

5. PROMETNI UVJETI I DJELOVANJA NA MOSTOVE

5.1. SLOBODNI PROFILI

5.2. NIVELETA I OBLICI PROMETNE POVRŠINE

5.3. OPTEREĆENJA MOSTOVA

5.4. DINAMIČKI UTJECAJI

5.5. DEFORMACIJE

5. PROMETNI UVJETI I DJELOVANJA NA MOSTOVE

- mostovi moraju zadovoljiti prometne zahtjeve i izdržati djelovanja kojima su izloženi za vrijeme svog trajanja
- propisane su minimalne vrijednosti koje moraju biti zadovoljene ali treba težiti onima optimalnima
- mostovi služe prometu koji se neprestano mijenja i samim tim mijenja zahtjeve na mostove
- norme i regulativa u kojima su definirani prometni uvjeti i djelovanja su različiti u pojedinim zemljama

5.1. SLOBODNI PROFILI

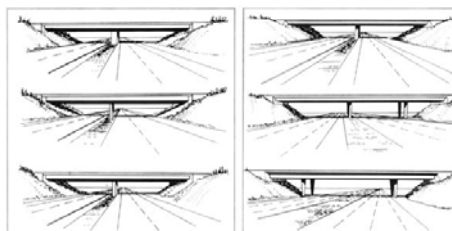
- to su minimalno potrebni raspoloživi prostori za odvijanje prometa na mostu ili ispod njega
- u taj prostor ne smiju zadirati nikakvi dijelovi mosta, reljefa...
- određuju se prema standardima unutar određenog prometnog sustava ali postoje i odstupanja s kojima se treba računati

SLOBODNE ŠIRINE I VISINE NAD POPREČNIM PRESJEKOM PROMETNICE KOJE SE MORAJU OSIGURATI OVISE O:

- gabaritima vozila
- potrebnim kapacitetima, propusnosti i protočnosti prometa u promatranom presjeku prometnice
- propisanoj i maksimalno dopuštenoj brzini prometa
- činiteljima sigurnosti i udobnosti

RAZLIKUJEMO:

- ❑ MINIMALNE SLOBODNE PROFILE – stvarno ostvarene vrijednosti zadanih slobodnih profila po čitavoj širini mosta, ispod tih vrijednosti se ne smije ići
- ❑ REALNE SLOBODNE PROFILE – veličina ostvarenog slobodnog profila se mijenja po širini mosta u ovisnosti od nosive strukture mosta – karakteristika lučnih mostova
- ❑ VIZUALNE SLOBODNE PROFILE – optički slobodni prostori, doprinose psihičkom utjecaju na sudionike u prometu, preglednosti i sigurnosti



PROMJENJIVI SLOBODNI PROFILI

➤ koriste se kada:

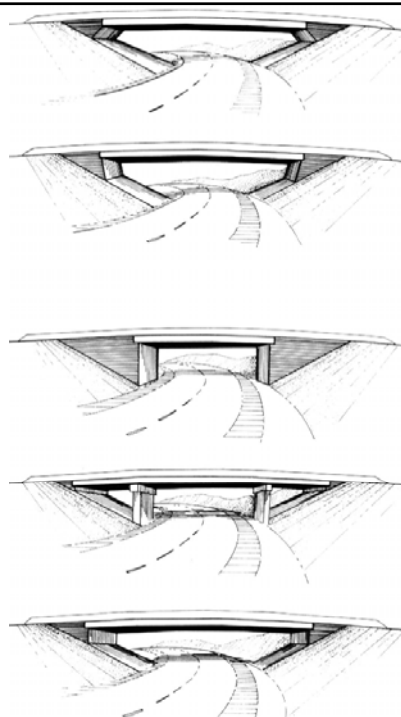
- su potrebe za većim slobodnim profilom rijetke
- je ostvarivanje većeg profila neopravdano iz estetskih ili ekonomskih gledišta

➤ postižu su:

- gradeći pokretne mostove
- koristeći isti profil za kombinaciju različitih prometnih sustava
- koristeći prometne trakove za promjenjive smjerove

Posebnu pozornost treba posvetiti slobodnim profilima mostova u krivinama, kosim prijelazima i nad plovnim vodotocima!

Kod kombiniranih sustava prometa mostovi moraju zadovoljavati slobodne profile svakog sustava uz dodatne sigurnosne razmake!



5.1.1. SLOBODNI PROFILI ZA PJEŠAKE

MOGU SE PODIJELITI U NEKOLIKO GRUPA:

A. PJEŠAČKI MOSTOVI ILI PROLAZI ISPOD MOSTOVA

- nema mogućnosti kontakta s drugim prometom
- širina ovisi o očekivanom broju prolaznika, vremenu prolaza, raznolikosti prolaznika, obilježjima prolaznika
- širina u pravilu iznosi 80 cm

B. MOSTOVI SA NEPJEŠAČKIM DOMINANTNIM PROMETOM (CESTOVNI, ŽELJEZNIČKI...)

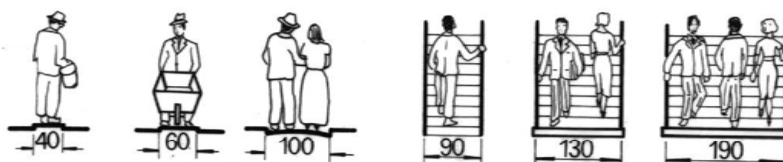
- širina se određuje isto kao pod A. osim što se predviđaju zaštitni trakovi između vozila i pješaka
- zaštitni trakovi – 25 cm u slučaju rubnjaka, 50 cm za odbojne ograde

C. PROFILI ZA SPECIJALNE PRELASKE ILI PREGLEDE MOSTOVA

- dozvoljene manje širine nego pod A. i B. uz proširenja za sklanjanje
- odnose se i na otvore u unutrašnjosti mostova (kod pregleda)

VISINE: pod A. i B. visine iznosi 250 cm (odnosi se i na bicikliste), a pod C. visina iznosi 120 cm ili 60 cm u unutrašnjosti mosta

5.1.1. SLOBODNI PROFILI ZA PJEŠAKE



5.1.2. SLOBODNI PROFILI ZA CESTU

- slobodni profil ispod mosta određen je slobodnim profilom na cesti izvan mosta
- raznolikost cestovnog prometa – različiti zahtjevi na slobodne profile

OVISE O:

- gabaritima vozila, potrebnim kapacitetima, zahtjevima protočnosti, brzinama kretanja i drugim prometnim činiteljima
- ostvarenim odnosima na prometnici izvan mosta
- posebnostima i bitnim specifičnim parametrima preglednosti, fizičkih i psihičkih činitelja u prometu na mostu

VISINE IZNOSE:

- 4,5 m ili u novijim propisima čak 4,8 m

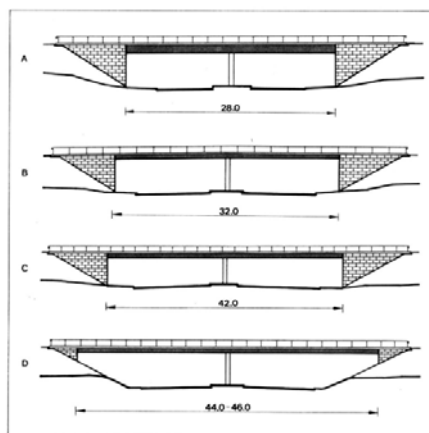
ŠIRINE IZNOSE:

- ne manje nego na istoj prometnici izvan mosta

Kod projektiranja slobodnih profila ne treba se ograničavati samo na minimalne vrijednosti nego treba misliti i na buduće potrebe!

5.1.2. SLOBODNI PROFILI ZA CESTU

- potrebno je analizirati i sigurnosne čimbenike – dijelovi mosta koji su izloženi udaru prometala moraju se izbjegavati jednako tako kao i oni koji smanjuju preglednost i udobnost vožnje osobito kod mostova u krivinama



*primjeri odnosa
raspona i
preglednosti*

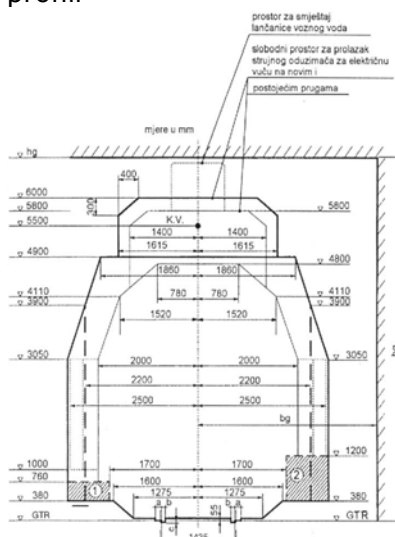
5.1.3. SLOBODNI PROFILI ZA ŽELJEZNICU

- određeniye karakteristike od onih kod cestovnih vozila pa se mogu preciznije definirati slobodni profili
- postoje profili za željeznice normalnih kolosjeka i oni za posebne sustave (tramvaji, metroi...)

ZA NORMALNI KOLOSJEK:

- visina = 4,8m ili 5,8m kod električne vuče
- širina = 4,4m; obično 5m između ograda

slobodni profil za normalni kolosjek



KOMBINIRANI CESTOVNO-ŽELJEZNIČKI MOSTOVI

- svaki od slobodnih profila, ceste, željeznice proveden potpuno odvojeno uz ostvarivanje svih pojedinačnih zahtjeva svakoga od njih
- isti prostor namijenjen korištenju različitih prometnih sustava – profilu se zadaju maksimalne dimenzije nepovoljnijega od njih

5.1.4. SLOBODNI PROFILI ZA VODOTOK I PLOVIDBU

- proticanje vode ispod mosta mora biti bez većih poremećaja u odnosu onaj izvan područja mosta – ne smije biti uspora, turbulencija, podlokavanja
- različiti pristupi za vodotoke sa i bez plovidbe
- preporuka: iznad visoke vode ostaviti 0,5m do 1m slobodne visine za mostove bez plovidbe
- kada statistički podaci ukazuju na vrlo visoke vode moguća su rješenja gdje određeni dijelovi mosta dolaze pod vodu
- plovni vodotoci:
 - iznad najvišeg plovnog vodostaja treba ostaviti slobodni profil koji kod riječnih plovila iznosi 6,5m a kod morskih brodova između 25 i 66m;
 - širine slobodnih profila za plovidbu na rijekama iznose 60 do 100m



*most Öresund između
Danske i Švedske –
slobodni profil 490x57m*



*plovidba ispod
mosta Gladesville u Sydneyu*

5.2. NIVELETA I OBLICI PROMETNE POVRŠINE

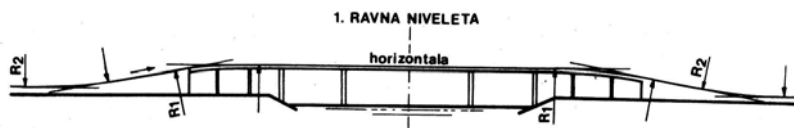
- u uskoj vezi sa sigurnošću i udobnošću prometa na mostu
- kod manjih mostova niveleta se prilagođava prometnici izvan mosta, dok su kod većih moguća određena odstupanja zbog zahtjeva samog mosta – traže se *OPTIMALNA RJEŠENJA*

OSNOVNI PARAMETRI NIVELETE OVISE O:

- općem vođenju trase prometnice
- uvjetima i ograničenjima s gledišta slobodnog profila
- reljefu i karakteristikama okoliša mosta
- funkcionalnim i estetskim činiteljima
- zahtjevima preglednosti

NIVELETA MOŽE PRIPADATI U JEDNU OD SLIJEDEĆIH SKUPINA

1. Ravna niveleta • dio pravca
 - funkcionalni nedostaci – odvodnja, pojava progiba
 - estetski nedostaci – optička varka ravnosti
 - koristi se kod kraćih cestovnih mostova ili
 - željezničkih mostova s otvorenim kolnikom



2. Konveksna niveleta • ispupčena prema gore, oblici krivulja
 - najbolje rješenje – rješena odvodnja i estetika
 - prikladna za velike lučne mostove
 - moguće razni simetrični i antimetrični oblici



NIVELETA MOŽE PRIPADATI U JEDNU OD SLIJEDEĆIH SKUPINA

3. Konkavna niveleta •udubljena linija
- problemi odvodnje i oblikovanja skladnosti
 - prednosti u pogledu preglednosti
 - treba izbjegavati dno udubine na mostu



4. Složena niveleta •kombinacija više različitih linija
- usponi, padovi, zaobljenja, lomovi na istom mostu
 - u pravilu nije prikladna
 - neizbježna kod mostova u čvorištu – tlocrtno i visinsko kombiniranje krivulja

Tip nivelete mora slijediti zahtjeve prometa (dopušteni usponi i padovi, radijusi zakrivljenosti) i reljefa kojim prolazi prometnica i most.

5.3. OPTEREĆENJA MOSTOVA

DJELOVANJA NA MOSTOVE IMAJU IZVORIŠTA U:

- gravitaciji te odnosima veličina i raspodjele mase građevine
 - djelovanjima prometa i uopće korisnika
 - prirodnim pojavama, klimatskim i drugim utjecajima
- nosive konstrukcije u mostovima moraju preuzeti djelovanja u vremenu projektirane trajnosti građevine
- početna faza svake analize konstrukcije – istraživanje i obuhvaćanje djelovanja
- složenost problema zbog:
- velikog broja različitih djelovanja na mostove
 - njihove različitosti u djelovanju i raznolikosti u svojstvima
 - njihove promjenjivosti za vrijeme djelovanja
 - njihove promjenjivosti u vremenu postojanja mosta
 - vrlo velike mogućnosti pojava u različitim kombinacijama

PROCES ANALIZE OPTEREĆENJA SADRŽI:

- realno i što točnije obuhvaćanje onih djelovanja koje je moguće precizno obuhvatiti i proračunski jednostavno iskazati
 - prognoziranje i tipiziranje preostalih djelovanja tako da na njih proračunata konstrukcija izdrži sve realno očekivane kombinacije stvarnih djelovanja u projektiranom vremenu njene trajnosti.
- taj proces se svodi na korištenje normi, propisa i standarda koji su drugačiji u pojedinim zemljama – posljedica različitih djelovanja ali i različitih razina sigurnosti
- filozofija EUROCODE-a – objedinjavanje propisa europskih zemalja

5.3.1. PODJELA OPTEREĆENJARAZLIČITOST PODJELA OPTEREĆENJA:

- mirna i dinamička
- stalna, dugotrajna, kratkotrajna
- očekivana i izvanredna

UOBIČAJENA PODJELA (U VEZI S OBILJEŽJIMA I UČESTALOSTI ALI I UTJECAJEM NA SIGURNOST GRAĐEVINE):

- A. osnovna opterećenja – djeluju uvijek na konstrukciju
- B. dodatna opterećenja – javljaju se periodično ili povremeno
- C. izvanredna opterećenja – javljaju se u iznenadnim, nepredvidivim ili slučajnim okolnostima

A. OSNOVNA OPTEREĆENJA • vlastita opterećenja građevine • prometna opterećenja • centrifugalna sila • aktivni pritisak tla • puzanje i skupljanje betona • pritisak vode	
- <u>svrha podjele</u> – da se ne gradi neracionalno nego da se obuhvate realne pojave opterećenja, a ne sva maksimalna istodobna djelovanja	B. DODATNA OPTEREĆENJA • temperaturni utjecaji • opterećenje vjetrom • opterećenje snijegom i ledom • pasivni pritisak tla • sile od kočenja i ubrzavanja vozila • otpori u ležajevima • bočni udari • pritisak na ogradu
C. IZVANREDNA OPTEREĆENJA • udari vozila • djelovanje potresa • utjecaji oštećenja i deformacija konstrukcije • vozila izvanrednih obilježja	

KOMBINIRANJE OPTEREĆENJA – GRUPE DJELOVANJA:

1. kombinacija: sva osnovna opterećenja

2. kombinacija: sva osnovna i jedna od kombinacija dodatnih

- temperaturni utjecaji, kočne i pogonske sile
- temperaturni utjecaji, otpori ležajeva, zakretanje temelja
- temperaturni utjecaji, vjetar, bočni udari i popuštanje oslonaca
- kočne ili pogonske sile, popuštanje oslonaca

3. kombinacija: sva osnovna opterećenja, udarac vozila, prekid vodova na mostu

4. kombinacija: vlastita težina, stalni teret i iskliznuće željezničkih vozila

5. kombinacija: sva osnovna opterećenja, dodatna i potres (ovdje se pokretno uzima s 50%, vjetar 50%, a pritisak tla 125%)

➤ različitim djelovanjima pridružujemo različite koeficijente sigurnosti

➤ ova klasifikacija ima i iznimaka – npr. vjetar je kod proračuna vjetrovnog sprega glavno opterećenje

5.3.2. VLASTITA OPTEREĆENJA GRAĐEVINE

□ djelovanje mase građevine

□ opterećenja od svih dijelova, opreme, uređaja, sredstava



mirna, usmjerena prema središtu zemlje, nepromjenjiva

DIJELE SE NA:

- vlastitu težinu – proračunavani dio konstrukcije koji se u toku projektiranja često mijenja pa je zato i izdvojen zbog bržeg i lakšeg mijenjanja njegovih vrijednosti
- stalni teret – dijelovi nadogradnje, uređaja i opreme mosta

5.3.3. PROMETNA OPTEREĆENJA

□ opterećenja izazvana pojavom i djelovanjem korisnika mosta

□ složenih su obilježja:

- nemaju stalan položaj
- promjenjiva razvojno i tijekom prelaženja
- dinamički utjecaji
- različitost kombinacija pojavljivanja na mostu



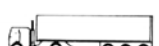
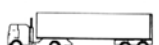
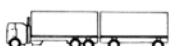
uvode se proračunska ili tipska opterećenja



idealizacije i zamjene stvarnih djelovanja, potreba za jednostavnošću računajući i sa pojavom najnepovoljnijih od realnih očekivanih opterećenja

STVARNA OPTEREĆENJA SU NASUPROT TOME KARAKTERIZIRANA:

- različitošću vozila
- neujednačenom gustoćom i učestalošću pojava
- različitim brzinama
- različitošću ukupnih i osovinskih opterećenja
- različitošću dimenzija

VOZILO	OSOVINSKI RAZMAK (m)	OSOVINSKI PRITISAK (kN)	% VOZILA
	4.50	75 120	25 %
	4.20 1.30	70 90 90	2 %
	3.20 5.20 1.30 1.30	70 120 85 85 70	37 %
	3.20 5.50 1.30	70 120 90 90	23 %
	4.20 1.30 3.50 4.50	70 90 90 100 100	13 %

različitošću vozila i njihovih učestalosti

- u pojedinim zemljama postoje razlike u propisima tipskih opterećenja – posljedica zastarjelih ili naprednih polazišta



usmjerenost prema ujednačavanju

- mostovi na prometnijim i značajnijim prometnicama se računaju na veća opterećenja, dok se na manjim mostovima takva opterećenja uzimaju samo kao specijalna uz posebne režime prelaska



KLASE MOSTOVA – svaka klasa ima pripadajuću shemu i iznos opterećenja na koju se proračunava

- ponekad most može pripadati u jednu klasu za redoviti režim prelaska, a u drugu (višu) za specijalni režim prelaska (vojna ili specijalna opterećenja)

1. Opterećenja od pješaka

- proporcionalno broju ljudi koji u određenim okolnostima mogu stati na prometnu površinu uključujući i njihove dinamičke učinke
- NAVALA LJUDI – jednoliko kontinuirano opterećenje 3-6 (8) kN/m²

$$\frac{0,75 \text{ kN (prosječna težina čovjeka)}}{0,15 \text{ m}^2 \text{ (površina za jednog čovjeka)}} = 5 \text{ kN/m}^2$$

↓
vrijednost za dimenzioniranje

- ovaj iznos može se smanjiti kod velikih mostova ($L > 10\text{m}$):

$$p = 5,50 - 0,05L \quad (\text{ne manje od } 4,0 \text{ kN/m}^2)$$
 - ili povećati (mogućnost velike popunjenosti – most kao tribina)
- u slučajevima dinamički podatnijih pješačkih mostova ili složenijih djelovanja uz moguće pojave rezonancije mora se provesti proračun

NAVALA LJUDI...

...primjer otvaranja Masleničkog mosta...



...i otvaranje Krčkog mosta.

U GRUPU OPTEREĆENJA OD PJEŠAKA JOŠ SE UZIMA I SLIJEDEĆE:

- bočni pritisci na ogradu – horizontalna sila 0,8 kN/m ograde
- koncentrirana opterećenja zbog eventualnog izlijetanja vozila na pješačku stazu – zamjensko opterećenje jednog kotača od 50 kN

2. Cestovna opterećenja

- složena i raznolika
- intenzitet ovisi o vrsti, položaju u prometnoj mreži i kategoriji prometnice, o širini mosta i broju prometnih trakova na njemu
- promjenjiva i pokretna – treba uzeti najnepovoljniji oblik



TIPSKA OPTEREĆENJA

- GLAVNI NOSAČI, SKLOPOVI I GLOBALNI DIJELOVI MOSTA: moguća i jednostavnija shema zamjenskog jednolikog kontinuiranog opterećenja
- SEKUNDARNI DIJELOVI MOSTA: mjerodavna su lokalna djelovanja – sile od kotača, osovina

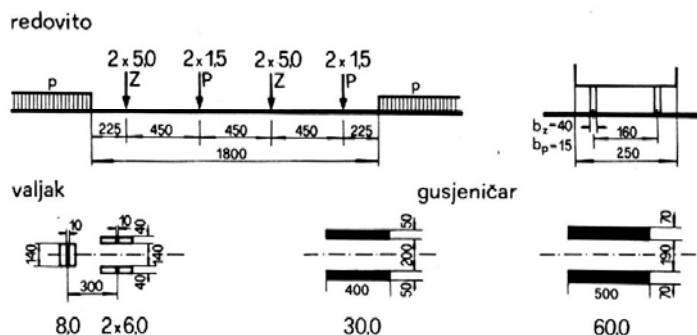
RAZLIČITE KATEGORIJE MOSTOVA → RAZLIČITE SCHEME OPTEREĆENJA

2. Cestovna opterećenja

PRIMJERI TIPIZIRANIH OPTEREĆENJA NA CESTOVNE MOSTOVE

A. OPTEREĆENJE PREMA PTP-5

- za mostove uobičajenih širina (5 – 10 m)
- dva tipska traka s po dva tipska kamiona
- razmještaj u uzdužnom smjeru mora biti takav da daje najnepovoljnije unutrašnje sile
- čitava površina izvan tih traka opterećuje se navalom ljudi
- posebne sheme: valjak, specijalno vozilo...

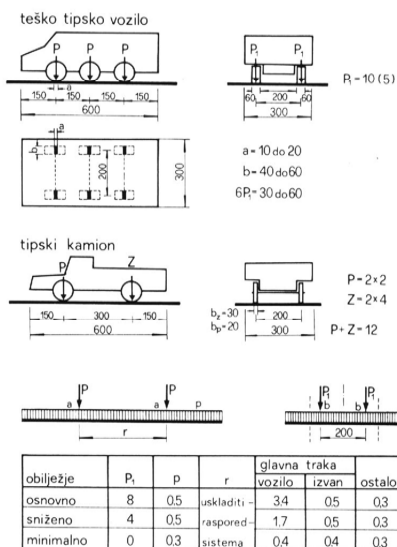


2. Cestovna opterećenja

PRIMJERI TIPIZIRANIH OPTEREĆENJA NA CESTOVNE MOSTOVE

B. OPTEREĆENJE PREMA NJEMAČKIM PROPISIMA DIN 1072 IZ 1985.

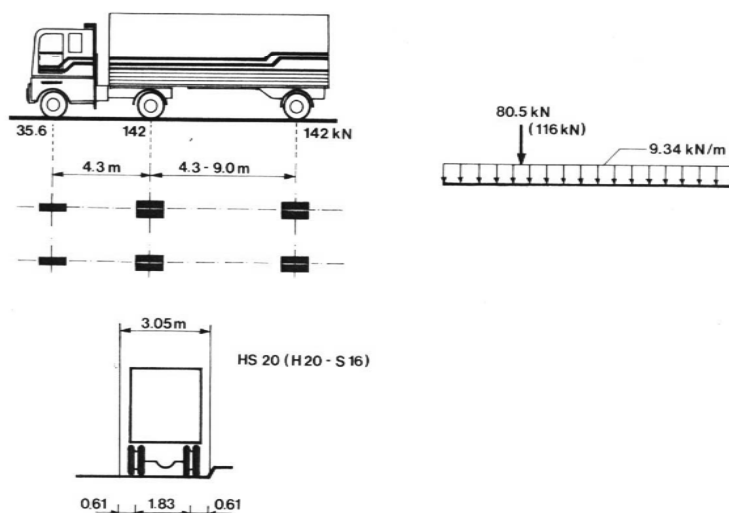
- aktualno u hrvatskim normama
- tipske klase: 60/30, 30/30, 16/16, 12/12, 9/9, 6/6 i 3/3 [tone]
- mostovi autocesta, magistralnih i gradskih cesta – 60/30
- mostovi lokalnih i sporednih cesta – 30/30
- ostale klase – služe za naknadne proračune i dokaze nosivosti
- površina kolnika se podjeli na glavni (3m) i dodatni (3m) trak koji se poprečno a vozila na njima uzdužno stavljaju u najnepovoljniji položaj
- ostatak glavnog traka se opterećuje sa p_1 , a ostatak sporednog i ostatak mosta sa p_2



2. Cestovna opterećenja

PRIMJERI TIPIZIRANIH OPTEREĆENJA NA CESTOVNE MOSTOVE

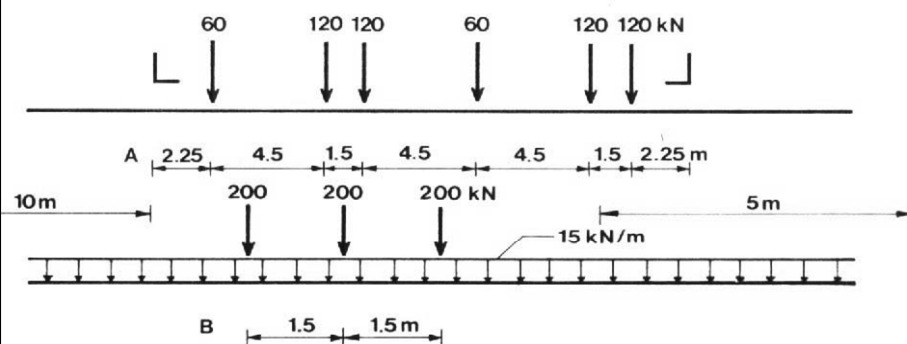
C. OPTEREĆENJE PREMA AMERIČKIM PROPISIMA AASHTO HS20-44



2. Cestovna opterećenja

PRIMJERI TIPIZIRANIH OPTEREĆENJA NA CESTOVNE MOSTOVE

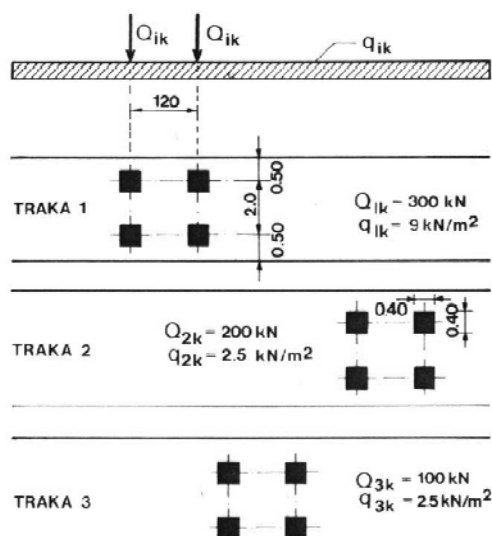
D. OPTEREĆENJE PREMA FRANCUSKIM PROPISIMA ZA I. KLASU MOSTOVA



2. Cestovna opterećenja

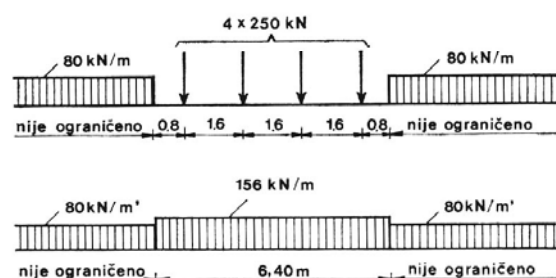
PRIMJERI TIPIZIRANIH OPTEREĆENJA NA CESTOVNE MOSTOVE

E. OPTEREĆENJE PREMA EUROCODE-u



3. Željeznička opterećenja

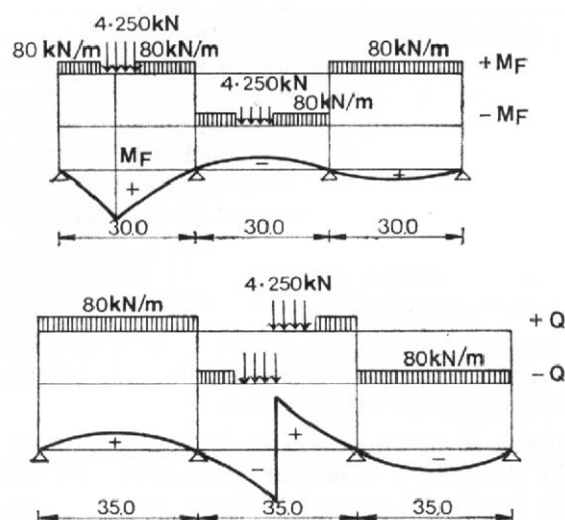
- jednoznačnija i manje raznolika od cestovnih
- moguće točnije definirati položaj djelujućih korisnih opterećenja u poprečnom presjeku
- kroz proteklo stoljeće i pol događaju se brojne promjene u obilježjima i dimenzijama vozila, osovinskim i ukupnim opterećenjima, porastu brzina i dodirnih uređaja s prometnom plohom
- raspon od klasična vozila pa sve do aerodinamičkih vozila na zračnim i magnetskim jastucima koja zahtijevaju dodatna ispitivanja
- shema opterećenja iz 1971. pod nazivom UIC-71 – prihvaćena i u našem Pravilniku o tehničkim mjerama za opterećenja željezničkih mostova iz 1977.
- sporedne pruge – 80% intenziteta opterećenja iz sheme za glavne pruge



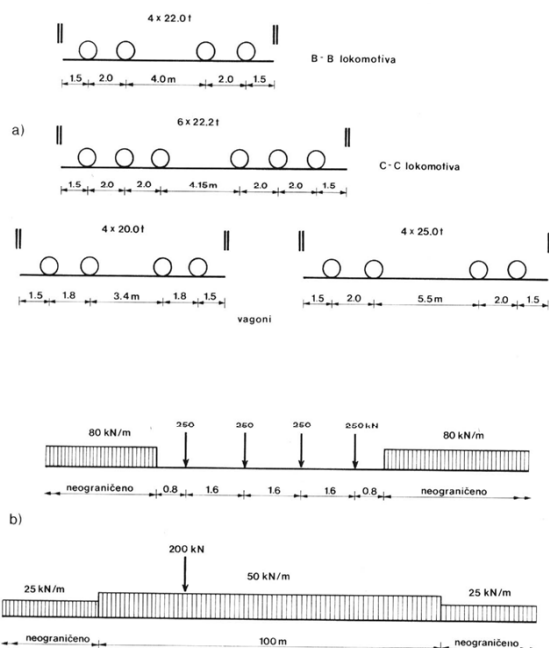
shema UIC-71

3. Željeznička opterećenja

primjeri korištenja
shema UIC-71 za
analizu unutarnjih
sila pomoću
utjecajnih linija

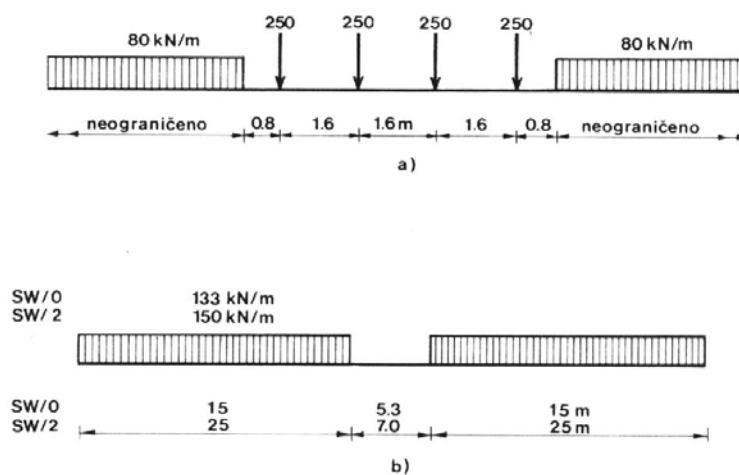


3. Željeznička opterećenja



shema opterećenja prema
britanskom propisima
BS 5400

3. Željeznička opterećenja



shema opterećenja prema EUROCODE-u

3. Željeznička opterećenja

- pružna vozila posebnih obilježja imaju drugačije sheme od ovdje prikazanih (tramvaji, metroi...)
- u posebnim slučajevima postoje znatnija korisna opterećenja drugih uzroka – navala ljudi u slučajevima kolodvora na mostovima

Mostovi sa mješovitim prometom (cestovni, željeznički, pješački) se dimenzioniraju na realne i najnepovoljnije kombinacije ovih opterećenja!

4. Ostala korisna opterećenja mostova

- javljaju se kod mostova za tekućine, plovne kanale ili kod mostova prenosila i dizalica

PRIJENOS TEKUĆINA U OTVORENIM KANALIMA ILI CJEVOVODIMA

- djelovanje ovisi o specifičnim karakteristikama tekućine i prostornim obilježjima kanala i cjevovoda

MOSTOVI PRENOSILA I DIZALA

- imaju definirane iznose mirnog opterećenja ali su prisutne i dinamičke pojave zbog pokretanja, zaustavljanja, opterećivanja, rasterećivanja



Krčki most – prevodi naftovod

5. Opterećenje zbog ubrzavanja i zaustavljanja vozila

- pojava uzdužnih horizontalnih sila na mjestu dodirne plohe vozila i prometne podloge

OVE SILE OVISE O:

- vrsti vozila
- obilježjima kontakta s podlogom
- trenju
- ukupnoj masi vozila
- niveleti
- prometnim uvjetima na mostu (raskrižja, semafori)

IZNOSE (u većini propisa)

- vučna sila

$$V = k_v \cdot P_1$$

- kočna sila

$$K = k_k \cdot P_2$$

P_1 i P_2 – mjerodavni tereti

k_v, k_k – vučna sila 3% od ukupnog prometnog opterećenja na mostu
 - sila kočenja 30% od težine vozila koja mogu usporedno proći

5. Opterećenje zbog ubrzavanja i zaustavljanja vozila

- neke zemlje imaju i strožije propise:

NJEMAČKI PROPISI

- kočna sila

$$K = \frac{1}{20} p_2 b L \quad \text{ili} \quad K = 0,3 \Sigma P$$

$p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$, b – širina mosta, L – dužina kolnika na mostu

ΣP – ukupno opterećenje tipskih vozila

ŠVICARSKI PROPISI SIA-160 (IZ 1970.)

- kočna sila

$$K = 100 + 2L \leq 300 \text{ kN}, \quad L - \text{dužina mosta između dilatacija na kolniku}$$

DIN 1072 PROPISI (važeci kod nas!)

- kočna sila cestovnih vozila – iznosi 25% opterećenja glavnog traka ali ne manje od 1/3 tereta tipskih vozila u glavnom i pokrajnom traku s max 900 kN, bez dinamičkog faktora

5. Opterećenje zbog ubrzavanja i zaustavljanja vozila

EUROCODE

- sile zbog zaustavljanja i pokretanja se uzimaju istog intenziteta, različitog predznaka
- iznose 60% koncentriranog tereta i 10% jednolikog rasprostrtog opterećenja
- ne manje od 180 kN i ne više od 800 kN

▪ kod željezničkih mostova:

NJEMAČKI PROPISI

- kočna sila $K = f_k k_r L$ [kN]
 - L - duljina mosta
 - f_k - jedinična kočna sila koja je prema UIC-71 prosječno 20 kN/m
 - k_r - redukcijski faktor ovisan o obilježjima tračnice i donjeg ustroja mosta, za prekinute tračnice ispred i iza mosta iznosi 1, za neprekinute je manji
- vučne i kočne sile djeluju u visini gornjeg ruba prometne podloge i treba ih elementima pomosta i strukture mosta preuzeti
- ponekad se u tu svrhu izvodi kočni vez

6. Centrifugalna sila

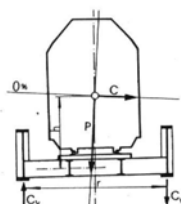
- sila koja se javlja pri kretanju objekta po zakrivljenoj putanji i usmjerena je prema središtu zakrivljenosti
- na mostovima se javlja pri kretanju vozila većih brzina po horizontalno i vertikalno zakrivljenim niveletama i to:

- horizontalna krivina - sila djeluje poprečno
- konveksna niveleta - sila djeluje vertikalno rasterećujuće (ne uzima se u obzir)
- konkavna niveleta - sila djeluje vertikalno opterećujuće

IZNOSI:

$$C = k_c \cdot P \quad k_c = \frac{v^2}{g \cdot R}$$

⇒ dobija sve veći značaj kod vozila velikih brzina kretanja



$$C = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad R = \text{radijus zavoja}$$

$$v = \text{brzina kretanja (m/sek)}$$

$$C = k_c \cdot P \quad k_c = \frac{v^2}{g \cdot R}$$

$$C_v = \frac{h}{l} \cdot C$$

- centrifugalnu silu je moguće tretirati kao mirnu horizontalnu silu koja djeluje 2m iznad gornjeg ruba tračnica na najnepovoljnijem mjestu

7. Bočni udari (sile od vijuganja vozila)

- horizontalna sila prisutna na željezničkim mostovima
- djeluje okomito na smjer kretanja vozila
- posljedica vijugavog a ne idealno pravocrtnog kretanja vozila uslijed nepravilnosti u razmaku tračnica

OVISI O:

- masi vozila
- brzini vozila
- zakrivljenosti putanje kretanja - razlika razmaka kotača i tračnica

IZNOSI (u većini propisa):

$$B = 0,05P$$

OBIČNO SE UZIMA NA NAJNEPOVOLJNIJEM MJESTU IZNOSA:

$$B = 100 \text{ kN}$$

5.3.4. OPTEREĆENJA OD TLA

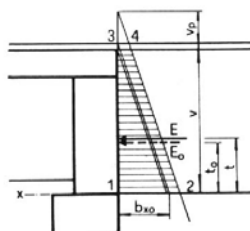
- aktivni ili pasivni pritisak na dijelove konstrukcije

OVISI O:

- svojstvima tla
- veličini i obilježjima dodirnih površina tla i konstrukcija

JAVLJA SE KAO:

- vertikalno opterećenje od tla
 - prisutno nad propustima ili kod svođenih mostova
 - kod visokih nasipa moguća pojava rasteretnog svoda
- bočno opterećenje od tla
 - na zidove i krila upornjaka
 - jednako kao i kod svakog potpornog zida
 - dodavanje nadsloja – zamjena korisnog opterećenja



$$b_{x0} = \gamma \cdot v \cdot \varepsilon_a$$

$$E_0 = 0,5 \cdot \gamma \cdot v^2 \cdot \varepsilon_a$$

$$v_p = p/\gamma$$

$$E = F_{k234}$$

$$\varepsilon_a = \tan^2(45 - \varphi/2)$$

$$\varepsilon_p = \tan^2(45 + \varphi/2)$$

5.3.4. OPTEREĆENJA OD TLA

- aktivni pritisak tla – djeluje uvijek
- pasivni pritisak tla – dodatno opterećenje uslijed pomaka dijelova konstrukcije

DIN PROPISI:

- vjerojatna (očekivana) i moguća pomicanja temeljnog tla
- vjerojatni pomak – pomak pod trajnim opterećenjem
- moguća pomicanja - granične vrijednosti pomaka – najnepovoljnije kombinacije pomaka,
- smanjen koeficijent sigurnosti
- naročiti ili izvanredni pomaci – još manji koeficijent sigurnosti

5.3.5. OPTEREĆENJE OD DJELOVANJA VODE

- djelovanje vode na stupove i upornjake često nije zamjetno jer su ti elementi mosta ionako izvedeni masivno
- bitno je da se oblikuju tako da otpor kretanju vode bude što manji

VELIČINA PRITISKA VODE IZNOSI:

$$P = k \cdot \frac{v^2}{g} \cdot A$$

P – pritisak vode
A – površina na koju djeluje
v – brzina vode
k – koeficijent oblika plohe

- potrebno analizirati eventualne dinamičke utjecaje
- obratiti pozornost na mogućnost donošenja plovećih predmeta
- podvodni dijelovi mosta mogu biti izloženi i hidrostatskom tlaku ili uzgonu kao vertikalnom djelovanju

5.3.6. OPTEREĆENJA ZBOG KLIMATSKIH POJAVA

1. Opterećenje vjetrom

DJELOVANJE VJETRA NA MOSTOVE SE MOŽE JAVITI U OBLIKU:

- pritiska na površinu – statičko djelovanje
- dinamičkog djelovanja

OVISI O:

- brzini, smjeru, načinu djelovanja (konstantno i mirno, refuli) vjetra
- visinskom položaju mosta u krajoliku
- aerodinamičkim svojstvima građevine

PODJELA PROSTORA NA ZONE (važi kod nas):

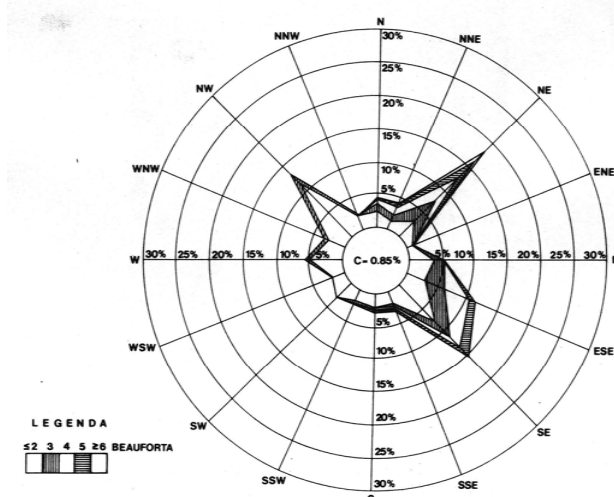
I zona: od 0,45 do 0,80 [kN/m² - osnovni pritisci]

II zona: od 0,80 do 1,10

III zona: od 1,10 do 1,70

- ovi iznosi se još množe s koeficijentom oblika koji za neperforirane elemente iznosi 1,6

- kod većih i na vjetar osjetljivijih mostova potrebno je analizirati ružu vjetrova:

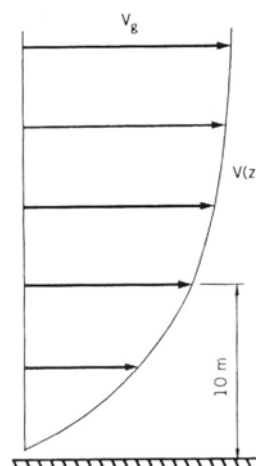


primjer ruže vjetrova za Dubrovački most

- vertikalna komponenta vjetra ne smije se uvijek zanemariti –
- kod dinamički osjetljivih struktura mora se uzeti u obzir!
- visina mosta bitno utječe na opterećenje vjetrom – ovisnost intenziteta vjetra o visini nad tlom:

KATEGORIJE MOSTOVA OVISNO
OD VISINE NAD TERENOM:

- do 20m
- od 20 do 50m
- iznad 50m



- aerodinamička svojstva mosta: oblici dijelova mosta koji su izloženi djelovanju vjetra bitno utječu na njegov intenzitet pa ih valja pomno analizirati
- djelovanje vjetra računa se poprečno i uzdužno na most
- dinamičko djelovanje vjetra obično se zamjenjuje statičkim osim kod laganih (viseće i ovješene) struktura gdje su neophodni dinamički proračuni

STATIČKI PRORAČUN

- sila vjetra

$$P_w = K_a \cdot q \cdot A$$

A – sila vjetra na promatrani objekt

K_a – aerodinamički koeficijent oblika površine

q – jedinični pritisak za zadane uvjete brzine, visine i istodobnosti s drugim opterećenjem

Visinski položaj nad terenom	Djelovanje na prometom neopterećen most		Most opterećen Prometnim
plohe izložene djelovanju vjetra	Bez zida za zaštitu od buke	Sa zidom za zaštitu od buke	opterećenjem
0 – 20 m	1,75 kN/m ²	1,45 kN/m ²	0,90 kN/m ²
20 – 50 m	2,10 kN/m ²	1,75 kN/m ²	1,10 kN/m ²
50 – 100 m	2,50 kN/m ²	2,05 kN/m ²	1,25 kN/m ²

*pritisak vjetra
očita se iz
tablice*

➤ neki autori nude proračun q prema izrazu:

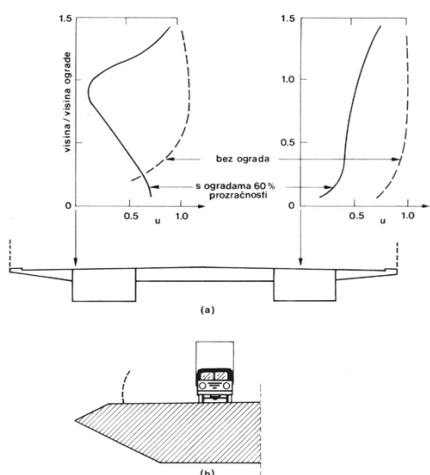
$$q = k \cdot \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot v^2$$

k – koeficijent ovisan o visinskim i topografskim odnosima u smjeru puhanja

γ – zapreminska gustoća zraka

g – gravitacija

v – brzina vjetra



odnos intenziteta pritiska vjetra i visine vozila i ograde te položaju vozila bliže ili dalje od ruba sa strane koje puše vjetar

OBUHVAĆANJE RAZLIČITOSTI IZLOŽENIH PLOHA VJETRU:

- punostijena konstrukcija – čitava površina prednje jednostruke plohe
 - ograde – kao pune plohe
 - konstrukcije s više paralelnih nosača smještenih jedan iza drugoga (npr. rebra) – puna površina prednje plohe, pola druge, trećina treće itd.
 - perforirane plohe – mogu se odbiti šupljine ako je iza njih prazan prostor i ako nema opasnosti za vrtloge
 - mrežaste plohe – kao pune
- izloženoj plohi mosta treba dodati i površinu prometala:
- cesta – 3,5m iznad razine kolnika
 - pješački most – 1,8m iznad razine hodnika

- dinamički utjecaji – uzrokuju titranje struktura – primjer rušenja Tacoma mosta:



Sile vjetra na mostove prema HRN ENV 1991-2-4

$$F_w = q_{\text{ref}} \cdot c_e(z_e) \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{\text{ref}}$$

q_{ref} poredbeni tlak srednje brzine vjetra ovisan o poredbenoj brzini vjetra (v_{ref})

v_{ref} osnovna poredbena brzina vjetra $v_{\text{ref},0}$ dodatno se korigira s obzirom na nadmorsku visinu a_s (m) koeficijentom $c_{\text{ALT}} = 1 + 0,001 \cdot a_s$

$c_e(z_e)$ koeficijent izloženosti

c_d dinamički koeficijent odziva konstrukcije na udar vjetra

c_f aerodinamički koeficijent sile vjetra

A_{ref} poredbena ploština djelovanja vjetra

Sile vjetra na mostove prema prEN 1991-1-4

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{\text{ref}}$$

$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$ osnovni tlak vjetra q_b

v_b osnovna brzina vjetra, određuje se prema temeljnoj vrijednosti osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$ pri čemu europska norma ne daje korekciju ovisno o nadm. visini

$C = C_e \cdot C_{f,x}$ koeficijent vjetrovnog opterećenja

C_e koeficijent izloženosti

$C_{f,x}$ koeficijent sile

A_{ref} poredbena ploština

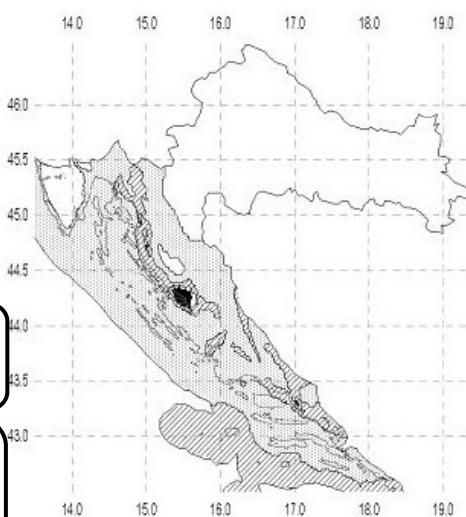
Hrvatska je podijeljena u 5 vjetrovnih zona.
 v_{ref} za most bez prometnog opterećenja

Zona	$v_{\text{ref},10\text{min}}$ (m/s)
I.	22,0
II.	30,0
III.	35,0
IV.	40,0
V.	50,0

Za most pod prometnim opterećenjem ENV 1991-3 predlaže brzinu 23 m/s

U Hrvatskoj mogli bi preporučiti brzinu 30,5 m/s. (Uvjeti za zabranu prometovanja svih kategorija vozila u slučaju suhog kolnika.)

v_{ref} prema NAD



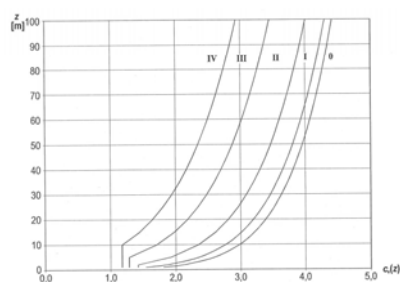
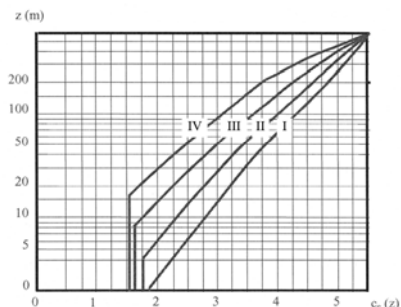
Koeficijent izloženosti $c_e(z)$

ENV 1991-2-4

$c_e(z)$ ovisno o visini z iznad tla i kategoriji hrapavosti terena (I-otvoreno more, jezera s najmanje 5 km otvorene površine u smjeru vjetra ili ravnica bez prepreka – IV – gradska područja u kojima je najmanje 15% površine izgrađeno i čija prosječna visina prelazi 15 m).

EN 1991-1-4

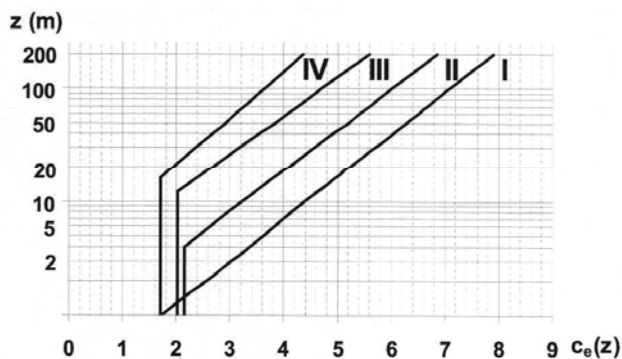
Pet kategorija terena. Kategorija I iz HRN ENV rastavljena je na: 0-otvoreno more ili obalno područje izloženo otvorenom moru, I-jezera ili ravnice bez prepreka s nezamjetnom vegetacijom.



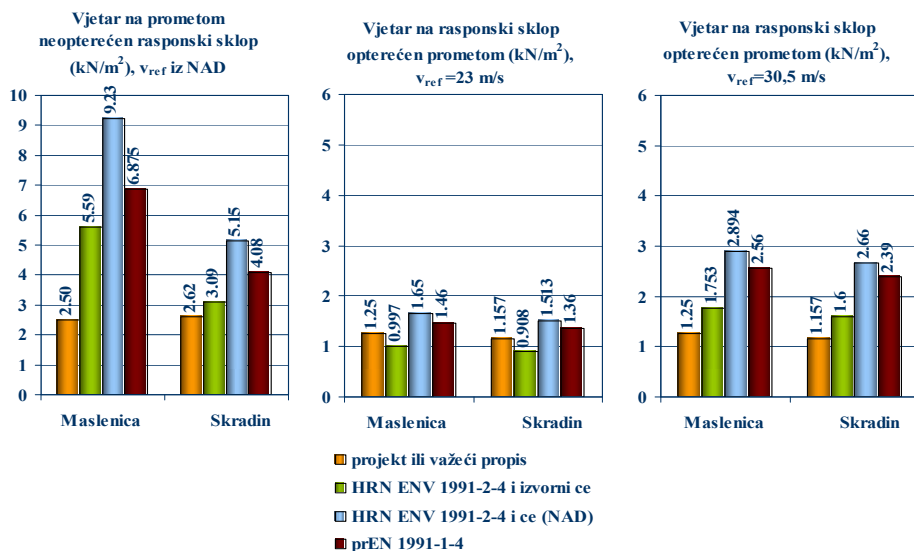
Koeficijent izloženosti $c_e(z)$

HRN ENV 1991-2-4 + NAD

Veći koeficijent izloženosti za regije P5 – P10 (priobalje, otoci, dalmatinsko zaleđe).



Usporedba različitih propisa i normi



2. Snijeg

- opterećenje snijegom se kreće $0 - 10 \text{ kN/m}^2$ – ovisi o klimatskoj zoni
- nemoguće je istodobno prometno opterećenje i maksimalno opterećenje snijegom => mjerodavno je prometno opterećenje
- maksimalno opterećenje se odnosi na područja gdje nema prometa – krovovi natkrivenih mostova
- faze građenja – računa se s opterećenjem na svim površinama ali sa smanjenim iznosima

Opterećenje snijegom

- karakteristično opterećenja s_k - odgovara jednolikom snijegu koji je napadao pri mirnim vremenskim uvjetima na ravno tlo
- s_k je dano na nacionalnoj osnovi u obliku karti s odgovarajućom zemljopisnom lokacijom i ovisi o nadmorskoj visini



Područja opterećenja snijegom u HR prema NAD
norme HRN ENV 1991-2-3



Nadmorska visina do (m)	I. područje	II. područje	III. područje	IV. područje
100	1,10	1,10	0,45	0,35
200	1,30	1,40	0,80	0,50
300	1,55	1,75	1,20	0,70
400	1,80	2,20	1,65	0,90
500	2,05	2,65	2,15	1,15
600	2,35	3,15	2,70	2,70
700	2,65	3,70	3,30	3,30
800	2,95	4,25	3,95	3,95
900	3,25	4,90	4,65	4,65
1000	3,60	5,55	5,40	5,40
1100	3,95	6,25	6,20	6,20
1200	4,30	7,00	7,05	7,05
1300	--	7,80	7,95	7,95
1400	--	8,65	8,90	8,90
1500	--	9,50	9,90	9,90
1600	--	10,40	10,95	10,95
1700	--	11,40	12,05	12,05
1800	--	--	13,20	13,20

3. Led

DVOJAKO DJELOVANJE

kao opterećenje



-do 10cm na prometnoj
podlozi

-opasnije za sigurnost
prometa nego kao
opterećenje

kao pritisak ili udar u vodotoku



- u vodotocima opasan kao udar
u stupove ili druge dijelove mosta

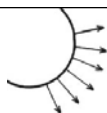
- računanje bez dinamičkih
karakteristika kao horizontalni
pritisak uvećan koeficijentom
koji ovisi o brzini vodotoka

4. Temperaturna djelovanja

➤ promjena temperature – promjena volumena

PROMJENE TEMPERATURE MOGU BITI:

- jednolike - istog iznosa za cijelu strukturu (temp. zraka)
 - jednolika promjena dimenzija koja ako je spriječena izaziva unutrašnja sile
 - +/- 35 °C od montažne temperature
- nejednolike - različite za dijelove iste strukture
 - sunce – sjena
 - različita gradiva sa različitim temperaturnim koeficijentima



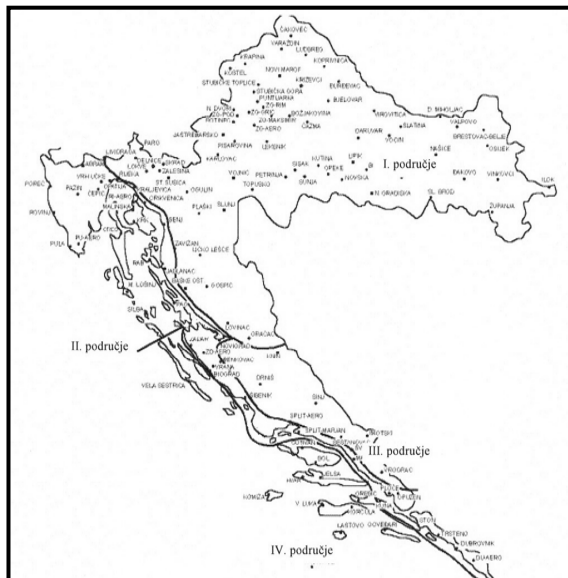
nejednoliko zagrijavanje dijelova
mosta pod utjecajem sunca



IZNOS I VRSTA TEMPERATURNIH PROMJENA OVISE O:

- varijacijama temperature zraka
 - vrsti gradiva – njegova linearna deformacija od promjene temperature za 1 °C
- najzamjetnija su kod metalnih konstrukcija
- montažna temperatura – oko 10 °C podjednake oscilacije kod hlađenja i zagrijavanja
- opasne su temperaturne razlike koje nastaju uslijed hidratacijske topline nakon betoniranja

NAD norme HRN ENV 1991-2-5
Zemljovid Hrvatske s najvišim temperaturama zraka



**Promjena najviše temperature $T_{\max,50}$ s
nadmorskom visinom**

Nadmorska visina do (m)	I. područje	II. područje	III. područje	IV. područje
100	39	38	42	39
400	36	36	39	39
800	33	34	36	39
1200	30	32	34	--
1600	28	30	31	--

NAD norme HRN ENV 1991-2-5
Zemljovid Hrvatske s najnižim temperaturama zraka



Promjena najniže temperature $T_{\min,50}$ s
nadmorskom visinom

Nadmorska visina do (m)	I. područje	II. područje	III. područje	IV. područje	V. područje
100	-26	-26	-17	-10	-16
400	-23	-26	-19	-13	-18
800	-20	-26	-21	-17	-19
1200	-17	-26	-23	-20	-21
1600	---	-26	-24	-24	-23
>1600	---	-26	---	-26	-24

Temperaturne promjene kod mostova

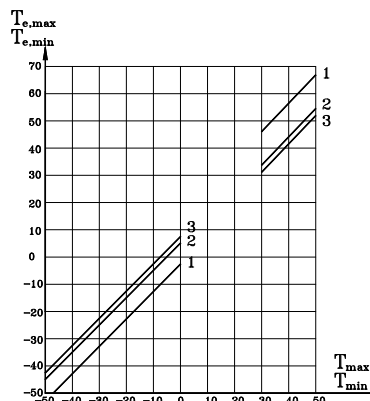
- Reprezentativne vrijednosti toplinskih utjecaja procjenjuju se na osnovi jednolike temperaturne komponente i linearne temperaturne komponente.
- U slučajevima kad se ne mogu propisati sve pojedinosti (npr. spregnute konstrukcije) treba uzeti u obzir nejednoliku raspodjelu temperature.



Jednolika temperaturna komponenta

- državni zemljovid →
- najniže i najviše temperature zraka u hladu ($T_{\max}$, $T_{\min}$) →
- najniže i najviše proračunske temperature mosta ($T_{e,\max}$, $T_{e,\min}$)

- | |
|---|
| • 1: čelična ploča na čeličnom sanduku, rešetki ili punostijenom nosaču |
| • 2: betonska ploča na čeličnom sanduku, rešetki ili punostijenom nosaču |
| • 3: betonska ploča ili bet. kolnička ploča na betonskim nosačima, sanduku ili T-nosačima |



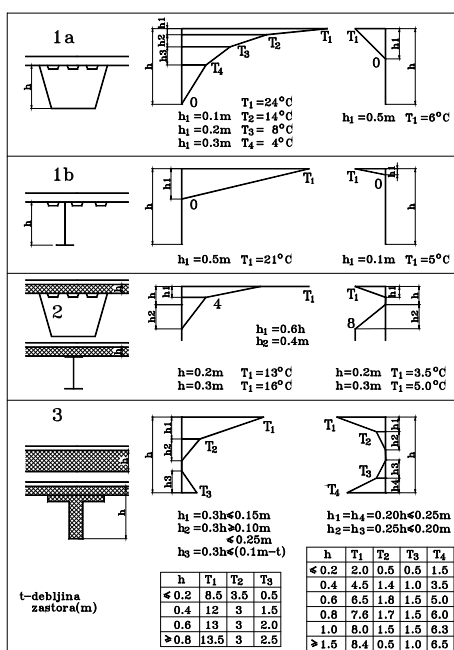
Linearna temperaturna komponenta

Skupne rasponskog sklopa	Pozitivna temperaturna razlika $\Delta T_{M, pos}$ (°C)	Negativna temperaturna razlika $\Delta T_{M, pos}$ (°C)
1: čelična ploča na čeličnom sanduku, rešetki ili punostijenom nosaču	18	– 13
2: betonska ploča na čeličnom sanduku, rešetki ili punostijenom nosaču	15	– 18
3: betonska ploča ili bet. kolnička ploča na betonskim nosačima, sanduku ili T nosačima	10 15 15	– 5 – 8 – 8

za debljinu kolničkog zastora od 50 mm

za ostale debljine vrijednosti se množe faktorom k_{sur}

Nelinearna temperaturna djelovanja- temperaturni profili



1a Čelična kolnička ploča na čeličnim sandučastim nosačima, kolnički zastor 40 mm

1b Čelična kolnička ploča na čeličnim rešetkama ili punostijenim nosačima

2 Betonska kolnička ploča na čeličnim sandučastim ili rešetkastim nosačima ili na punostijenim nosačima, kolnički zastor 100 mm

3 Betonska ploča ili betonska kolnička ploča na betonskim gredama ili sandučastim nosačima, kolnički zastor 100 mm

5.3.7. OPTEREĆENJA ZBOG SVOJSTAVA GRADIVA I STRUKTURA

1. Prednapinjanje

➤ pripada skupini osnovnih opterećenja prednapetih mostova

MOŽE BITI IZAZVANO:

- kabelima za prednapinjanje
- predopterećenjem
- preddeformacijama
- promjenama uvjeta oslanjanja itd.

2. Skupljanje i puzanje

SKUPLJANJE: - smanjivanje volumena betonskih dijelova prilikom stvrdnjavanja

- ako je spriječeno izaziva naprezanja u strukturi
- slično jednolikoj promjeni temperature

PUZANJE: - postepeno povećavanje progiba pod utjecajem dugotrajnog opterećenja

- obuhvaćamo ga analizom djelovanja koje ga izaziva

3. Otpori u ležajevima

- svaki ležaj pa čak i onaj pokretan ima horizontalnu silu
- ta je sila posljedica trenja a ovisi o vertikalnom opterećenju:

$$H_t = k_g \cdot R$$

H_t – sila otpora u pokretnom ležaju
 k_g – koeficijent otpora (ovisi o tipu, materijalu i stanju)
 R – maksimalna reakcija u ležaju

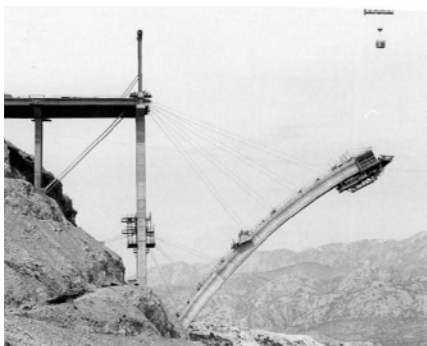
KOEFICIJENT OTPORA:

- otpor trenju(klizni ležajevi) : 30 do 50% ležajne reakcije
- otpor kotrljanju (zakretni ležajevi): 3 do 5% ležajne reakcije

4. Opterećenja od faza građenja

- tijekom građenja mostovi često prolaze nepovoljnija naponska stanja od onih u konačnici

PRIMJERI:



velike konzole kod slobodne konzolne gradnje su osjetljiviji sustavi od gotovih konstrukcija

4. Opterećenja od faza građenja

- tijekom građenja mostovi često prolaze nepovoljnija naponska stanja od onih u konačnici

PRIMJERI:



kod potiskivanja greda može imati znatno veće momente od kontinuiranog sustava u konačnici

DODATNA OPTEREĆENJA TIJEKOM GRAĐENJA MOGU BITI:

- utjecaji od građevnih postrojenja, skela, radionica
- utjecaji montažnih zahvata podizanja i spuštanja podupora, slijeganja skela
- neplanirane sile od netočnosti u izvedbi

ANALIZA DOGAĐAJA TIJEKOM GRAĐENJA NA KOJA SE DIMENZIONIRA STRUKTURA OBUHVAĆA:

- promjene statičkog sustava
- promjene rasporeda i veličine stalnog tereta i opterećenja tijekom građenja
- utjecaje podupiranja, podizanja, spuštanja ili prijenosa dijelova konstrukcije
- utjecaje aktiviranja pojedinih dijelova strukture u različito vrijeme

5.3.8. IZVANREDNA DJELOVANJA

JAVLJAJU SE KAO POSLJEDICE:

- rijetkih prirodnih pojava
- nesreća
- nepredvidivih događaja

MOGU UZROKOVATI:

- velika i katastrofalna opterećenja mostova
- znatna oštećenja
- rušenja dijelova strukture ili čitavih mostova

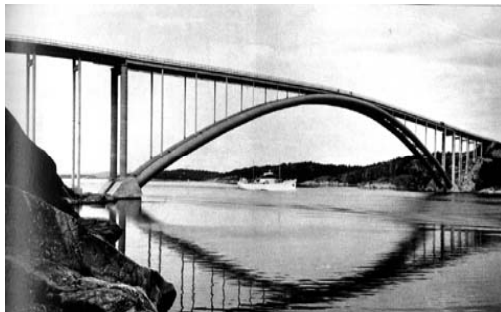
1. Udar vozila i plovila

- u blizini slobodnog profila često se nalaze vitalni dijelovi mosta
- u određenim okolnostima ti dijelovi mosta mogu biti udareni od strane vozila ili plovila
- karakterizira ga kombinacija velike brzine i mase

MJERE PROTIV UDARA:

- odmicanje važnih elemenata konstrukcije od slobodnih profila
- izvođenje odbojnih ograda
- izvođenje dovoljne visine rubnjaka
- dimenzioniranje elemenata na udare – zamjenska sila koja simulira djelovanje udara 18 tonskog kamiona brzine 80 km/h iznosi 1000 kN u smjeru vožnja, a 500 kN okomito na smjer vožnje
- kod željezničkih mostova konstruiraju se vodilice i gusto smješteni pragovi
- plovni putovi – razmiču se nosivi elementi od slobodnih profila ili se konstruiraju zaštitni elementi ili prigušivači udara ispred stupova

PRIMJERI UDARA:



*čelični lučni most Askeröfjord
u Švedskoj srušen zbog udara
plovila u petu luka*

*srušen nadvožnjak
u Njemačkoj zbog
udara kamiona u
središnji stup*



2. Popuštanje oslonaca

➤ posljedica nepredviđenih okolnosti u tlu dovode do nepredviđenih pomaka:

- translacija (horizontalni pomaci)
- slijeganje (vertikalni pomaci)
- zakretanje oslonaca

MOŽE SE DOGODITI:

- u tijeku gradnje ili neposredno nakon nje – jednostavno ispravljivo
- kasnije – uzrokovano nekim drugim razlogom
- postupno
- skokovito
- s tendencijom povećavanja
- s tendencijom smanjivanja

3. Potres

- pojedine građevine (osobito klasične) su dosta dobro otporne na potres dok novije strukture (s visokim pilonima i stupovima) računaju s potresnim opterećenjem kao mjerodavnim

POTRESNO OPTEREĆENJE OVISI O:

- udaljenosti epicentra potresa od građevine
 - položaju mosta u odnosu na smjer širenja potresnih valova
 - vrsti tla te svojstvima temelja mosta
 - težini građevine te razspodjelbi masa
 - svojstvima prigušivanja uzbudnih djelovanja
- područja se dijele na potresne zone s obzirom na maksimalni intenzitet očekivanog potresa
 - svodi se na horizontalnu silu koja djeluje u težištu mase konstrukcije a proporcionalna je masi strukture i koeficijentima potresa, tla i okoliša

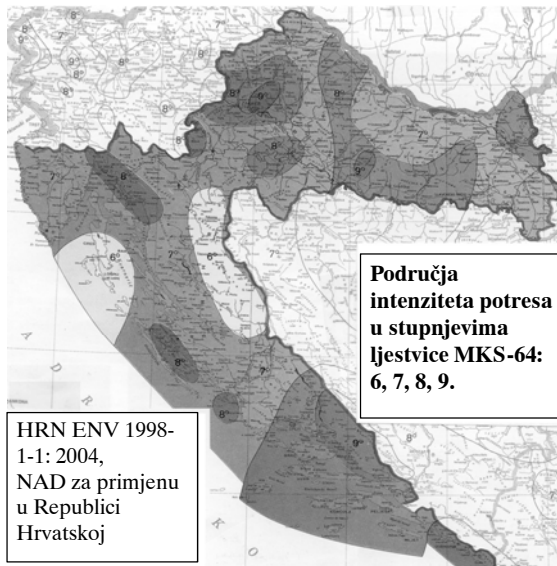
EUROCODE 8:

- predviđa dinamičku metodu uz upotrebu spektra odaziva koja se temelji na modalnoj analizi
- druga (alternativna) metoda je analiza spektralne snage – zasniva se na modalnoj analizi ili primjeni frekventno ovisnih matrica odgovora konstrukcije
- treća (alternativna) metoda je analiza vremenskog odziva – daje proračun vremenskog tijeka odgovora (time-history) konstrukcije i za opterećenje uzima tijekom ubrzanja tla - akcelerogram

POTRESNO DJELOVANJE

- određuje se preko proračunskog ubrzanja tla a_g , koje odgovara povratnom periodu potresa od 500 godina.

Područje intenziteta potresa u stupnjevima ljestvice MKS-64	Proračunsko ubrzanje a_g
6	0,05g
7	0,1g
8	0,2g
9	0,3g
10	Posebna istraživanja



POTRESNO DJELOVANJE

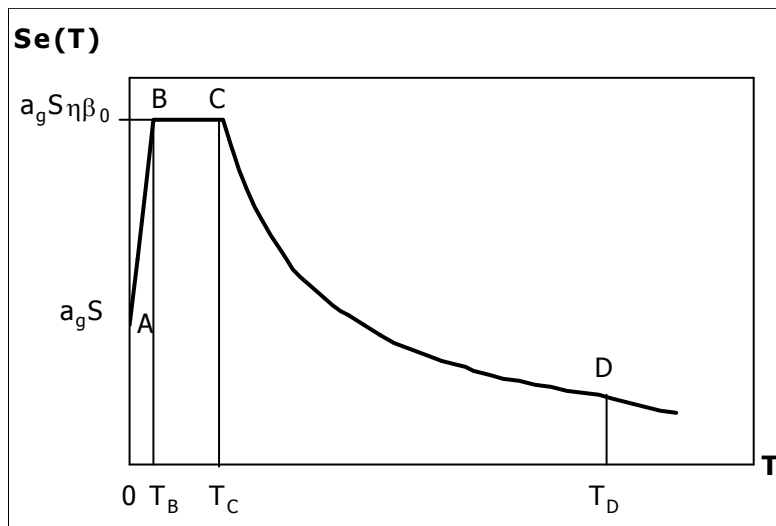
Potresno djelovanje obično se predstavlja s tri komponente.

Horizontalno potresno djelovanje opisuje se dvama okomitim komponentama koje djeluju neovisno, a prikazane su istim spektrom odziva tla, koji se naziva elastični spektar odziva.

Za vertikalnu komponentu potresnog djelovanja dopušta se isti spektar odziva kao i za horizontalno gibanje, ali umanjen faktorom koji ovisno o periodu vibracija iznosi:

- za $T \leq 0,15s$ 0,7,
- za $0,15s < T < 0,5s$ linearna interpolacija,
- za $0,5s \leq T$ 0,5.

Elastični spektar odziva



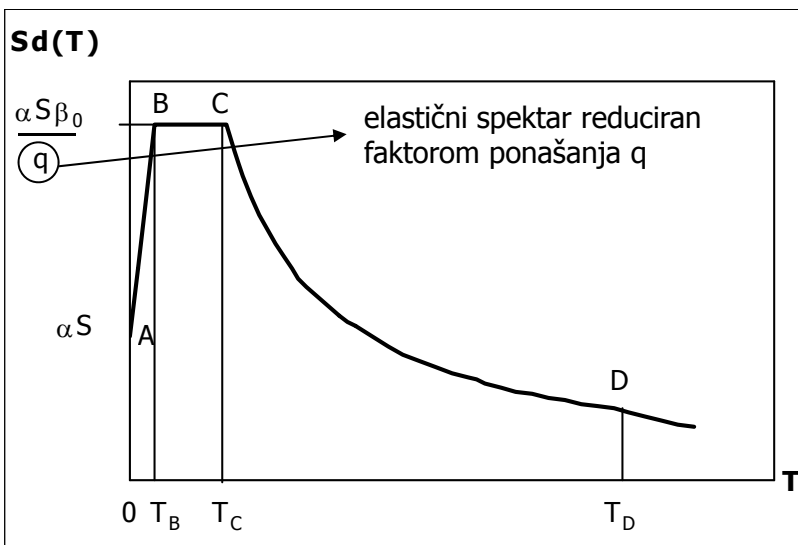
Proračunski spektar odziva

Da bi se izbjegla opsežna nelinearna analiza sustava, uzima se u obzir mogućnost disipacije energije konstrukcije preko duktilnosti njenih elemenata (i drugih nelinearnih učinaka)

koristi se linearna analiza zasnovana na proračunskom spektru odziva, koji je reduciran u odnosu na elastični spektar

duktilne konstrukcije mogu se proračunavati uporabom elastolinearnog modela konstrukcije i reduciranoga proračunskog spektra odziva

Proračunski spektar odziva



Faktor ponašanja

Maksimalne vrijednosti faktora ponašanja koje se mogu rabiti za proračun dviju horizontalnih komponenti djelovanja.

Duktilni elementi	Postelastično ponašanje	
	Ograničeno duktilno	Duktilno
<i>Armiranobetonski stupovi</i>		
Vertikalni stup, savijanje	1,5	3,5
Nagnuti štap, savijanje	1,2	2,0
Kratki jaki stup	1,0	1,0
<i>Upornjaci</i>	1,0	1,0
<i>Lukovi</i>	1,2	2,0

Seizmička kombinacija djelovanja za mostove

$$S_d = S_d \left[\sum_j (G_{k,j}) + \gamma_I A_{Ed} + \sum_{i>1} (\psi_{2i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

Razred važnosti mosta	Opis i namjena mosta	Faktor važnosti mosta γ_I
	Mostovi najvažniji za očuvanje prometa,	

Koeficijenti kombinacije ψ_{2i} u europskoj normi ENV 1998-2

$\psi_{2i} = 0,2$ cestovni mostovi s intenzivnim prometom

$\psi_{2i} = 0,0$ mostovi s uobičajenim prometom ili pješački mostovi

$\psi_{2i} = 0,3$ željeznički mostovi s intenzivnim prometom

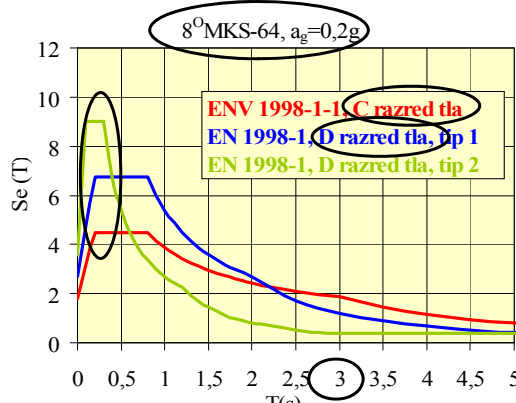
	Mostovi koji nisu nužni za promet i za koje	
--	---	--

Prema NAD za primjenu HRN ENV 1998-2

$\psi_{2i} = 0,0$ za sve mostove

	projektirano trajanje mosta.	
--	------------------------------	--

Usporedba elastičnih spektara



Preklapanje tipova tla

Kod malih perioda vibracija vrijednosti elastičnog spektra prema EN 1998-1 su veće

Za period osciliranja $T=3,0$ s vrijednosti elastičnog spektra su 50% manje, ako se koristi EN 1998-1 i tip 1, a do 300% manje uz tip 2.

5.4. DINAMIČKI UTJECAJI

- u najvećem broju slučajeva se s dovoljnom sigurnošću utjecaj dinamičkog djelovanja može izraziti faktorom kojim se množe veličine odgovarajućih statičkih djelovanja

$$P = P_0 \cdot k_d$$

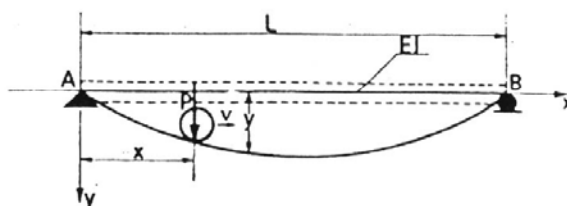
P - stvarno opterećenje na mostu

P_0 - mirno opterećenje na mostu

k_d - dinamički faktor (1,0 – 2,0)

- napredak u prometu (veće brzine, težine, učestalosti) uvjetuje cjelovitije obuhvaćanje dinamičkih pojava

- S.P. Timošenko – analizi pristupa šire govoreći o utjecaju pokretnih tereta na mostove a ne samo na prostu gredu, i o vibracijama mostova



djelovanje pokretnog tereta na gredi prema Timošenku

POJAČANI UTJECAJI TERETA U POKRETU SU PREMA TIMOŠENKU UVJETOVANI:

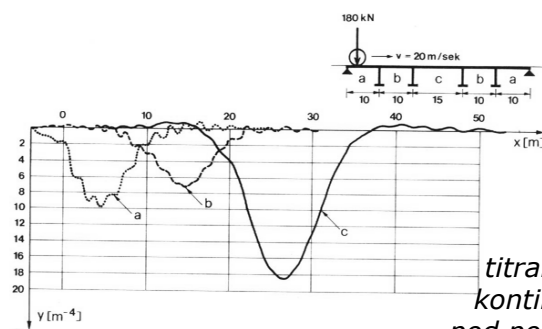
- utjecajima pokretne mase koja se kotrlja bez trenja
- udarnim efektom kontra-tereta pogonskih kotača lokomotive
- udarnim efektom od netočnosti na prometnoj podlozi ili na kotačima.

Timošenko zaključuje da djelovanjem pokretnih tereta može doći do povećanja progiba i do 80%!

5.4.2. OBILJEŽJA I POSLJEDICE DINAMIČKOG DJELOVANJA POKRETNIH TERETA

a) Utjecaj vremenske promjenjivosti opterećenja

- svako pokretno opterećenje karakterizira brzina nailaska v
- današnje prometne prilike podrazumijevaju trenutne nailaske opterećenja – primjer proste grede – trenutno opterećenje u sredini raspona uvjetuje dvostruko veći progib od istog statičkog
- u stvarnosti – povećanje progiba se kreće u granicama faktora 1-2



*titranje i progibanje
kontinuiranog nosača
pod pokretnim teretom*

b) Masa i raspored mase prometala i mosta

RAZLIKUJEMO:

- kontinuirano pokretno opterećenje
- koncentrirano pokretno opterećenje
- pokretno opterećenje konstantnog iznosa prisutno u duljem periodu
- različita opterećenja po slijedu i iznosu

MOGUĆA RITMIČKA OPTEREĆENJA – OPASNOST OD REZONANTNIH POJAVA:

- ritmičko opterećenje pješacima
- ritmičko opterećenje uslijed nailazaka vozila ili pojedinih osovina u određenom slijedu
- ritmičko opterećenje uslijed pulzirajućih tereta i sličnih obilježja vozila (ekscentričnost zamašnjaka) i drugo

- pojava izvanrednih prelazaka i vozila velike mase – potrebno organizirati specijalni režim prelaženja

SVOJSTVA MOSTOVA KOJA POJAČAVAJU ILI PRIGUŠUJU DINAMIČKE UTJECAJE:

- masa i raspored mase mosta, apsolutno i kroz odnos stalnog tereta naspram pokretnom
- gradivo od kojeg je most izgrađen
- tip konstrukcije i povezanost njenih dijelova
- veličina i slijed raspona
- neravnosti na prometnoj podlozi i općenito obilježja prometne podloge
- prisutnost određenih dodatnih uređaja, prigušivača i dr.

DVIJE GRUPE POSLJEDICA DINAMIČKIH UTJECAJA:

- s gledišta mosta
- s gledišta prometa

DINAMIČKI FAKTOR S GLEDIŠTA MOSTA OBUHVAĆA:

- odnos unutarnjih sila u sklopu za pokretna opterećenja i ista takva u statičkom smislu
- odnos dinamičkih i statičkih naponskih stanja u kritičnim dijelovima
- odnos progiba za mirna opterećenja i dinamička opterećenja
- izraženost i značenje vibracija i titranja od pokretnih opterećenja:
 - mogućnost njihovog prigušenja
 - odnos prirodne frekvencije mosta i uzbudnog djelovanja

→ NAJČEŠĆE SE KORISTI!

5.4.3. SADRŽAJ IZRAZA ZA DINAMIČKI FAKTOR

PREMA PTP PROPISIMA:

$$k_d = 1 + \frac{550 + 5L}{100(10 + L)} \quad - \text{ sa } k_d \text{ se množi opterećenje na kolniku}$$

PREMA DIN-u:

$$k_d = 1,4 - 0,008 \cdot L[m] \quad (k_{d \min} \geq 1)$$

- sa k_d se množi opterećenje glavnog traka

PREMA ENV-3 (EN 1991-2):

- dinamički je faktor uključen u zadane veličine za sve sheme opterećenja

5.4.3. SADRŽAJ IZRAZA ZA DINAMIČKI FAKTOR

DINAMIČKI FAKTOR SE UVEĆAVA ILI SMANJUJE U SLUČAJEVIMA:

- željezničkih mostova bez provedene posteljice
- cestovnih mostova s neravnom plohom kolnika
- postojanja nadsloja u strukturi mosta
- mostova s trajno velikim prometom

5.4.4. ISHODIŠTA DINAMIČKIH POJAVA I UTJECAJI NA DINAMIČKI FAKTOR

NA DINAMIČKI FAKTOR UTJEČU SLIJEDEĆI ČINITELJI:

- utjecaj veličine raspona
 - obuhvaća veličinu raspona, aritmetičku sredinu raspona, širinu prometne plohe mosta
 - dinamički faktor je toliko manji koliko je raspon veći ili prometna ploha šira
 - povećanje titranja je značajnije kod manjih raspona 10-30 m
- utjecaj odnosa stalnog i pokretnog tereta
 - dinamički utjecaji su veći što je veći odnos pokretnog i stalnog tereta veći
 - postojanje punog pomosta ili nadsloja – doprinos ovog faktora je zanemariv ili potpuno iščezava

5.4.4. ISHODIŠTA DINAMIČKIH POJAVA I UTJECAJI NA DINAMIČKI FAKTOR

NA DINAMIČKI FAKTOR UTJEČU SLIJEDEĆI ČINITELJI:

- utjecaj brzine prelaženja
 - maksimalno dopuštena brzina, brzina s najvećim brojem prelazaka, brzina pri kojoj može doći do rezonantnih pojava, brzina teških vozila
- mogućnost pojačavanja titranja i rezonantnih pojava
 - uzbudna frekvencija vrlo bliska prirodnoj frekvenciji nosivog sklopa – pojačavanje dinamičkih utjecaja
- utjecaj na uvjete prelaženja
 - poprima veću vrijednost što su utjecaji pokretnosti tereta na uvjete prelaženja veći

5.5. DEFORMACIJE

UZROCI DEFORMACIJA MOGU BITI U:

- različitim djelovanjima i pojavama u gradivu i strukturi (prednapinjanje, skupljanje, puzanje ...)
 - posljedicama postupaka izvođenja
 - djelovanjima korisnog opterećenja
 - djelovanju vjetra
 - utjecajima drugih prirodnih pojava
- deformacije se mogu svrstati u određene kategorije na osnovu apsolutnih i relativnih iznosa, vremenske zavisnosti, učestalosti, ponavljanja, svojstava konstrukcija i sustava gdje se javljaju...

PODJELA DEFORMACIJA

S OBZIROM NA ZAHTJEVE PROMETA:

- neosjetljive za sve sudionike u prometu
- osjetljive samo za neke sudionike u prometu
- općenito osjetljive ali podnošljive
- neugodne
- nepodnošljive za neke sudionike u prometu
- nepodnošljive za sve sudionike u prometu

S OBZIROM NA NOSIVE KONSTRUKCIJE:

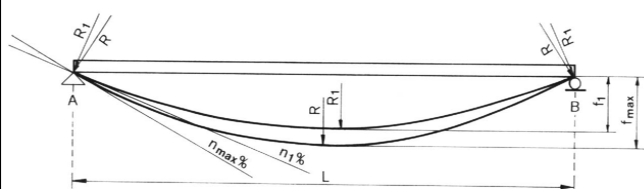
- neprimjetne
- jedva primjetne i povratne
- značajne iz estetskih razloga
- one koje izazivaju oštećenja
- one koje uvjetuju gubitak funkcionalnosti
- katastrofalne

- deformacije mogu utjecati i na sudionike u prometu stvarajući psihološke utjecaje opasne za sigurnost u prometu a beznačajne za sigurnost samog sklopa

DOPUŠTENI PROGIBI OVISNO O PROMETU I GRADIVU MOSTA:

VRSTA MOSTA	GRADIVO	MAX. PROGIB
cestovni		$L/500$
željeznički	S 235	$L/900$
željeznički	S 355	$L/700$

DOPUŠTENI PROGIBI OVISNO O DEFORMACIJI NIVELETE:



CESTOVNI MOSTOVI:
 $R > 2000m$

ŽELJEZNIČKI
MOSTOVI:
 $n_{max} = 2,5\%$

DOPUŠTENI PROGIBI S OBZIROM NA FUNKCIONIRANJE MOSTA:
- lokalni nagibi i lokalne zakrivljenosti koji se direktno odražavaju na uvjete prelaženja

UTJECAJNI FAKTORI OČITOVANJA DEFORMACIJA U KONSTRUKCIJAMA:

- maksimalni progib (apsolutni i relativni)
- maksimalni kut nagiba tangente nivelete
- polumjer zakrivljenosti progibne linije (globalni i lokalni)
- utjecaji elastičnih i plastičnih svojstava gradiva i sklopa
- događaji u vremenu kad je teret (odnosno tereti) na konstrukciji
- događaji u vremenu kad tereti napuste konstrukciju
- rezonanca
- interferencija

OSOBI NE DEFORMACIJA OVISE O:

- statičkom sustavu sklopa
- tipu i gradivu konstrukcije
- rasponu i slijedovima raspona nosača
- gipkosti i momentima tromosti
- spljoštenosti
- eventualnim posljedicama postupaka građenja
- uvjetima tla i oslanjanja
- promjenama klimatskih okolnosti

OGRANIČENJE DEFORMACIJA SE ANALIZIRA S OBZIROM NA:

- zahtjeve konstrukcije - izbjegavanje deformacija koje mogu izazvati gubitak stabilnosti sustava ili elemenata ili pojavu pukotina
- propisima su obuhvaćeni u GSU struktura
- zahtjeve upotrebne vrijednosti mosta - stroži, mjerodavniji
- uvjeti prelaženja što sličniji onima izvan mosta

UVJETI PRELAŽENJA MORAJU BITI:

- optimalni u svim prilikama koje mogu nastupiti u prometu
 - takvi da što manje ograničavaju mogućnosti prometa
 - što sličniji dijelovima prometnice na otvorenom
 - što ujednačeniji po dužini mosta
 - što manje ovisni o raznim okolnostima u upotrebi
- uvjeti prelaženja se na razne načine odražavaju na razne sudionike u prometu – zato se promatraju srednje vrijednosti
- prelaženje u specijalnim slučajevima – mogu ostaviti trajan trag na mostu pa je ponekad potrebno analizirati i takve slučajeve

