 \cdot 10^{-3} = 26,7 \text{ kN}$$



Slika 1: Projektno mjerodavan trajekt "Valun"
 Sila priveza trajekta "Valun" na gat

Pretpostavljeni privez trajekta "Valun" prikazan je na slici 2, dok je na slici 3 definiran proračunski model.



Slika 2: Privez broda "Valun"

Slika 3: Shema proračuna sila u priveznim konopima

Sila udara broda za brod "Valun"

Normalna kinetička energija broda kod pristajanja koju treba apsorbirati odbojnik

$$E_N = \frac{1}{2} W v_n^2 C_m C_E C_S C_C$$

Prema izrazima definiranim u poglavlju 1.3.2.5.2 i karakteristikama trajekta "Valun" slijedi:

$$C_m = 1 + \frac{2D}{B} = 1 + \frac{2 \cdot 3,6}{15,1} = 1,477 \text{ hidrodinamički faktor mase,}$$

$$C_E = \frac{K^2 + R^2 \cos^2 \gamma}{K^2 + R^2} = \frac{18,68^2 + 21,38^2 \cos^2 59,32}{18,68^2 + 21,38^2} = 0,58, \text{ koeficijent ekscencititeta}$$

pri čemu je

$$\text{radijus okretanja } K = [0,19 \cdot C_B + 0,11] L_{pp} = (0,19 \cdot 0,65 + 0,11) \cdot 80,0 = 18,68 \text{ m,}$$

udaljenost centra mase broda do točke udara,

$$R = \sqrt{\left(\frac{L_{pp}}{2} - x\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{80}{2} - 20\right)^2 + \left(\frac{15,1}{2}\right)^2} = 21,38 \text{ m,}$$

$$\text{gdje je } x = \frac{L_{pp}}{4} = \frac{80}{4} = 20,0 \text{ m udaljenost od pramca do točke udara,}$$

$$\gamma = 90^\circ - \alpha - \arcsin\left(\frac{B}{2R}\right) = |90^\circ - 10^\circ| - \arcsin\left(\frac{15,1}{2 \cdot 21,38}\right) = 59,32^\circ,$$

$$C_S = 1,0, \text{ koeficijent odnosa krutosti broda i odbojnika, za slučaj } \delta_F \geq 150 \text{ mm,}$$

$$C_C = 1,0, \text{ koeficijent konstrukcije, otvorena konstrukcija.}$$

Prema navedenom normalna kinetička energija koju treba apsorbirati odbojnik je

$$E_N = \frac{1}{2} W v_n^2 C_m C_E C_S C_C = \frac{1}{2} \cdot 2000 \cdot 0,3^2 \cdot 1,477 \cdot 0,58 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 77,1 \text{ kNm}$$

te je odabran "FENTEK" odbojnik tipa SCN700 2.0. koji za granični slučaj deformacija može apsorbirati energiju

$$E_R = 165 \text{ kNm,}$$

(vrijednosti prema katalogu, II).

$$R_R = 450 \text{ kNm,}$$

Odbojnik dakle na konstrukciju prenosi silu udara $N_u = 450 \text{ kN}$.

Kontrola razmaka brod – konstrukcija pri udaru

Mora biti zadovoljen uvjet $S \leq 2 \cdot \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_u + \delta_F + C)^2}$, gdje je

C svjetli razmak brod – konstrukcija [m]

$$R_B \text{ radijus zakrivljenosti broda, } R_B \approx \frac{1}{2} \left[\left(\frac{B}{2}\right) + \left(\frac{L_{oA}^2}{8B}\right) \right] \text{ [m]}$$

δ_F deformacija odbojnika [m]

S osni razmak odbojnika [m]

P_u nedeformirani odbojnik [m],

sve prikazano na slici 4.

$$R_B \approx \frac{1}{2} \left[\left(\frac{B}{2}\right) + \left(\frac{L_{oA}^2}{8B}\right) \right] = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{15,1}{2}\right) + \left(\frac{81,2^2}{8 \cdot 15,1}\right) \right] = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{15,1}{2}\right) + \left(\frac{81,2^2}{8 \cdot 15,1}\right) \right] = 31,07 \text{ m,}$$

$8 = 2 \cdot \sqrt{31,07^2 - (31,07 - 1,05 + 0,7 + C)^2} \Rightarrow C = 0,14 \text{ m}$ što znači da je razmak brod – konstrukcija manji od kritičnog kod kojeg bi brod mogao udariti u konstrukciju.

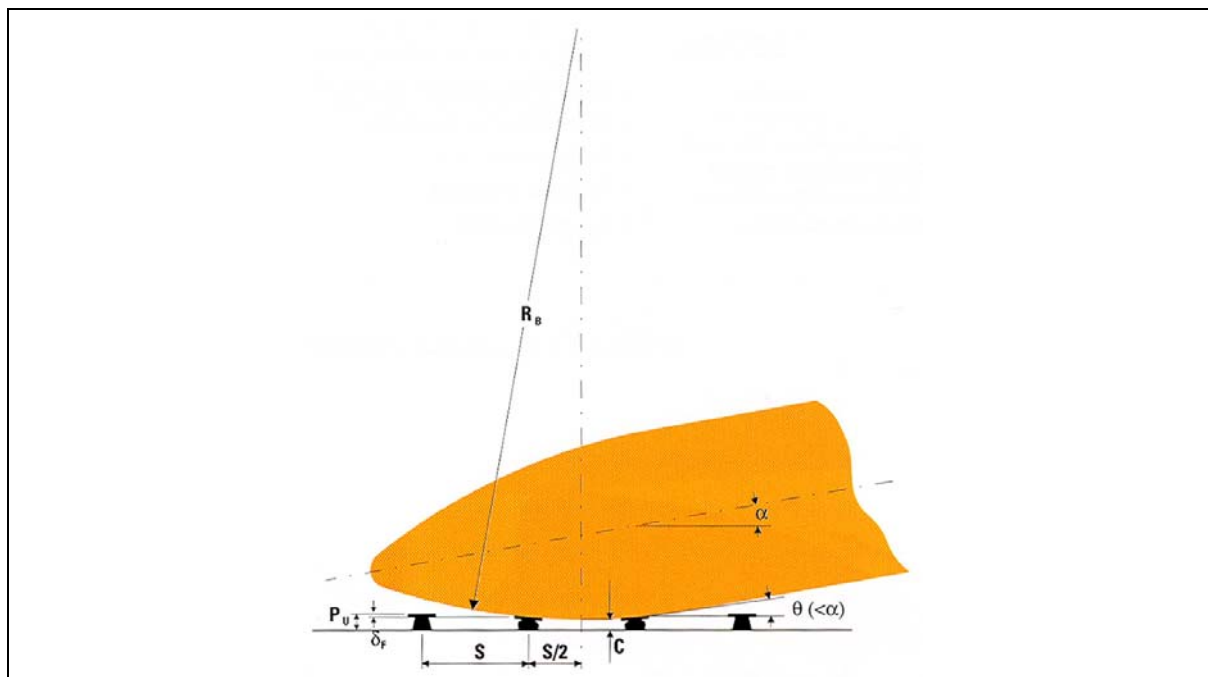
Havarijski udar broda

Prema Eurokodu 1, dio 2-7, Djelovanja na konstrukcije – udesna djelovanja uzrokovana udarom, za brod predviđenih dimenzija računaska sila havarijskog udara je $F_d = 20000kN$. U lukama se sila može umanjiti faktorom 0,5, te pretpostavljamo da do udara dođe pod kutem od približno 10° pa sledi izraz

$$F_d = 0,5 \cdot 20000 \sin 10^\circ = 1736kN.$$

SUPER CONE FENDERS PERFORMANCE																		
Energy Index	SCN 300	SCN 350	SCN 400	SCN 500	SCN 550	SCN 600	SCN 700	SCN 800	SCN 900	SCN 1000	SCN 1050	SCN 1100	SCN 1200	SCN 1300	SCN 1400	SCN 1600	SCN 1800	SCN 2000
E0.9 E_R	7.7	12.5	18.6	36.5	49	63	117	171	248	338	392	450	585	743	927	1382	1967	2700
R_R	59	80	104	164	198	225	320	419	527	653	720	788	941	1103	1278	1670	2115	2610
E1.0 E_R	8.6	13.9	20.7	40.5	54	70	130	190	275	375	435	500	650	825	1030	1535	2185	3000
R_R	65	89	116	182	220	250	355	465	585	725	800	875	1045	1225	1420	1855	2350	2900
E1.1 E_R	8.9	14.4	21.4	41.9	56	72	134	196	282	385	447	514	668	847	1058	1577	2244	3080
R_R	67	91	119	187	226	257	365	478	601	745	822	899	1073	1258	1459	1905	2413	2978
E1.2 E_R	9.2	14.8	22.1	43.2	58	74	137	201	289	395	458	527	685	869	1085	1618	2303	3160
R_R	68	93	122	191	231	263	374	490	617	764	843	923	1101	1291	1497	1955	2476	3056
E1.3 E_R	9.5	15.3	22.8	44.6	59	76	141	207	296	405	470	541	703	891	1113	1660	2362	3240
R_R	70	96	125	196	237	270	384	503	633	784	865	947	1129	1324	1536	2005	2539	3134
E1.4 E_R	9.8	15.7	23.5	45.9	61	78	144	212	303	415	481	554	720	913	1140	1701	2421	3320
R_R	72	98	128	200	242	276	393	515	649	803	886	971	1157	1357	1574	2055	2602	3212
E1.5 E_R	10.1	16.2	24.2	47.3	63	80	148	218	310	425	493	568	738	935	1168	1743	2480	3400
R_R	74	100	131	205	248	283	403	528	665	823	908	995	1185	1390	1613	2105	2665	3290
E1.6 E_R	10.4	16.7	24.8	48.6	65	82	151	223	317	435	504	581	755	957	1195	1784	2539	3480
R_R	75	102	133	209	253	289	412	540	681	842	929	1019	1213	1423	1651	2155	2728	3368
E1.7 E_R	10.6	17.1	25.5	50.0	67	84	155	229	324	445	516	595	773	979	1223	1826	2598	3560
R_R	77	104	136	214	259	296	422	553	697	862	951	1043	1241	1456	1690	2205	2791	3446
E1.8 E_R	10.9	17.6	26.2	51.3	68	86	158	234	331	455	527	608	790	1001	1250	1867	2657	3640
R_R	79	107	139	218	264	302	431	565	713	881	972	1067	1269	1489	1728	2255	2854	3524
E1.9 E_R	11.2	18.0	26.9	52.7	70	88	162	240	338	465	539	622	808	1023	1278	1909	2716	3720
R_R	80	109	142	223	270	309	441	578	729	901	994	1091	1297	1522	1767	2305	2917	3602
E2.0 E_R	11.5	18.5	27.6	54.0	72	90	165	245	345	475	550	635	825	1045	1305	1950	2775	3800
R_R	82	111	145	227	275	315	450	590	745	920	1015	1115	1325	1555	1805	2355	2980	3680
E2.1 E_R	11.8	19.0	28.3	55.4	74	93	169	252	355	488	565	652	847	1074	1341	2003	2851	3904
R_R	84	114	149	233	283	324	462	606	765	945	1042	1145	1361	1597	1853	2418	3060	3778
E2.2 E_R	12.1	19.4	29.0	56.7	76	96	173	258	364	501	580	669	869	1102	1376	2056	2926	4008
R_R	86	117	153	239	290	332	474	621	785	969	1069	1174	1396	1638	1901	2480	3139	3876
E2.3 E_R	12.4	19.9	29.7	58.1	77	99	177	265	374	514	595	686	891	1131	1412	2109	3002	4112
R_R	89	120	157	246	298	341	486	637	805	994	1096	1204	1432	1680	1949	2543	3219	3974
E2.4 E_R	12.7	20.3	30.4	59.4	79	102	181	271	383	527	610	703	913	1159	1447	2162	3077	4216
R_R	91	123	161	252	305	349	498	652	825	1018	1123	1233	1467	1721	1997	2605	3298	4072
E2.5 E_R	13.0	20.8	31.1	60.8	81	105	185	278	393	540	625	720	935	1188	1483	2215	3153	4320
R_R	93	126	165	258	313	358	510	668	845	1043	1150	1263	1503	1763	2045	2668	3378	4170
E2.6 E_R	13.3	21.3	31.8	62.2	83	108	189	284	402	553	640	737	957	1216	1518	2268	3228	4424
R_R	95	129	169	264	320	366	522	683	865	1067	1177	1292	1538	1804	2093	2730	3457	4268
E2.7 E_R	13.5	21.7	32.5	63.5	85	111	193	291	412	566	655	754	979	1245	1554	2321	3304	4528
R_R	97	132	173	270	328	375	534	699	885	1092	1204	1322	1574	1846	2141	2793	3537	4366
E2.8 E_R	13.8	22.2	33.2	64.9	86	114	197	297	421	579	670	771	1001	1273	1589	2374	3379	4632
R_R	100	135	177	277	335	383	546	714	905	1116	1231	1351	1609	1887	2189	2855	3616	4464
E2.9 E_R	14.1	22.6	33.9	66.2	88	117	201	304	431	592	685	788	1023	1302	1625	2427	3455	4736
R_R	102	138	181	283	343	392	558	730	925	1141	1258	1381	1645	1929	2237	2918	3696	4562
E3.0 E_R	14.4	23.1	34.6	67.6	90	120	205	310	440	605	700	805	1045	1330	1660	2480	3530	4840
R_R	104	141	185	289	350	400	570	745	945	1165	1285	1410	1680	1970	2285	2980	3775	4660
E3.1 E_R	15.9	25.4	38.1	74.4	99	132	226	341	484	666	770	886	1150	1463	1826	2728	3883	5324
R_R	114	155	204	318	385	440	627	820	1040	1282	1414	1551	1848	2167	2514	3278	4153	5126
E/R (ε)	0.138	0.163	0.186	0.232	0.256	0.290	0.364	0.414	0.466	0.518	0.544	0.571	0.622	0.674	0.725	0.830	0.932	1.036
	SCN 300	SCN 350	SCN 400	SCN 500	SCN 550	SCN 600	SCN 700	SCN 800	SCN 900	SCN 1000	SCN 1050	SCN 1100	SCN 1200	SCN 1300	SCN 1400	SCN 1600	SCN 1800	SCN 2000

Tablica II: Karakteristike odabranih odbojnika tipa SCN [FENTEK]



Slika 4: Oznake pri proračunu razmaka brod – konstrukcija

1.3.2.5.3 POTRESNO (SEIZMIČKO) DJELOVANJE

Potresno djelovanje definirano je u EN 1998, a određuje se preko "**proračunskog ubrzanja tla**" a_g [m/s^2] ($a_g=10\%g$ d $30\%g$) koje odgovara "**referentnom povratnom periodu potresa**" od **475 godina** Prema nacionalnom dodatku (NAD) referentni povratni period potresa za Hrvatsku je 500 godina. Proračunsko ubrzanje tla ovisi o stupnju potresnog rizika (intenzitet potresa u stupnjevima ljestvice MKS-64: tablica 1.3.2.5.3::1) i određuje se prema usvojenim vrijednostima za potresna područja državnog teritorija (slika 1.3.2.5.3::1).



Slika 1.3.2.5.3::1 Potresna područja državnog teritorija (NAD na EN 1998-1)

Intenzitet potresa (referentnog povratnog razdoblja od 475 godina) u stupnjevima ljestvice MKS-64	Proračunsko ubrzanje tla a_g [m/s^2]
6	0,1
7	0,5
8	2,0
9	3,0

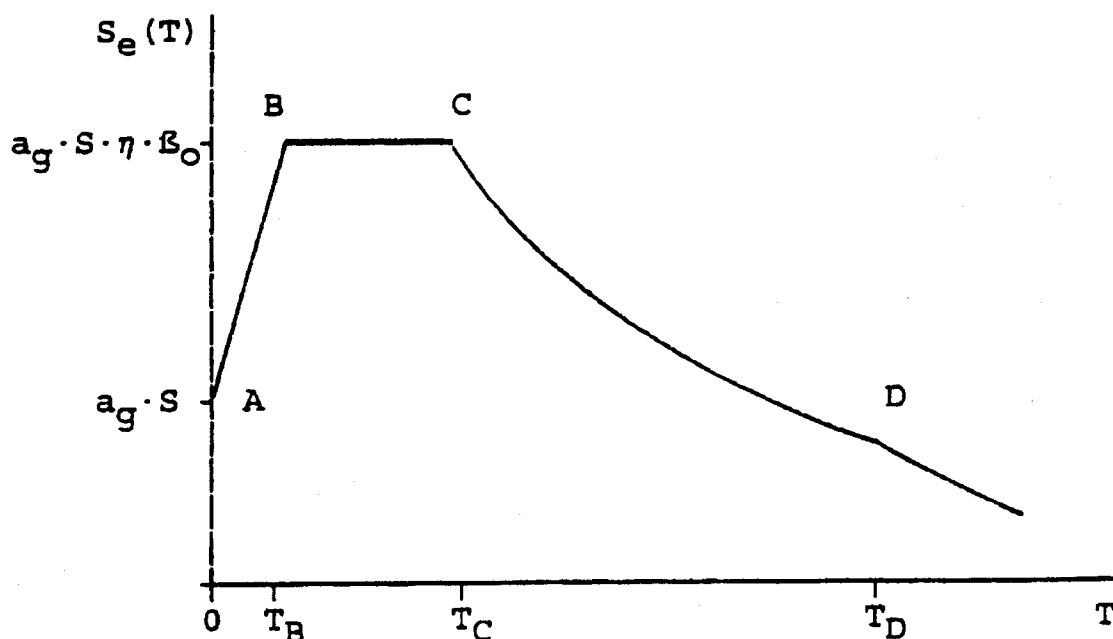
Tablica 1.3.2.5.3.:I: Odnos intenziteta potresa i proračunskog ubrzanja tla a_g

Utjecaj lokalnih zahtjeva koji se odnose na tlo na potresno opterećenje općenito se uzima u obzir razmatranjem tri razreda tla A, B i C opisanih geotehničkim profilom prikazanim u tablici 1.3.2.5.3.:II.

Tlo razreda A	– stijena ili druga geološka formacija za koju je brzina širenja poprečnih valova v_s najmanje 800m/s, uključujući najmanje 5m najslabijeg materijala na površini.
	– kruti nanosi pijeska, šljunka ili prekonsolidirane gline, debljine najmanje nekoliko desetaka metara, sa svojstvom postupnog povećanja mehaničkih svojstva s dubinom i brzinom širenja poprečnih valova v_s najmanje 400m/s pri dubini od 10m.
Tlo razreda B	– debeli nanosi srednje zbijenoga pijeska, šljunka ili srednje krute gline debljine od nekoliko desetaka do više stotina metara i s brzinom širenja poprečnih valova v_s najmanje 200m/s na dubini od 10m koja se povećava do najmanje 350m/s na dubini 50m.
Tlo razreda C	– meki nekoherentni nanosi s mekim koherentnim slojevima ili bez njih, s brzinom širenja poprečnih valova v_s ispod 200m/s u gornjih 20m.
	– nanosi s predominantno mekim do srednje krutim koherentnim tlima s brzinom širenja poprečnih valova v_s ispod 200m/s u gornjih 20m.

Tablica 1.3.2.5.3.:II: Tri razreda tla – karakteristični geotehnički profili

Općenito, potresno djelovanje u nekoj točki na površini prikazuje se elastičnim spektrom odziva tla koji se naziva "**elastični spektar odziva**" $S_e(T)$ [m/s^2] (slika 1.3.2.5.3.:2). U posebnim uvjetima može biti potreban više nego jedan spektar da bi se prikladno prikazala potresna opasnost u području.



Slika 1.3.2.5.3::2: Elastični spektar odziva

Elastični spektar odziva prikazan na slici 1.3.2.5.3::2 za referentni povratni period definiran je slijedećim formulama:

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \beta_0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g S \eta \beta_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g S \eta \beta_0 \left(\frac{T_C}{T} \right)^{k_1}$$

$$T_D \leq T : S_e(T) = a_g S \eta \beta_0 \left(\frac{T_C}{T_D} \right)^{k_1} \left(\frac{T_D}{T} \right)^{k_2}$$

gdje je:

$S_e(T)$ [m/s²] ordinata elastičnog spektra odziva

T [s] period vibracije sustava s jednim stupnjem slobode

a_g [m/s²] proračunsko ubrzanje tla za referentni povratni period

β_0 faktor povećanja spektralnog ubrzanja pri viskoznom prigušenju 5%

η faktor popravka za prigušenje

S parametar tla

T_B, T_C [s] vrijednost kojom je određen početak i završetak stalne vrijednosti na spektru odziva

T_D [s] granica stalnog spektralnog ubrzanja

k_1, k_2 eksponent koji utječe na oblik spektra za period vibracija veći od T_C , odnosno T_D

U tablici 1.3.2.5.3::III prikazane su vrijednosti parametara koji opisuju elastični spektar odziva.

Razred tla	S	β_0	k_1	k_2	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A	1,0	2,5	1,0	2,0	0,10	0,40	3,0
B	1,0	2,5	1,0	2,0	0,15	0,60	3,0
C	0,9	2,5	1,0	2,0	0,20	0,80	3,0

Tablica 1.3.2.5.3::III: Vrijednosti parametara koji opisuju elastični spektar odziva (vrijednosti odabrane tako da ordinate elastičnog spektra odziva imaju jednaku vrijednost premašaja od 50% za sve periode – spektar jednoličnog rizika)

Horizontalno potresno djelovanje opisuje se s dvije međusobno okomite komponente u horizontalnoj ravnini koje djeluju neovisno, a određuju su istim spektrom odziva (dakle iste su veličine). Proračun se provodi za nepovoljniji smjer djelovanja. Vertikalna komponenta potresnog djelovanja opisuje se spektrom odziva definiranim za horizontalno potresno djelovanje ali sa umanjenom ordinatom ovisno o periodu vibracija (tab. 1.3.2.5.3::IV). Provjera konstrukcije na horizontalne komponente potresnog djelovanja je uvijek obavezna. Na vertikalno seizmičko djelovanje proračunavaju se građevine izvan kategorije (energetski objekti instalirane snage preko 40MW, visoke brane) i građevine kod kojih ovo djelovanje prema procjeni projektanta ima značajan utjecaj na dinamičku stabilnost objekta.

Period vibracije, T[s]	Koef. umanjenja
$\leq 0,15$	0,7
$0,15 < T < 0,5$	linearna interpolacija od 0,7 do 0,5
$\geq 0,5$	0,5

Tab. 1.3.2.5.3::IV Koef. umanjenja ordinate spektra za vertikalnu komponentu potresnog djelovanja

Seizmičko djelovanje na konstrukcije

"Potresna sila" F_b određuje se za konstrukciju čija masa vibrira uslijed (tamo-amo izmjenjujućih) ubrzanja od potresa. Princip proračuna je Newtonov zakon $F=m \cdot a$. Ukupna potresna horizontalna sila F_b za svaki glavni smjer određuje se pomoću **"proračunskog spektra"** $S_d(T)$ formulom:

$$F_b = W \cdot S_d(T)$$

gdje je:

- F_b [N] Potresna sila (nazovistatička)
- W [kg] ukupna masa konstrukcije koja vibrira
- $S_d(T)$ [m/s²] spektralno ubrzanje proračunskog spektra koje odgovara osnovnom periodu oscilacija konstrukcije
- T [s] period vibracije sustava s jednim stupnjem slobode razmatrane konstrukcije

Proračunski spektar horizontalnih ubrzanja $S_d(T)$ dobiva se iz elastičnog spektra odziva $S_e(T)$ njegovom redukcijom koeficijentom faktora ponašanja, q , s modificiranim eksponentima k_{d1} i k_{d2} , te normaliziranjem u odnosu na ubrzanje gravitacije (ENV 1998-1-1:1994, poglavlje 4.2.4). Proračunski spektar vertikalnih ubrzanja računa se prema istom izrazu ali kako je ranije navedeno sa umanjnim ordinatama spektra prema tablici 1.3.2.5.3::IV.

Pritom treba prvo odrediti period vibracija konstrukcije T na temelju postulata dinamike konstrukcija kako je prikazano dolje.

Seizmičko djelovanje na masivne krute konstrukcije

Prema gornjem potresna sila F_b (bilo horizontalna, bilo vertikalna komponenteta) određuje se pomoću **"proračunskog spektra"** $S_d(T)$ općenitom formulom:

$$F_b = W \cdot S_d(T).$$

Ovaj tip konstrukcija često se daje shematizirati na konstrukcije slične stupu čiji je period vibracija $T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K}}$ uz krutost stupa K i masu stupa W . Kod masivnih konstrukcija sličnih stupu kao što su potporni zidovi, obalni vertikalni zidovi, vibrirajuće tijelo je vrlo kruto: $K \rightarrow \infty$, pa onda $T \rightarrow 0$. To znači da se koristi dio spektra $0 \leq T \leq T_B$ pri čemu izraz za taj dio spektra $S_d(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta \beta_0 - 1) \right]$ prelazi u $S_d(T) = a_g S$; t.j. u konstantu.

Proračunsko ubrzanja tla a_g dobije se iz Tablice 1.3.2.5.3::I za proračunsko ubrzanje potresa a_g sa slike 1.3.2.5.3::1, a vrijednost S iz Tablice 1.3.2.5.3::III gdje je za tip tla A $\rightarrow S=1$, za tip tla B $\rightarrow S=1$ i za tip tla C $\rightarrow S=0,9$.

Na primjeru masivnih potpornih konstrukcija proračun potresne sile F_b se pojednostavljuje prema formuli

$$F_b = G \cdot k_h = G \cdot \left(\frac{\alpha S}{r} \right) = G \cdot S \cdot \left(\frac{a_g / g}{r} \right) = W S \cdot \left(\frac{a_g}{r} \right),$$

gdje je:

$$k_h = \frac{\alpha S}{r} \quad \text{horizontalni potresni koeficijent,}$$

pri čemu je:

- α omjer proračunskog ubrzanja "a_g" i ubrzanja sile teže "g",
- r faktor prikazan u tablici 1.3.2.5.3::V gdje "r" ne smije biti veći od 1 za zasićena nekoherentna tla sklona stvaranju visokog pornog tlaka i
- $G[N]$ težina zida
- $W[kg]$ masa zida

Vrsta potporne konstrukcije	r
Slobodni gravitacijski zidovi koji podnose pomake $d_r \leq 300\alpha$ (mm)	2
Kao gore uz $d_r \leq 200\alpha$	1,5
Savijljivi AB zidovi, usidreni ili ukrućeni zidovi, AB zidovi temeljeni na vertikalnim pilotima,	1

Tablica 1.3.2.5.3::V Faktor "r" koji utječe na horizontalni potresni koeficijent

Seizmičko djelovanje na elastične vitke konstrukcije

Ovaj tip konstrukcija se odnosi na: gredne nosače, okvire, I ovdje se potresna sila F_b (bilo horizontalna, bilo vertikalna komponenta) određuje pomoću "**proračunskog spektra**" $S_d(T)$ općenitom formulom:

$$F_b = W \cdot S_d(T).$$

Period vibracija konstrukcije T , a time i mjerodavni segment proračunskog spektra $S_d(T)$, određuje se za ove konstrukcije na temelju postulata dinamike konstrukcija kako je prikazano u HRN ENV 1998-1-2:1994 i HRN ENV 1998-1-3:1994.

Hidrodinamički seizmički utjecaji

Ukupna hidrodinamička sila je sila djelovanja vode uslijed potresa. Uzima se u proračun kod građevina koje pregrađuju tekućinu (brane, zidovi kanala, zidovi rezervoara, kej) ili se nalaze u tekućini (stupovi gatova, piloti, stupovi mostova).

Horizontalna hidrodinamička sila različito se definira za slijedeće slučajeve:

- Hidrotehničke građevine koje pregrađuju/ograđuju tekućinu
- Stupovi koji se nalaze u tekućini
- Spremnici
- Hidrotehnički tuneli, ukopani cjevovodi i sl.

Pravac djelovanja seizmičkog opterećenja suprotan je djelovanju seizmičkog ubrzanja.

Hidrotehničke građevine koje pregrađuju/ograđuju tekućinu

Hidrodinamički tlak na vanjsko lice zida može djelovati u obadva horizontalna smjera i računa se pomoću formule:

$$e_{wd}(z) = \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{hz} \quad [\text{N/m}^2]$$

gdje je: h [m] visina slobodne vode
 z [m] vertikalna kordinata usmjerena prema dolje s ishodištem na površini vode

$$k_h = \frac{\alpha}{r} \quad \text{horizontalni potresni koeficijent, } \alpha = a_g/g.$$

Sila hidrodinamičkog tlaka na vanjsko lice zida može djelovati u obadva horizontalna smjera i iznosi:

$$E_{wd}(z) = \frac{7}{12} k_h \gamma_w h^2 \quad [\text{N/m}'],$$

a težište (mjereno od razine podzemne vode na dolje) joj je:

$$z_T = \frac{3}{5} H \text{ [m]}.$$

Sila hidrodinamičkog tlaka podzemne vode na naličje zida zasutu nasipom akođer može djelovati u obadva horizontalna smjera i računa se pomoću iste formule:

$$E_{wd}(z) = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

gdje je: H [m] visina podzemne vode mjerena od podnožja zida.

Stupovi u vodi

Ovisno o karakteristikama mosta primijenjuju se 3 proračunska modela konstrukcije:

- kruta rasponska konstrukcija
- fleksibilna rasponska konstrukcija
- model pojedinačnog stupa.

Ovdje je prikazan najjednostavniji model, model pojedinačnog stupa, koji se primijenjuje kada nema veće interakcije susjednih stupova.

Model pojedinačnog stupa

Kod stupova u vodotoku ukupna horizontalna hidrodinamička sila tlaka, F (slika 1.3.2.5.3::4) određuje se prema izrazu:

$$F = M \cdot S_d(T),$$

gdje je

M proračunska masa stupa

$S_d(T)$ spektralno ubrzanje proračunskog spektra koje odgovara osnovnom periodu oscilacija stupa

T osnovni period vibriranja stupa $T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}}$, K je krutost stupa a M Ukupna proračunska masa potopljenog stupa.

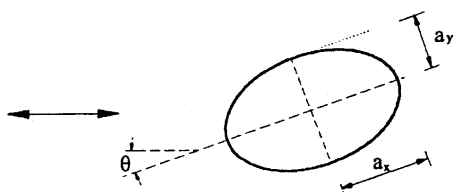
Ukupna proračunska masa potopljenog stupa jednaka je zbroju

- Stvarne mase stupa (bez uzgona) m_{mat}
- Mase vode koja se možda nalazi unutar stupa (kod šupljih stupova) m_{vode}
- Pridružene mase m_a izvana priključene vode po jedinici duljine potopljenog stupa koja vibrira zajedno sa stupom

$$M = m_{mat} + m_{vode} + m_a \text{ [kg/m]}$$

Za stupove kružnog presjeka polumjera R , može se m_a odrediti pomoću formule $m_a = \rho\pi R^2$ [kg/m],

gdje je $\rho = 1025$ [kg/m³] gustoća mase vode.



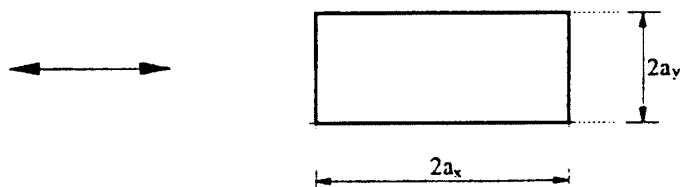
Slika 1.3.2.5.3::3 Eliptični presjek

Za stupove eliptičnoga presjeka s osima $2a_x$ i $2a_y$ i potresom koji djeluje pod kutom θ na os x presjeka (slika 1.3.2.5.3::3), može se m_a odrediti pomoću formule

$$m_a = \rho\pi(a_y^2 \cos^2 \theta + a_x^2 \sin^2 \theta) \text{ [kg/m]},$$

gdje je $\rho = 1025$ [kg/m³] gustoća mase vode.

Za stupove pravokutnog presjeka, dimenzija $2a_x$ i $2a_y$ i potresom koji djeluje u smjeru osi x (slika 1.3.2.5.3.:4), može se m_a odrediti pomoću formule $m_a = k\rho\pi a_y^2$ [kg/m³], gdje je $\rho=1025$ [kg/m³] gustoća mase vode, a vrijednost koeficijenta k definirana u tablici 1.3.2.5.3.:VI (za vrijednosti koje nisu u tablici dopuštena je linearna interpolacija).



Slika 1.3.2.5.3.:4 Pravokutni presjek

a_y/a_x	k
0,1	2,23
0,2	1,98
0,5	1,70
1,0	1,51
2,0	1,36
5,0	1,21
10,0	1,14
∞	1,00

Tablica 1.3.2.5.3.:VI: Koef. k u ovisnosti o dimenzijama stupa pravokutnog poprečnog presjeka

Spremnici

Za mjerodavno proračunsko potresno djelovanje obzirom na granično stanje uporabljivosti mora se osigurati:

- da sustav spremnika zadrži nepropusnost na istjecanje sadržaja.
- mora se predvidjeti prikladno nadvišenje stijenke kako bi se spriječilo oštećenje krova zbog tlaka tekućine koja se ljulja ili ako spremnik nema kruti krov, da bi se spriječilo prelijevanje tekućine
- da hidraulični sustavi koji su dio spremnika ili su s njim povezani budu sposobni preuzeti naprezanja i deformacije zbog pomaka spremnika u odnosu na njih i u odnosu na tlo, a da ne naškode njihovim funkcijama
- da lokalno izvijanje, ako do njega dođe, ne prouzroči rušenje i da je povratnog karaktera

Za mjerodavno proračunsko potresno djelovanje obzirom na granično stanje nosivosti mora se osigurati:

- da opća stabilnost spremnika bude postignuta u odnosu na rušenje (stabilnost same konstrukcije, klizanje i prevrtanje)
- da širenje neelastičnog ponašanja bude ograničeno na ograničene dijelove spremnika i da granična deformiranja materijala ne budu premašena
- da priroda i obujam pojave izbočavanja ljuske bude pod kontrolom

- da hidraulični sustavi koji su dio spremnika ili su s njim povezani budu tako proračunani da spriječe gubitak sadržaja spremnika koji bi bio posljedica sloma nekih komponenti
- da temelj ne dostigne mehanizam sloma prije sloma spremnika

Spremnici se proračunavaju uz pretpostavku istodobnog djelovanja jedne horizontalne komponente i vertikalne komponente potresnog gibanja.

Najnepovoljnija kombinacija djelovanja može se odrediti prema izrazu:

$$p = p_{st} \pm p_h \pm p_v$$

gdje je p_{st} statički tlak

p_h, p_v najveća vrijednost horizontalnog odnosno vertikalnog tlaka.

(predznaci se odabiru tako da se dobije najkritičniji učinak u različitim dijelovima spremnika)

Hidrodinamički učinci

Proračun mora na prikladan način uzeti u obzir:

- konvektivne i impulsivne komponente gibanja tekućine
- deformiranje ljuske spremnika zbog hidrodinamičkih tlakova i učinke međudjelovanja s impulsivnom komponentom
- deformabilnost temeljnog tla i prilagodbu odziva kao posljedicu te pojave.

U proračunu se općenito tekućina pretpostavlja nestlačivom.

Razlikuju se dva slučaja prema obliku spremnika - pravokutni i cilindrični spremnici.

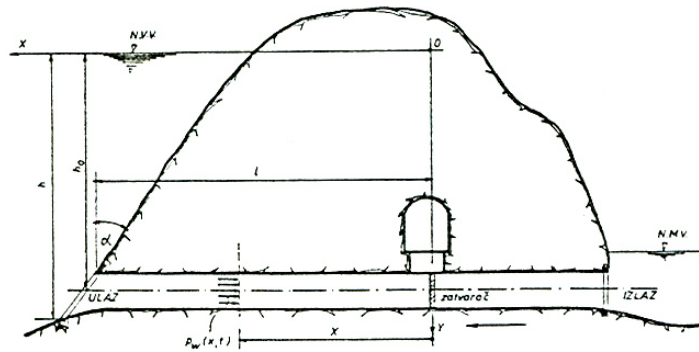
Horizontalne hidrotehničke građevine

U pravilu cjevovod treba položiti na tlo za koje je provjereno da će ostati stabilno pri proračunskom potresnom djelovanju, ako to nije moguće mora se priroda i obujam nepovoljnih pojava procijeniti i primijeniti prikladne projektne protumjere.

Dva su ekstremna slučaja

likvefakcija tla (u prošlim potresima glavni uzrok oštećenja)
pomak rasjeda.

Ovisno o okolnostima projektno rješenje može se sastojati od povećanja dubine ukopavanja, od okruženja cijevi većim krutim vodom ili od postavljanja cjevovoda iznad tla s osloncima na relativno velikoj udaljenosti na dobro temeljenim stupovima (potrebno je razmotriti deformabilne spojeve koji će omogućiti relativne pomake između oslonaca).



Slika 1.3.2.5.3::7: Hidrotehnički tunel

Potporne konstrukcije:

Seizmički inercijalni tlak tla

Kod hidrotehničkih građevina djelomično ili potpuno ukopanih u tlo u proračun je potrebno uzeti i aktivni ili pasivni seizmički tlak tla. Da bi nastao aktivni tlak tla pri proračunskom potresu mora doći do dovoljnog pomaka zida, kod savitljivih konstrukcija njihovim savijanjem, a kod krutih klizanjem ili rotacijom. Kod krutih konstrukcija, kao što su zidovi podruma ili gravitacijski zidovi temeljeni na stijeni ili pilotima, dolazi do tlaka većeg od aktivnog tlaka pa je prikladnije pretpostaviti nepomično (mirno) stanje tla.

Aktivni statički i seizmički (dinamički) tlak tla na naličje zida zasuto nasipom može djelovati u obadva horizontalna smjera i računa se pomoću formule:

$$e_{a(S+D)} = \gamma^* (1 \pm k_v) K H \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Sila aktivnog statičkog i seizmičkog (dinamičkog) tlaka tla je:

$$E_{a(S+D)} = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K H^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

gdje je:

k_v	vertikalni potresni koeficijent, $k_v = 0,5k_h$
$\gamma^* \text{ [N/m}^3\text{]}$	zapreminska težina tla ($\gamma^* = \gamma$ zapreminska težina prirodno saturiranog tla iznad razine podzemne vode ili $\gamma^* = \gamma_{100\% \text{ sat}} - \gamma_w$ zapreminska težina uronjenog tla ispod razine podzemne vode)
K	koef.aktivnog tlaka tla (statički+dinamički)
$H \text{ [m]}$	visina zasipa zida.

Hvatišter sile $E_{a(S+D)}$ je u težištu sila: $E_{aS} = \frac{1}{2} \gamma^* K_{aS} H^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$ s tržištem u $\frac{1}{3}H$ (mjereno odozdo) i $E_{aD} = E_{a(D+S)} - E_{aS}$ s tržištem u $\frac{1}{2}H$. Pojednostavljenje, na strani sigurnosti, je da se hvatišter sile $E_{a(S+D)}$ uzme u $\frac{1}{2}H$.

Koeficijent tlaka tla (statički+dinamički) "K" računa se:

Za aktivni tlak:

$$\beta \leq \phi - \theta \quad K = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]}$$

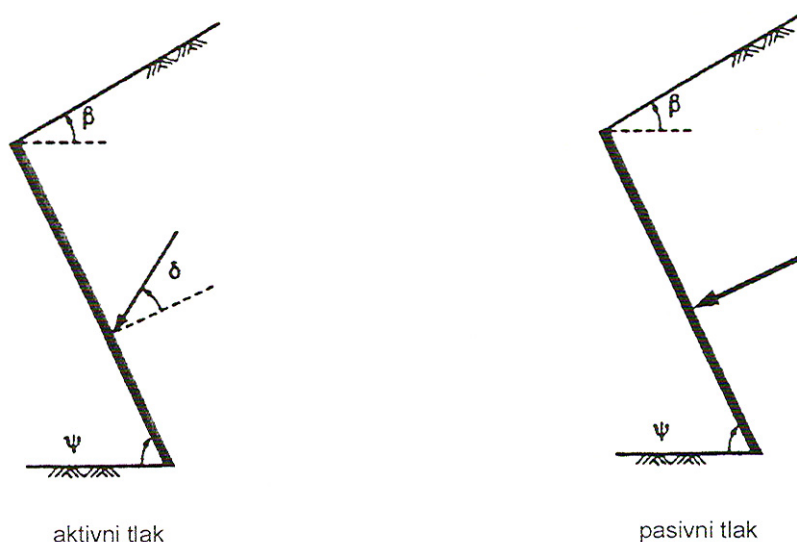
$$\beta \geq \phi - \theta \quad K = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Za pasivni otpor (ako nema posmične otpornosti između tla i zida):

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin \phi \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \theta) \sin(\psi + \beta)}} \right]}$$

gdje je

ϕ kut unutarnjeg trenja tla
 ψ, β kutovi nagiba stražnje strane zida i površine zasipavanja prema horizontali (slika 1.3.2.5.3::8)



Slika 1.3.2.5.3::8 Dogovorne oznake za kutove u formulama za koeficijent tlaka tla

δ kut posmične otpornosti između tla i zida
 θ kut definiran za svaki karakteristični slučaj (vidi u nastavku)

Koeficijent „K“ aktivnog tlaka tla (statički+dinamički) računa se prema HRN ENV 1997-1:1994 uz preporučene vrijednosti parcijalnih koeficijenata za materijale: $\gamma_{cu} = 1,3$, $\gamma_c = 1,2$ i $\gamma_\phi = 1,1$, odnosno prema EN 1997-1:2004 uz preporučene vrijednosti parcijalnih koeficijenata za materijale: $\gamma_{cu} = 1,4$, $\gamma_{qu} = 1,4$, $\gamma_{\tau_{cy}} = 1,25$ i $\gamma_\phi = 1,25$.

Hidrodinamički tlak na lice zida zasuto nasipom

Kod proračuna hidrodinamičkog tlaka vode na lice zida zasuto nasipom moguće je nekoliko različitih slučajeva:

- Podzemna voda ispod potpornog zida

$$(E_{wd} = 0, \operatorname{tg}\theta = \frac{k_h}{(1 \pm k_v)})$$

- Dinamički nepropusno tlo ispod razine podzemne vode

$$(E_{wd} = 0, \operatorname{tg}\theta = \frac{\gamma_{100\% \text{sat.}} k_h}{(\gamma_{100\% \text{sat.}} - \gamma_w)(1 \pm k_v)})$$

- Dinamički propusno tlo ispod razine podzemne vode (vidi naprijed "Hidrodinamički tlak na naličje zida zasuto nasipom")

$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H'^2$, gdje je H' visina podzemne vode mjerena od podnožja zida,

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{\gamma_{100\% \text{sat.}} k_h}{(\gamma_{100\% \text{sat.}} - \gamma_w)(1 \pm k_v)}$$

Aktivni seizmički tlak tla na potporni zid uslijed djelovanja mirnog kontinuiranog korisnog opterećenja

Kod vertikalnih zidova pristaništa i kejova na slobodnoj površini nasipa iza zida u pravilu postoji vertikalni korisni teret vrlo velikog intenziteta (skladišta, kranovi, željeznički kolosjeci i sl.). To opterećenje izaziva dodatni aktivni seizmički tlak na vertikalnu površinu zida neposredno uz nasip.

Veličina horizontalnog aktivnog seizmičkog tlaka $p_a(x,y)$, rezultanta tlaka $P_a(x)$ i položaj rezultante određuju se prema sljedećim izrazima (proračun se provodi po jediničnoj duljini zida), slika 1.3.2.5.3::9:

- vrijednost horizontalnog aktivnog seizmičkog tlaka, koji djeluje na stražnju stranu zida u proizvoljnoj točki y je

$$p_a(x, y) = p \cdot a(x) \cdot \left[1 - \frac{y}{h} - \left(\frac{y}{h} \right)^2 + \left(\frac{y}{h} \right)^3 \right],$$

pri čemu je $p = K_s \cdot q$ horizontalno inercijalno opterećenje konstantne veličine, koje djeluje na slobodnoj površini nasipa na udaljenosti x , od stražnje strane zida, gdje je q vertikalno korisno opterećenje konstantnog iznosa na udaljenosti x od stražnje strane zida.

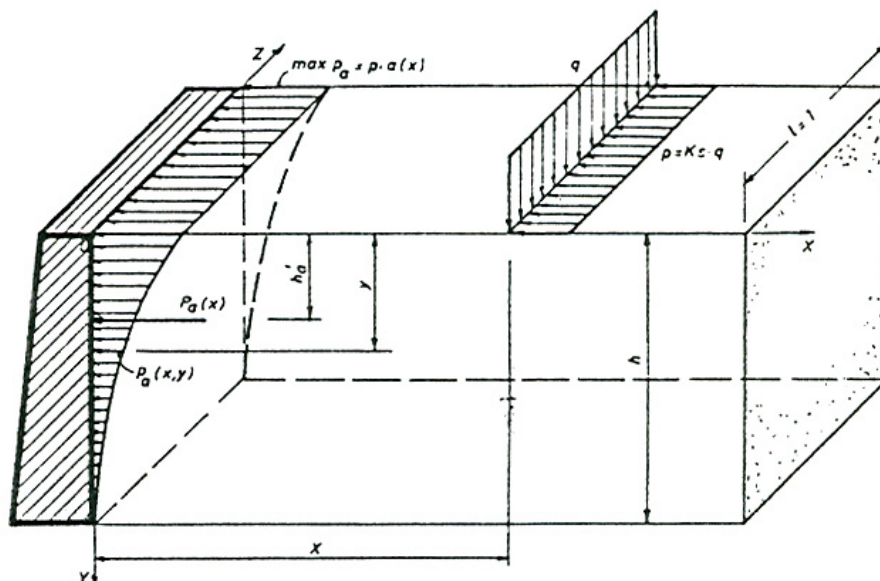
- maksimalna vrijednost horizontalnog aktivnog seizmičkog tlaka, koji djeluje na stražnju stranu zida u točki $y = 0$ $\max p_a = p \cdot a(x)$
- rezultanta horizontalnog aktivnog seizmičkog tlaka dana je izrazom

$$P_a(x) = \frac{5}{12} p \cdot a(x) \cdot h,$$

s hvatištem $h'_a = 0,28 \cdot h$,

gdje je $a(x) = 1 + \frac{1}{60} \cdot \frac{x}{h} \cdot \left[25 - 39 \cdot \frac{x}{h} + 8 \left(\frac{x}{h} \right)^2 \right]$, za $0 \leq \frac{x}{h} \leq 3$ bezdimenzionalna funkcija

koja predstavlja utjecajnu liniju



Slika 1.3.2.5.3::9: Dopunski aktivni seizmički tlak tla uslijed djelovanja korisnog opterećenja na slobodnoj horizontalnoj površini nasipa iza potpornog zida

Ukupna potresna proračunska sila kojom tlo i voda djeluju na potpurnu konstrukciju

Proračunska vrijednost potresnog djelovanja, A_{Ed} (obuhvaća F_b -djelovanje potresa na vlastitu težinu konstrukcije i E_d - ukupnu potresnu silu kojom tlo i voda djeluju na konstrukciju), množi se faktorom važnosti, γ_I (Tab 1.3.2.4.:IV i V i VI), a daljni proračun provodi se prema principima iz HRN ENV 1997-1:1994 uz preporučene vrijednosti parcijalnih koeficijenata za materijale (tlo): $\gamma_{cu} = 1,3$, $\gamma_{c'} = 1,2$ i $\gamma_{\phi} = 1,1$, odnosno prema EN 1997-1:2004 uz preporučene vrijednosti parcijalnih koeficijenata za materijale: $\gamma_{cu} = 1,4$, $\gamma_{qu} = 1,4$, $\gamma_{\tau_{cy}} = 1,25$ i $\gamma_{\phi} = 1,25$. Ukupna potresna (dinamička) proračunska sila kojom tlo i voda djeluju na potpurnu konstrukciju (Slika 1.3.2.5.3::10) dana je formulom:

$$E_d = E_{a(S+D)} + E_{wD} + P_{aD}$$

gdje je:

$E_{a(S+D)} = 0.5 \gamma^* (1 \pm k_v) K_A H^2$ [N/m']	aktivni tlak tla, statički i dinamički
H [m]	visina zasipa zida
k_v	vertikalni potresni koeficijent, $k_v = 0,5k_h$
γ^* [N/m ³]	zapreminska težina tla ($\gamma^* = \gamma$ zapreminska težina prirodno saturiranog tla iznad razine podzemne vode i $\gamma^* = \gamma_{100\%sat} - \gamma_w$ zapreminska težina uronjenog tla ispod razine podzemne vode)
K_A	koef.aktivnog tlaka tla (statički+dinamički)
E_{wD} [N/m']	hidrodinamička sila prouzročena djelovanjem potresa na vodu. Ako je voda s obje strane zida onda se to djelovanje

javlja s obje strane zida u istom smjeru i s veličinama sila proporcionalnim visinama vode ispred ili iza zida.

$P_{aD}(p)$ [N/m'] sila dinamičkog aktivnog tlaka prouzrokovana djelovanjem potresa na mirno korisno kontinuirano opterećenje „p“ na površini tla

p [N/m²] mirno kontinuirano korisno opterećenje na površini tla

S statički

D dinamički

U proračunima osim gornje seizmičke sile E_d treba uzeti i promjeniva statička djelovanja:

$Q_{wS}(PV-MR)$ [N/m'] sila hidrostatičkog tlaka ako je voda samo s jedne strane zida, ili rezidualna voda; t.j. sila tlaka uslijed razlike u razinama vode ispred i iza zida,

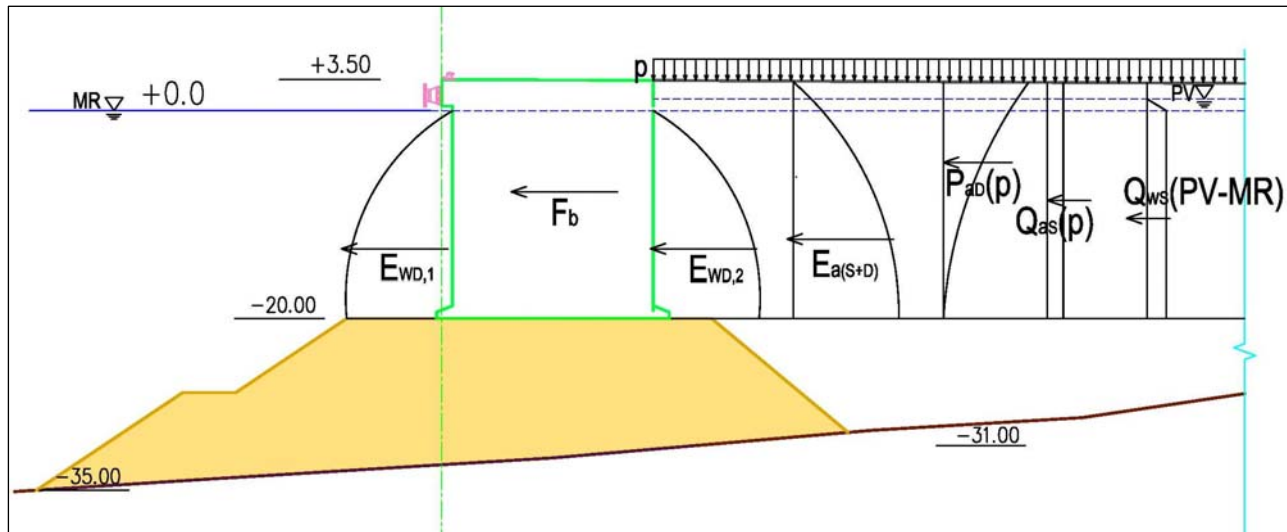
$Q_{aS}(p)$ [N/m'] sila aktivnog tlaka prouzrokovana djelovanjem mirnog kontinuiranog korisnog opterećenja „p“ na površini tla.

Proračunska vrijednost djelovanja za potresnu proračunsku situaciju (LC3) tada poprima oblik:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} (G_{k,j}) + P_k + \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + \gamma_l \cdot A_{Ed}$$

$$E_d = \sum_{j \geq 1} (G_{k,j}) + P_k + \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + \gamma_l \cdot (F_b + E_d)$$

$$E_d = \sum_{j \geq 1} (G_{k,j}) + P_k + \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + \gamma_l \cdot (F_b + E_{a(S+D)} + E_{wD} + P_{aD})$$



Slika 1.3.2.5.3::10 Sva djelovanja kojima tlo i voda djeluju na potpurnu konstrukciju

1.3.2.5.4 HAVARIJSKI UDAR BRODA – IZVANREDNO DJELOVANJE

Prema Hrvatskoj prednormi HRN ENV 1991-2-7 Djelovanje na konstrukcije – Izvanredna djelovanja prouzročena udarom i eksplozijom, značajke koje treba razmatrati pri udaru brodova ovise o vrsti plovnog puta, vrsti brodova i njihovu ponašanju pri udaru te vrsti građevine i njihovu načinu trošenja energije. Ako se ne provode dinamički proračuni, tj. provodi se kvazistatička analiza i ako se trošenje energije konstrukcije može zanemariti, može se računati sa tablično definiranim statičkim silama u ovisnosti o značajkama broda. Pri tome se sile dane u tablici u lukama mogu umanjiti faktorom 0,5, te se pretpostavlja kod udara bokom ili krmom koef. 0,3, dok se pramčani udar uzima za glavni smjer kretanja broda uz najveći otklon od 30°. Točka udara ovisi o geometrijskim svojstvima konstrukcije i o veličini broda.

Prema novijoj Europskoj normi EN 1991-1-7:2006 tablično su definirane dinamičke sile za riječne i pomorske brodove (tablice C3 i C4 u nastavku) u ovisnosti o značajkama broda. Za kvazistatičke proračune vrijednosti sila iz tablica potrebno je uvećati faktorom 1,3 kod frontalnog udara ili faktorom 1,7 kod bočnog udara. Pri tome se sile u lukama mogu umanjiti faktorom 0,5. Također je u normi EN 1991-1-7:2006 prikazan i dinamički proračun za unutarnje i pomorske plovne putove koji se ovdje neće detaljnije obrađivati.

Table C.3 – Indicative values for the dynamic forces due to ship impact on inland waterways

CEMT ^a Class	Reference type of ship	Length <i>l</i> (m)	Mass <i>m</i> (ton) ^b	Force F_{dx} ^c (kN)	Force F_{dy} ^c (kN)
I		30-50	200-400	2 000	1 000
II		50-60	400-650	3 000	1 500
III	„Gustav König“	60-80	650 – 1 000	4 000	2 000
IV	Class „Europe“	80-90	1 000 – 1 500	5 000	2 500
Va	Big ship	90-110	1 500 – 3 000	8 000	3 500
Vb	Tw + 2 barges	110-180	3 000 – 6 000	10 000	4 000
VIa	Tow + 2 barges	110-180	3 000 – 6 000	10 000	4 000
VIb	Tow + 4 barges	110-190	6 000 – 12 000	14 000	5 000
VIc	Tow + 6 barges	190-280	10 000 – 18 000	17 000	8 000
VII	Tow + 9 barges	300	14 000 – 27 000	20 000	10 000

^a CEMT: European Conference of Ministers of Transport, classification proposed 19 June 1992, approved by the Council of European Union 29 October 1993.

^b The mass *m* in tons (1 ton = 1 000 kg) includes the total mass of the vessel, including the ship structure, the cargo and the fuel. It is often referred to as the displacement tonnage.

^c The forces F_{dx} and F_{dy} include the effect of hydrodynamic mass and are based on background calculations, using expected conditions for every waterway class.

Table C4 – Indicative values for the dynamic interaction forces due to ship impact for sea waterways

Class of ship	Length <i>l</i> = (m)	Mass <i>m</i> ^a (ton)	Force $F_{dy}^{b,c}$ (kN)	Force $F_{dy}^{b,c}$ (kN)
Small	50	3 000	30 000	15 000
Medium	100	10 000	80 000	40 000
Large	200	40 000	240 000	120 000
Very large	300	100 000	460 000	230 000

^a The mass *m* in tons (1 ton = 1 000 kg) includes the total mass of the vessel, including the ship structure, the cargo and the fuel. It is often referred to as the displacement tonnage. It does not include the added hydraulic mass.

^b The forces given correspond to a velocity of about 5,0 m/s. They include the effects of added hydraulic mass

^c Where relevant the effect of bulbs should be accounted for

1.3.2.5.5 TRENJE KONSTRUKCIJE I PODLOGE

Trenje betona i tla

Kod proračuna graničnog stanja klizanja je potrebna je proračunska vrijednost trenja T_d između tla i betonskog temelja koji leži na tlu. Kod izračuna trenja T_d potrebna je sila koja je normalna na tlo za vrijeme klizanja. Normalna sila je ΣV_d se dobije tako da povoljna stalna djelovanja (vlastita težina) imaju parcijalni koeficijent djelovanja 0,95 a nepovoljna stalna i nepovoljna promijenjiva djelovanja (što je u ovom slučaju statička i dinamička komponenta uzgona) imaju vrijednost 1,0. Sila trenja se određuje preko koeficijenta trenja f_d . Proračunska vrijednost koeficijenta trenja glatkog predfabriciranog betonskog zida i temeljnog tla (u slučaju kamene posteljice ispod temeljne fuge gravitacijskog keja) je: $f_d = \text{tg}(\delta_d)$. Pritom je proračunska vrijednost kuta tenja između betona i temeljnog tla $\bar{\delta}_d = 2/3\varphi'_d$. Proračunska vrijednost kuta unutarnjeg trenja temeljnog tla je $\varphi'_d = \text{arc}[(\text{tg}\varphi'_k)/\gamma_m]$, gdje je φ'_k karakteristična vrijednost osobine temeljnog tla (kamene posteljice); t.j. kuta unutarnjeg trenja dobivena od odovlaštenog laboratorija, a $\gamma_m = 1,1$ je parcijalni faktor sigurnosti za materijal (temeljno tlo: t.j. kamenu posteljicu). Uz karakterističnu vrijednost kuta unutarnjeg trenja kamene posteljice od $\varphi'_k = 40^\circ$ dobije se proračunska vrijednost koeficijenta trenja:

$$f_d = \text{tg}\delta_d = \text{tg}\left(\frac{2}{3}\varphi'_d\right) = \text{tg}\left[\frac{2}{3}\left(\text{arc}\frac{\text{tg}\varphi'_k}{\gamma_m}\right)\right] = \text{tg}\left[\frac{2}{3}\left(\text{arc}\frac{\text{tg}40}{1,1}\right)\right] = 0,46 \quad \text{HRN ENV 1997-1, s 40 i 15}$$

Za slučaj da se temeljna fuga betonira lijevanjem svježeg betona na temeljno tlo onda je $\bar{\delta}_d = \varphi'_d$, pa vrijedi:

$$\varphi'_k = 40^\circ \rightarrow f_d = \text{tg}\delta_d = \text{tg}(\varphi'_d) = \text{tg}\left[\text{arc}\frac{\text{tg}\varphi'_k}{\gamma_m}\right] = \text{tg}\left[\text{arc}\frac{\text{tg}40}{1,1}\right] = 0,76 \quad \text{HRN ENV 1997-1, s 40, 15.}$$

Trenje betona i betona

Trenje među betonskim elementima je definirano je, u HRN ENV 1992-1-3, 1994, str. 18, za razne načine vezivanja tih elemenata kao:

VRSTA POVRŠINE BETONA	m_k
monolitna	1
svježi beton na očvrslu nazubljenu beton	0,9
svježi beton na hrapavi beton	0,7
predfabricirani beton na predfabricirani beton	0,6
predfabricirani vrlo glatki beton na predfabricirani vrlo glatki beton	0,5

Karakteristični koeficijent trenja m_k između predfabriciranog betona i predfabriciranog betona treba u proračunima stabilnosti uzeti kao: $m_k = 0,4$ (neke analogije iz zidanih konstrukcija). On se dijeli s faktorom sigurnosti $\gamma_M = 1,75$. Prema tome proračunski koeficijent trenja iznosi $m_d = 0,4/1,75 = 0,228$. (Bazirano na orijentacijskoj analogiji s BS 6349-2: 1988).

Trenje betona i drugih materijala

Dalje se daju neke orijentacijske karakteristične vrijednosti koeficijenata trenja:

VRSTA MATERIJALA	f_k
Drvo-drvo, suho (Jap stand Port&Harb, 210)	0,5
Drvo-drvo, mokro (Jap stand Port&Harb, 210)	0,2
Suhi elastomerni fender-beton (EAU 1996, 196)	0,9
PE letva-čelik (EAU 1996, 201)	0,2-0,6
PE Ultra High Molecular Weight –čelik, mokro (Fentek, 86)	$\leq 0,1$
PE UHMW-čelik, suho (Fentek, 86)	0,1 – 0,15
PE HD-čelik (Fentek, 86)	0,2 – 0,25
Elastomer-čelik (Fentek, 86)	0,5 - 1
Drvo-čelik	0,3 – 0,5

1.3.3. Proračun trajnosti

Proračuni trajnosti se ne provode direktno nego su propisani EN-om kroz zahtjeve u proračunima nosivosti i uporabljivosti (na pr. zaštitni sloj betona i dozvoljene pukotine prema razredima izloženosti) te kroz tehnološke zahtjeve za gradiva, gradnju i kontrolu kakvoće (min. količina cementa, količina uzoraka za kontrolu kakvoće gradiva, ...).

Da bi se osigurala trajnost konstrukcije (ENV 1991-1) moraju se uzeti u obzir međuzavisni čimbenici:

- planirana i moguća buduća uporaba
- zahtijevani kriteriji ponašanja
- očekivani utjecaji okoliša (okruženja)
- sastav, svojstva i ponašanje gradiva
- izbor konstrukcijskog sustava
- oblik elemenata i oblikovanje konstrukcijskih pojedinosti
- kvaliteta izvedbe i razina nadzora
- posebne mjere zaštite
- održavanje tijekom predviđenog vijeka konstrukcije

Proračunski radni vijek se prema ENV 1991-1 svrstava u razrede kako je prikazano u donjoj tablici:

Razred	Proračunski radni vijek[god.]	Primjer
1	1-5	privremene konstrukcije
2	25	zamjenjivi dijelovi konstrukcije, npr. hidromehanička oprema, grede pokretnih kranova, ležajevi
3	50	konstrukcije zgrada i druge uobičajene konstrukcije
4	100	konstrukcije monumentalnih građevina, mostovi i druge inženjerske konstrukcije

Tablica 1.3.3.:| Razredi proračunskog radnog vijeka građevina (ENV 1991-1)