

Podjela opterećenja mostova

TEMPERATURA

Vrijednosti dejstava temperature na mostove zavise od: klimatskih uslova na lokaciji (dnevne i sezonske promjene temperature vazduha, snaga sunčevog zračenja), položaja mosta u prostoru, vrste materijala, tipa poprečnog presjeka i završne obloge konstrukcije (izolacije, zastori i sl.)

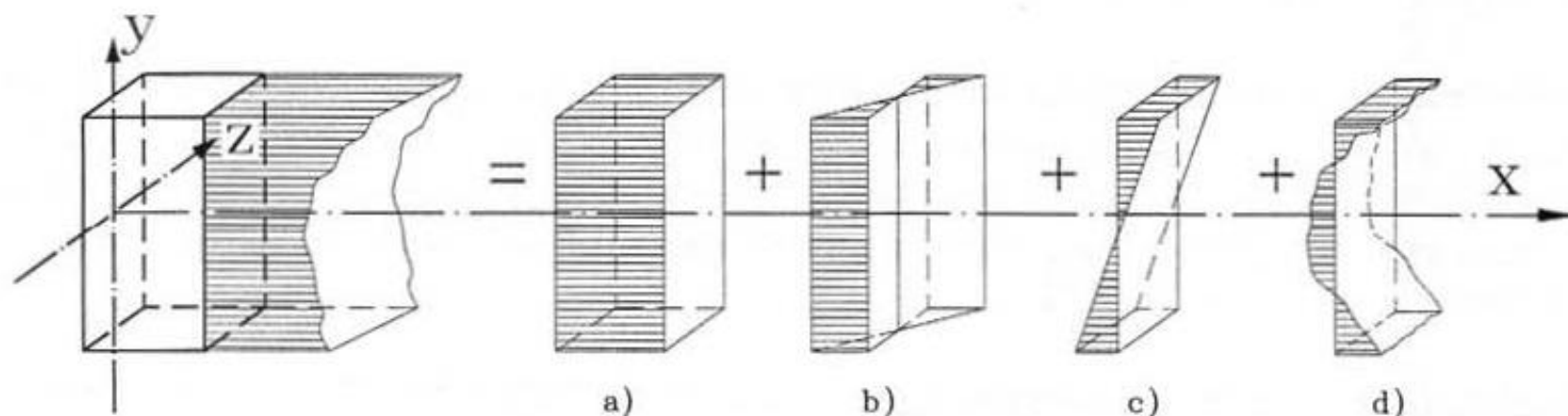
Položaj mosta na lokaciji može biti takav da je jedan dio konstrukcije izložen zagrijavanju i hlađenju, dok drugi stalno ostaje u sjenci. Ili što je još češće, kako sunce stalno mijenja položaj tokom dana određeni dijelovi mosta su izloženi jačem zagrijavanju (npr. kod mostova orijentacije sjever-jug, ljeti se jako zagrijava glavni nosač kojeg ogrijava sunce zapadu).

Uspljed dejstva temperature mijenja svojstvo materijala je da mijenja zapreminu (širi se ili skuplja), a ako je ova promjena spriječena ona se na mostovima ogleda kao opterećenje.

Promjena temperature po visini ili širini elementa dovodi do njegove deformacije, odnosno do naprezanja. Elemente konstrukcije projektujemo tako da naprezanja ne prekoračuju čvrstoće materijala, a što se postiže uzimajući u obzir dejstva temperature prilikom projektovanja mostova i/ili predviđanjem dilatacija.

Europske norme dijele temperature između pojedinih konstrukcijskih elemenata u četiri osnovne komponente:

- jednolika komponenta temperature ΔT_N
- linearno promjenjiva temperaturna komponenta u odnosu na os z-z, ΔT_{Mz}
- linearno promjenjiva temperaturna komponenta u odnosu na os y-y, ΔT_{My}
- nelinearno promjenjiva temperaturna komponenta, ΔT_E .



Crnogorski – YU propisi

Jednolika promjena temeprature (tablica 42.) izaziva promjenu duljine promatranog dijela mosta:

$$\Delta L = k_t \cdot t \cdot L$$

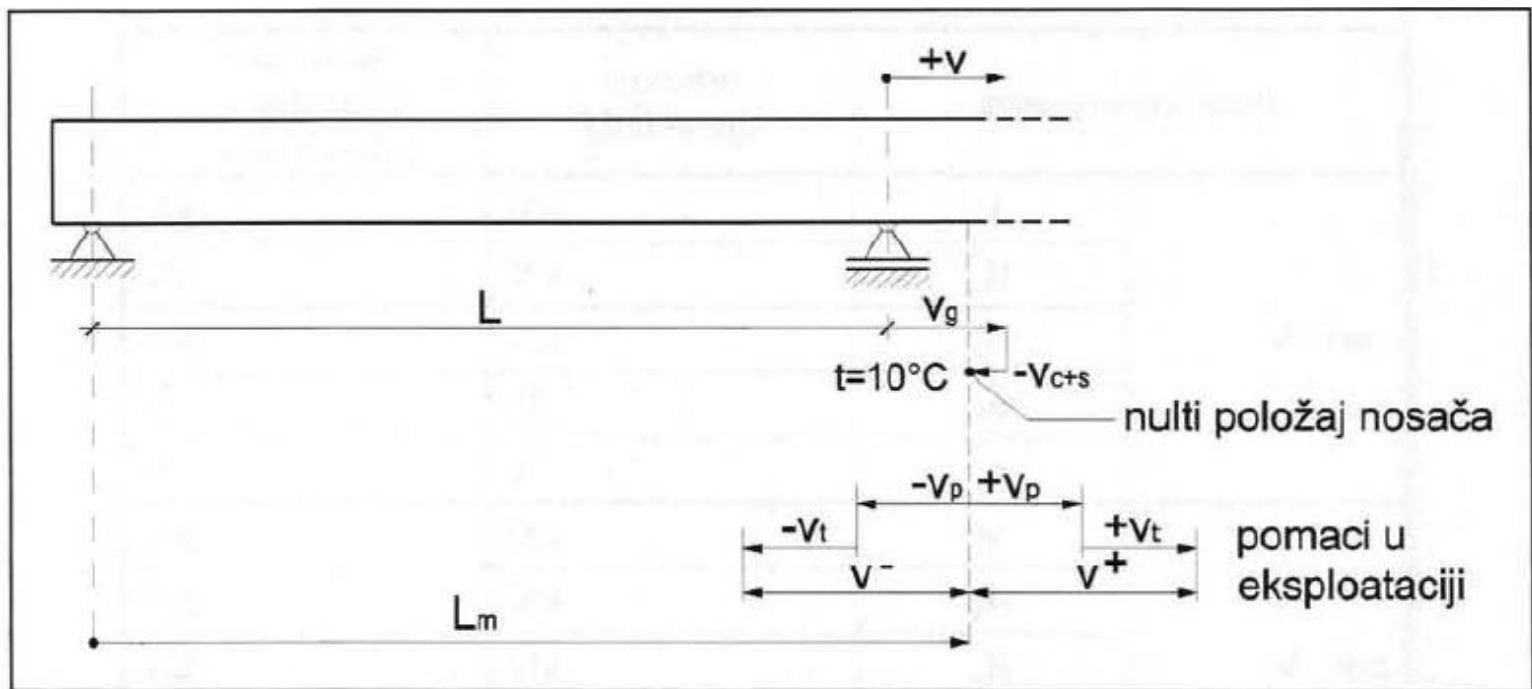
- k_t – koeficijent temperaturne promjene (za 1°C),
beton 0,000010, čelik 0,000012
- L – duljina promatranog dijela

Tablica 42. Jednolika promjena temperature prema Pravilniku

<i>t</i> – jednolika promjena temperature (°C)	Najviša temperatura	Referentna temperatura	Najniža temperatura	Promjena temperature
metali i spregnuti materijali	+ 45	+ 10	- 25	± 35
beton (armirani i prednapeti)	+ 35	+ 10	- 15	± 25

Nejednolika promjena temeprature prema Pravilniku

<i>nejednolika promjena temperature</i> (°C)	Temperaturna razlika
beton (armirani i prednapeti)	10
spregnute konstrukcije	15



Nulti položaj nosača - određivanje pomaka za centriranje ležaja

Oznake:

L - teoretska duljina

L_m - srednja duljina nosača u eksploataciji

v_g - pomak uslijed djelovanja vlastite težine

v_{c+s} - pomak uslijed djelovanja skupljanja i puzanja u vremenu $t=\infty$

v_p - pomak uslijed djelovanja prometnog opterećenja

v_t - pomak uslijed jednolikog djelovanja temperature

v^+ , v^- - računski pomaci za dimenzioniranje pomičnih dijelova ležaja

Evropske norme

Kolovozne ploče se grupišu zavisno od vrsti poprečnog presjeka rasponske konstrukcije u:

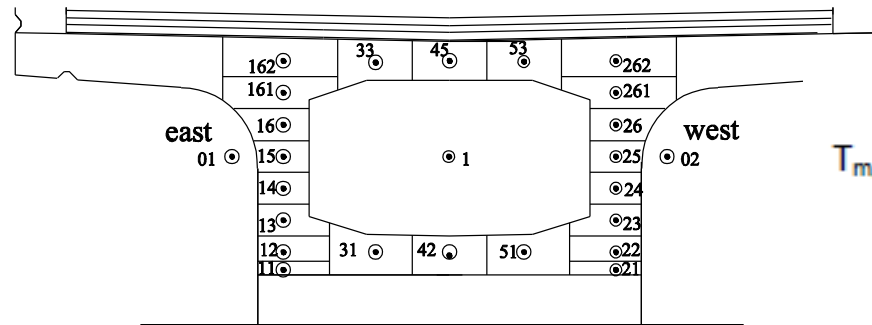
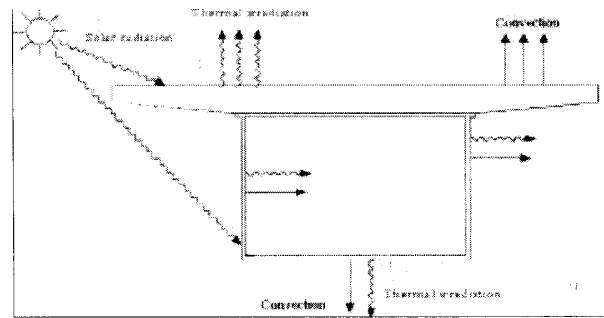
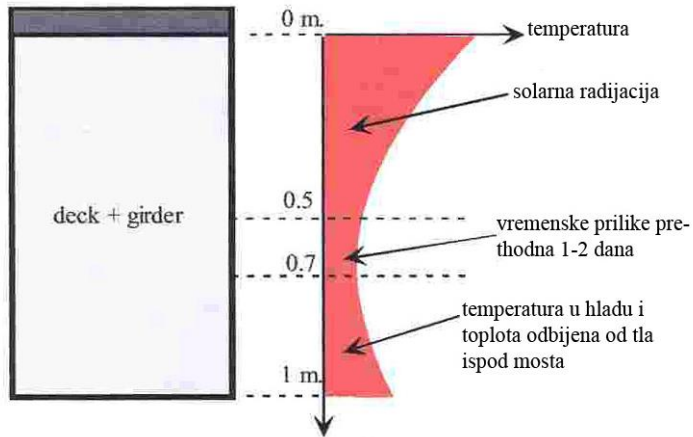
1. Čelična kolovozna ploča na čeličnim sandučastim nosačima, rešetkastom ili profilisanom nosaču;
2. Betonska kolovozna ploča na čeličnim sandučastim ili rešetkastim nosačima ili na profilisanim čeličnim nosačima;
3. Betonska ploča ili betonska kolovozna ploča na betonskim gredama ili sandučastim nosačima.

Temperaturni profil se posmatra na pojednostavljen način i pretpostavlja se da temperatura na konstrukciju djeluje sa dvije komponente temperaturnog profila: kao **uniformna temperatura i kao temperaturna razlika.**

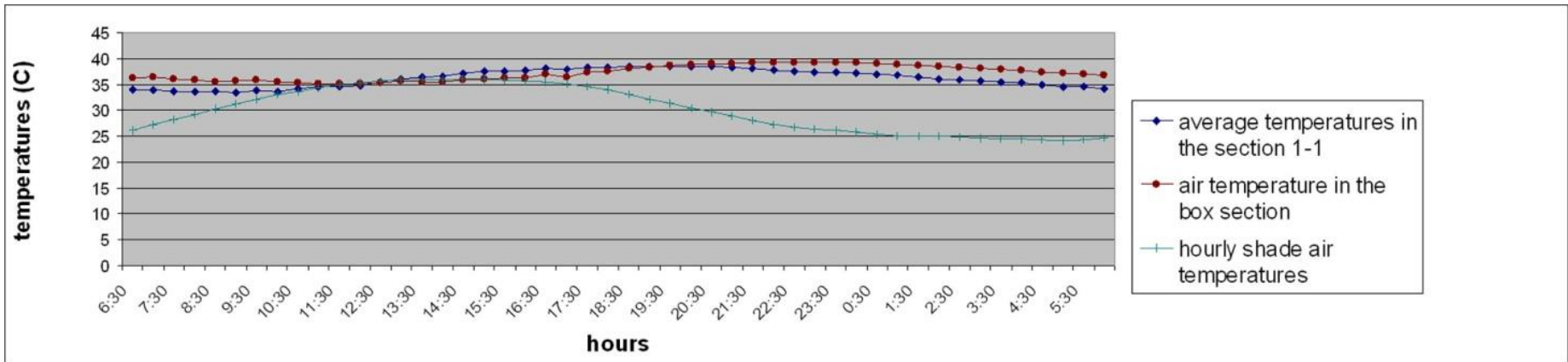
Uniformna kompenenta temperature u mostu djeluje kao efektivna temperatura unutar poprečnog presjeka i u propisima se definiše u zavisnosti od minimalne i maksimalne temperature vazduha u hladu za povratni period od 50.god, referente vrijednosti se daju na otvorenom prostoru, na nivou mora.

Države, za svoju teritoriju izrađuju svoje karte izoterma u kojima se definišu maksimalne i minimalne vrijednosti vazduha u hladu.

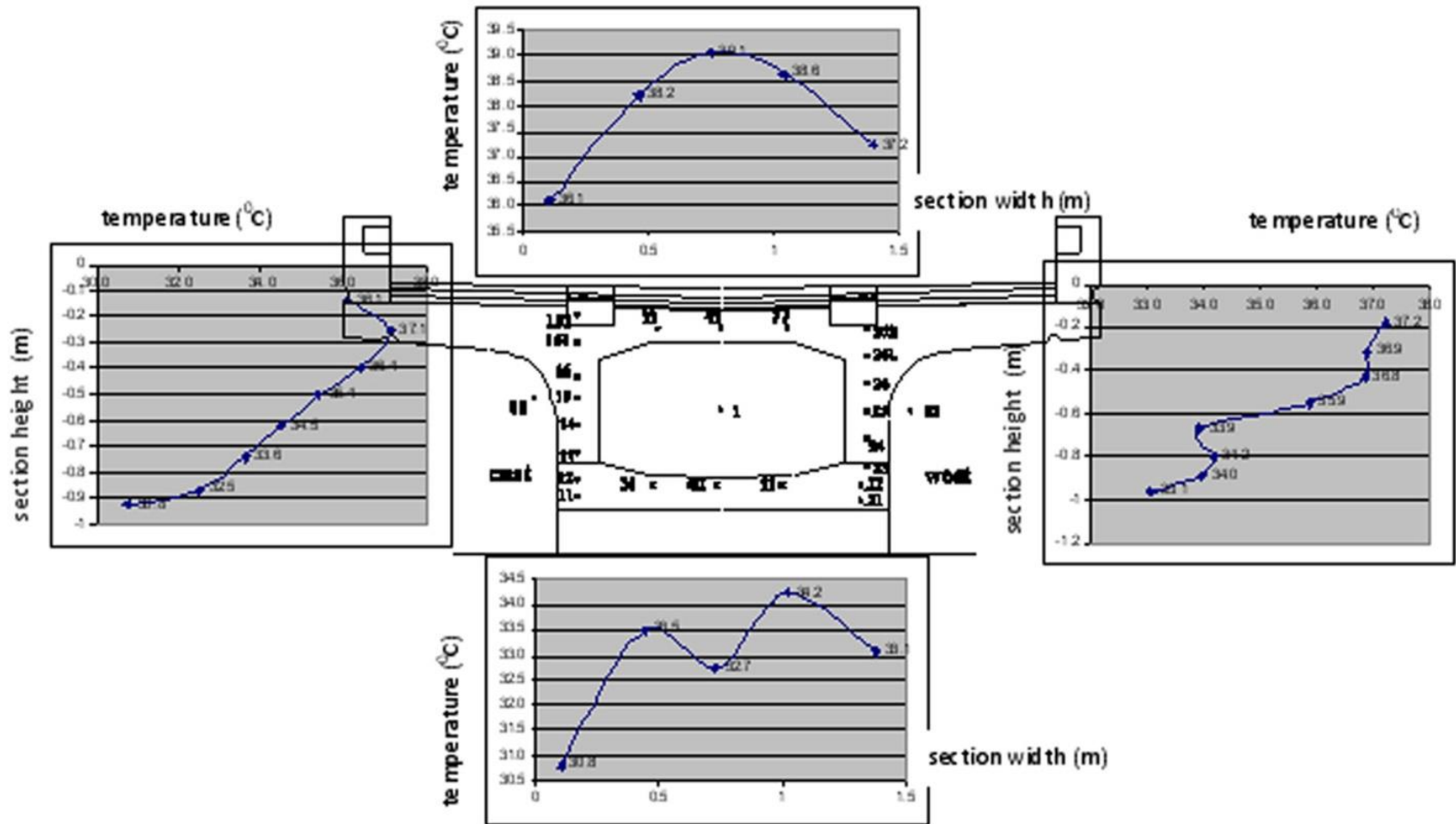
Distribucija temperature



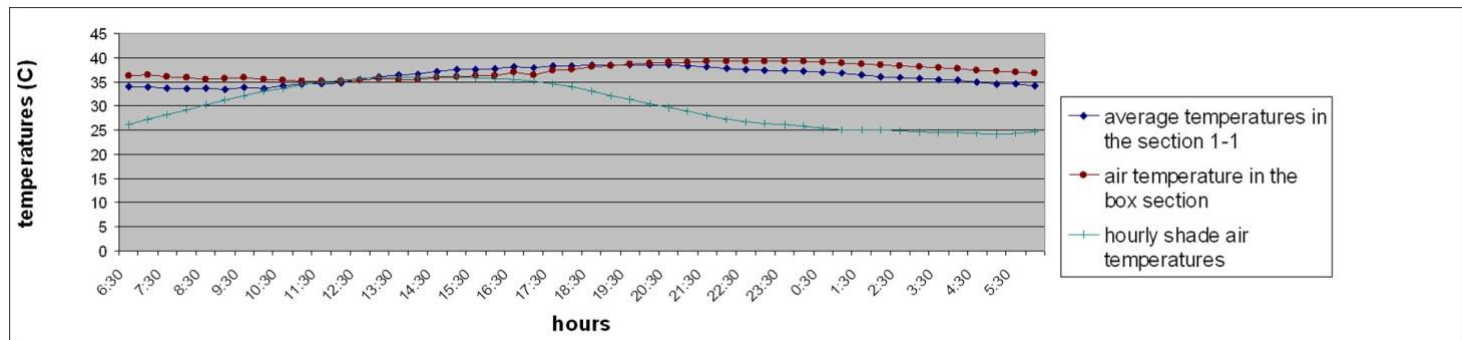
$$T_{m,c} = \frac{\sum A_i T_i}{A}$$



Uticaj temperature na mostove – utvrđeno mjerenjima na mostu



Temperature registrovane u poprečnom presjeku 1-1, mjerenja od 23.06.2007. u 3:00



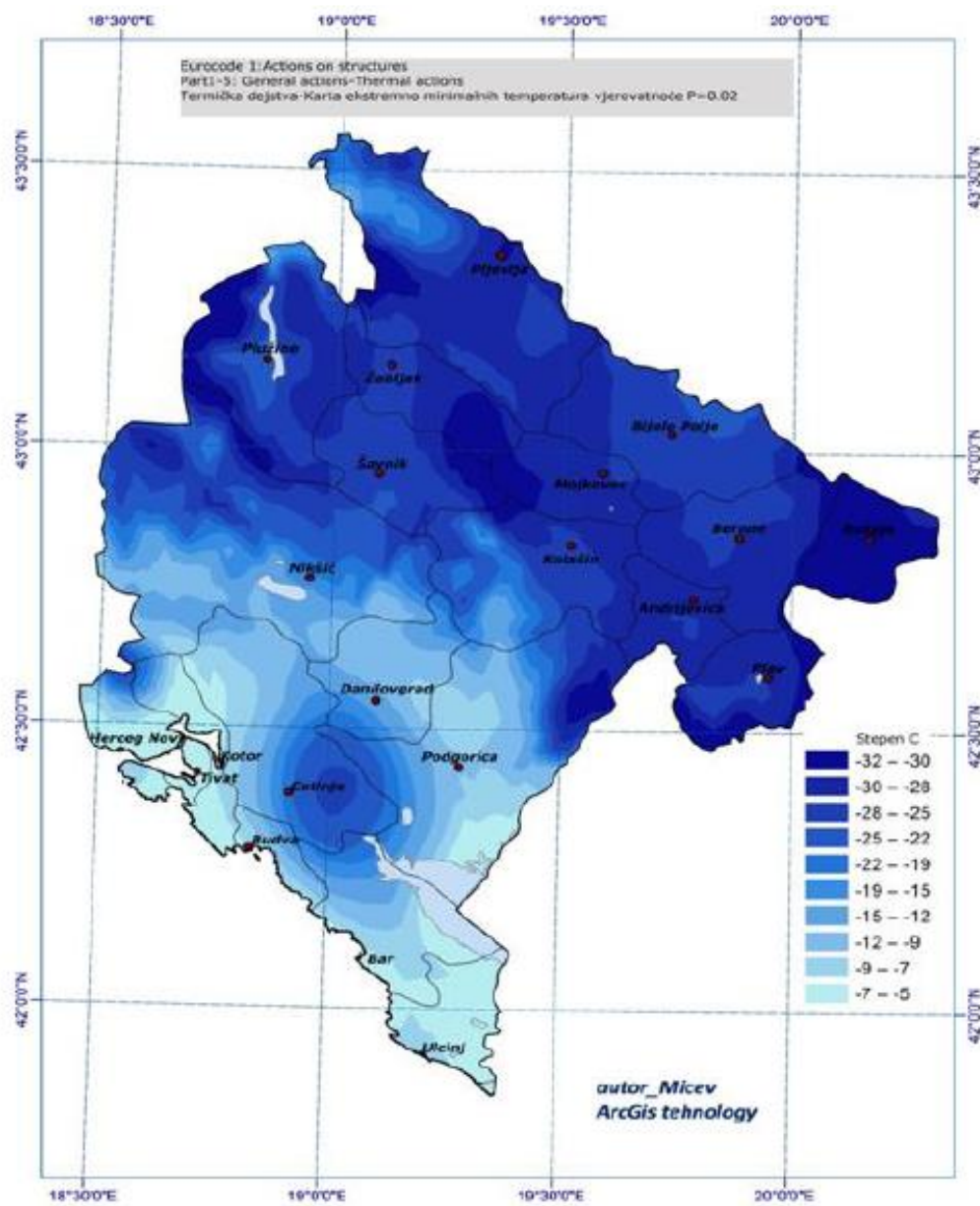


Slika 1: Karta Crne Gore sa granicom zona 1 i 2

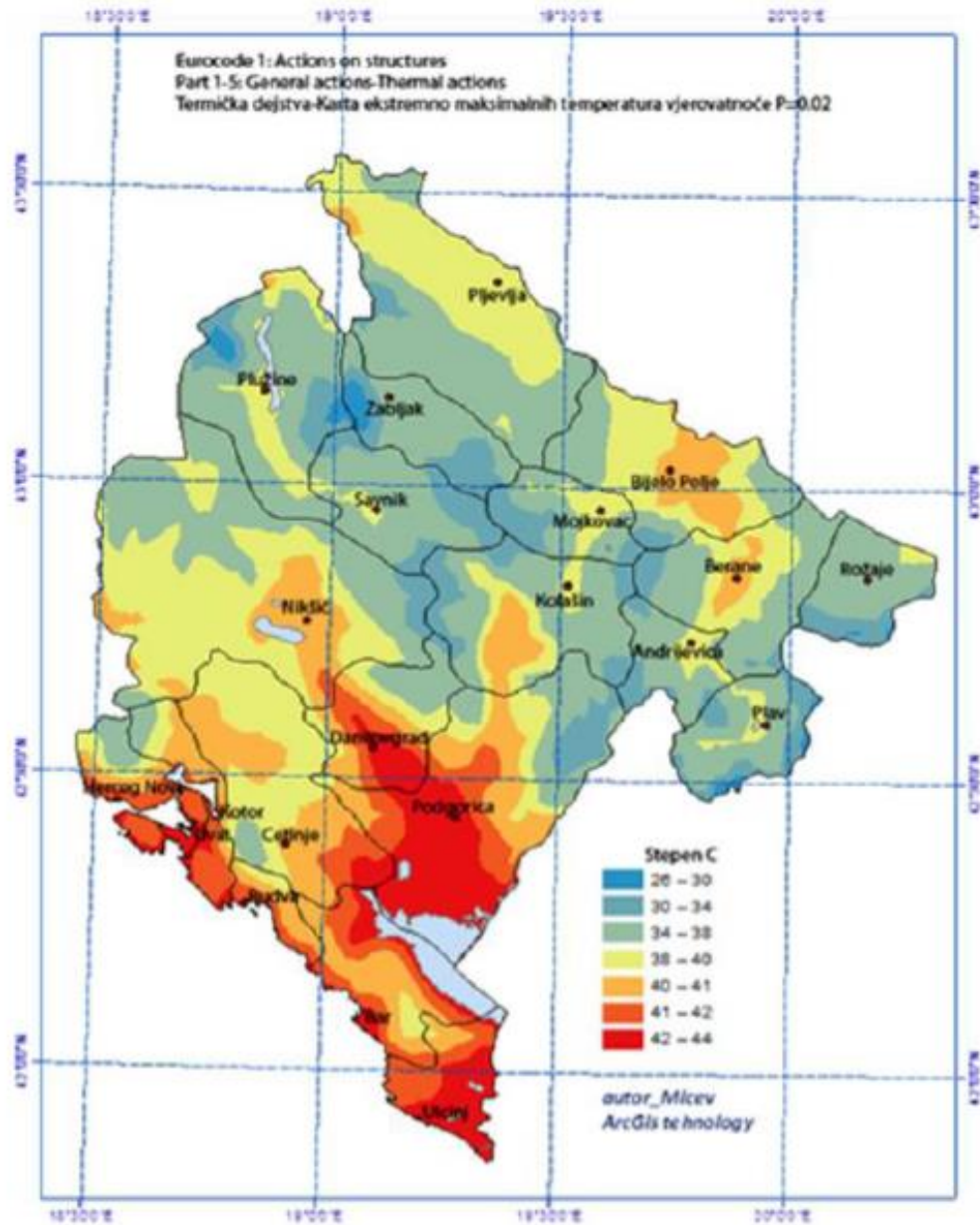
Zona 1, obuhvata oblast primorja i planinsko zaledje

Zona 2, je kontinentalni dio Crne Gore

Granica-linija koja odvaja zonu 1 i zonu 2 prati planinski greben izmedju primorja i kontinentalnog dijela Crne Gore



Slika 2. Mapa ekstremno minimalnih (T_{min}) temperatura vjerovatnoće realizacije $P=0.02$



Slika 3. Mapa ekstremno maksimalnih temperatura (T_{max}) vjerovatnoće realizacije $P=0.02$

Tabela 1. Proračunate minimalne temperature vazduha (T_{min}) u hladu

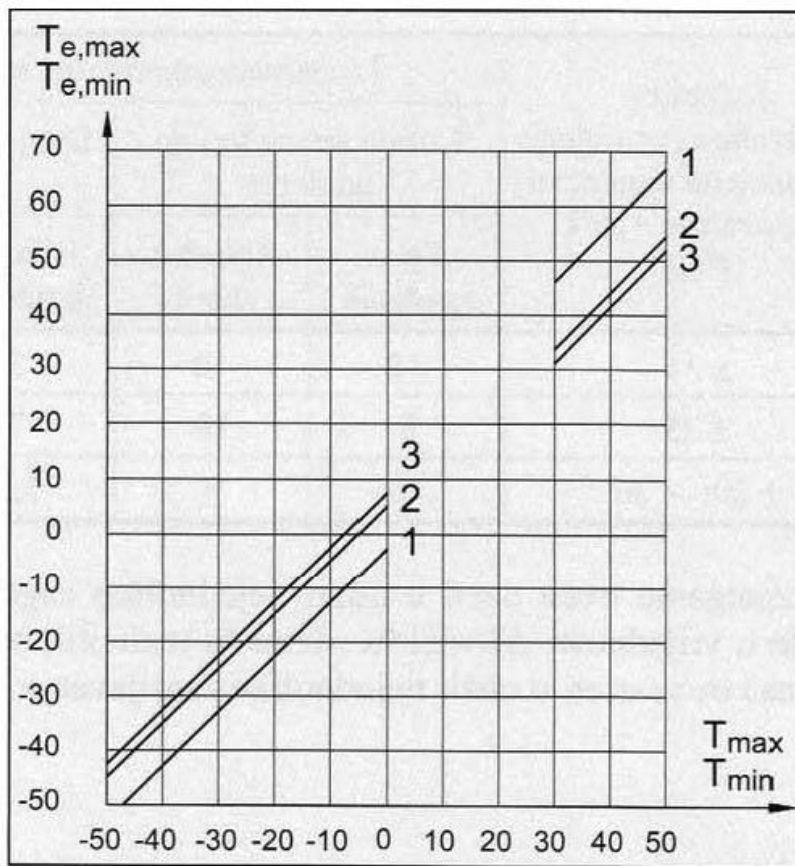
Ekstremno minimalne temperature (T_{min}) vjerovatnoće realizacije $P=0.02$ po gradovima				
	Lokacija-grad	Nadmorska visina	T_{min}	Zona
1	Rožaje	1007	-32.2	2
2	Pljevlja	784	-30.4	2
3	Berane	691	-27.7	2
4	Plav	933	-27.7	2
5	Grahovo	695	-27.5	2
6	Kolašin	944	-27.5	2
7	Žabljak	1450	-26.8	2
8	Bijelo Polje	606	-26.5	2
9	Velimlje	833	-23.9	2
10	Cetinje	640	-23.6	2
11	Krstac	1017	-21.8	2
12	Crkvice	937	-20.3	2
13	Nikšić	647	-17.5	2
14	Virpazar	14	-14.1	2
15	Danilovgrad	53	-13.2	2
16	Golubovci/Airport	33	-11.1	2
17	Podgorica	49	-10.2	2
18	Ulcinj	29	-8.8	1
19	Tivat	5	-7.9	1
20	Herceg Novi	10	-7.1	1
21	Bar	5	-7.0	1
22	Budva	2	-6.6	1
23	Kotor	2	-4.8	1

Tabela 3. Proračunate maksimalne temperature vazduha (T_{max}) u hladu

Ekstremno maksimalne temperature (T_{max}) vjerovatnoće realizacije $P=0.02$ po gradovima			
Lokacija-grad	Nadmorska visina	T_{max50}	Zona
	[m]	°C	
Podgorica	49	43.9	2
Danilovgrad	53	43.5	2
Berane	691	40.8	2
Kotor	2	40.7	1
Ulcinj	29	40.4	1
Cetinje	640	40.2	2
Nikšić	647	40.1	2
Herceg Novi	10	39.9	1
Tivat	5	39.8	1
Bijelo Polje	606	39.7	2
Andrijevica	772	39.7	2
Plav	933	39.7	2
Pljevlja	784	39.5	2
Mojkovac	835	39.3	2
Plužine	780	38.8	2
Budva	2	38.6	1
Šavnik	825	38.5	2
Rožaje	1007	37.9	2
Kolašin	944	37.7	2
Bar	5	37.4	1
Žabljak	1450	33.8	2

Osim karti izotermi države dijele teritorije na klimatske zone, a onda za svaku klimatsku zonu uvode jednačinu u skladu sa kojom se vrši korekcija minimalnih i maksimalnih temperatura u hladu u zavisnosti od nadmorske visine lokacije mosta.

Efektivne temperature u betonu se zatim određuju iz dijagrama koji slijedi.



Odnos temperature u hladu i temperature mosta

Karakteristična maksimalna vrijednost temperature koja djeluje na most i izaziva skupljanje konstrukcije dobija se iz jednačine (1):

$$\Delta T_{N, \text{con}} = T_0 - T_{e, \text{min}} \quad (1)$$

Karakteristična maksimalna vrijednost temperature koja djeluje na most i izaziva širenje konstrukcije dobija se iz jednačine (2):

$$\Delta T_{N, \text{exp}} = T_{e, \text{max}} - T_0 \quad (2)$$

gdje su:

$T_{e, \text{min}}$ – minimalna uniformna komponenta temperature

$T_{e, \text{max}}$ - maksimalna uniformna komponenta temperature

T_0 – temperatura zatvaranja konstrukcije

Temperaturu zatvaranja konstrukcije, T_0 , ako je moguće predvidjeti period zatvaranja konstrukcije, treba uzeti prema temperaturama koje dominiraju u periodu monolitizacije konstrukcije. Ako nije poznat period kada će konstrukcija biti monolitizovana uzima se da je $T_0=10^{\circ}\text{C}$.

Temperaturne razlike – vertikalna komponenta

Propis EN 1991-1-5 definiše temperaturne razlike na dva načina: samo **kao linernu temperaturnu promjenu** od vrha do dna konstrukcije (za mostove jednostavne geometrije) ili **kao vertikalnu promjenu temperature po dubini presjeka u koju su uključene i nelinearne promjene** prouzrokovane solarnom radijaciom i odbijenim zračenjem od tla i okolnih objekata.

Linearno promjenljiva komponenta

Linearno promjenljiva temperaturna komponenta izazvana je zagrijavanjem ili hlađenjem gornje površine mosta što dovodi do najviših pozitivnih temperaturnih promjena (gornja površina toplija) i do najviših negativnih temperaturnih promjena (donja površina toplija). Vrijednosti pozitivne i negativne linearne temperaturne razlike između gornje i donje ivice rasponske konstrukcije date su u tabeli za debljinu kolovoznih zastora od 50 mm.

Tip kolovozne konstrukcije	Gornja površina toplija od donje	Donja površina toplija od gornje
	$\Delta T_{M,heat}$ (° C)	$\Delta T_{M,cool}$ (° C)
Tip 1: Čelična kolovozna konstrukcija	18	13
Tip 2: Spregnuta kolovozna konstrukcija	15	18
Tip 3: Betonska kolovozna konstrukcija:		
- sandučasti nosač	10	5
- betonska ploča na gredama	15	8
- samo betonska ploča	15	8

Za debljinu kolovoznog zastora različite od 50 mm vrijednosti karakterističnih temperaturnih razlika se množe faktorom uticaja k_{sur} za betonske, čelične i spregnute mostove u skladu sa vrijednostima iz tabele.

Drumski, pješački i željeznički mostovi						
Debljina kolovoznog zastora	Tip 1		Tip 2		Tip 3	
	Gornja površina toplija od donje	Donja površina toplija od gornje	Gornja površina toplija od donje	Donja površina toplija od gornje	Gornja površina toplija od donje	Donja površina toplija od gornje
[mm]	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
bez zastora	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
vodonepropustljiv ¹⁾	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
zastor (750 mm)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

¹⁾ Ove vrijednosti predstavljaju gornje granične vrijednosti za tamnu boju

Nelinearna vertikalna promjena temperature

Nelinearno predstavljeno dejstvo temperaturnih razlika se definiše za sledeće grupe mostova:

Ia Čelična kolovozna ploča na čeličnim sandučastim nosačima, kolovozni zastor 40 mm

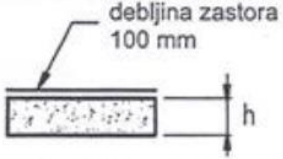
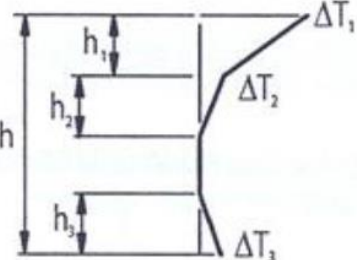
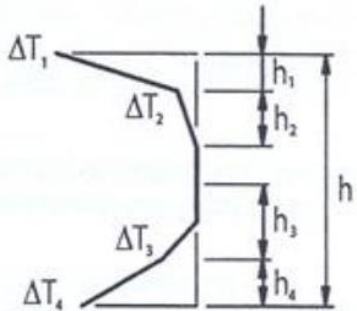
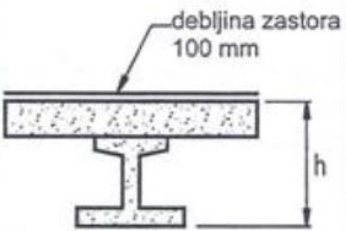
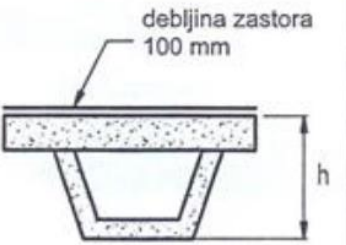
I b Čelična kolovozna ploča na čeličnim rešetkama ili punim nosačima;

2 Spregnuti mostovi - Betonska kolovozna ploča na čeličnim sandučastim ili rešetkastim nosačima ili na punim nosačima, kolovozni zastor 100 mm;

3 Betonska ploča ili betonska kolovozna ploča na betonskim gredama ili sandučastim nosačima, kolovozni zastor 100 mm.

Nelinearna vertikalna promjena temperature za grupu betonskih rasponskih konstrukcija

Vertikalne temperaturne razlike ΔT sadrže i nelinearni dio komponente ΔT_M , samo uravnotežavajući komponentu ΔT_E i mali dio uniformne promjene ΔT_N . Preporučene vrijednosti temperaturnih razlika za betonske mostove koje se nelinearno mijenjaju po dubini poprečnog presjeka, kako ih definiše propis EN 1991-1-5, date su na slici i u tabeli.

Tip konstrukcije	Temperaturna razlika (ΔT)																																																																	
	a) grijanje	b) hlađenje																																																																
 <p>3a) betonska kolovozna ploča</p>																																																																		
 <p>3b) betonske grede</p>	<p> $h_1 = 0,3 h$, ali $\leq 0,15 m$ $h_2 = 0,3 h$, ali $\geq 0,10 m$, ali $\leq 0,25 m$ $h_3 = 0,3 h$, ali $\leq (0,10 m +$ debljina zastora u metrima) (za tanke ploče, h_3 je ograničeno preko $h - h_1 - h_2$) </p>	<p> $h_1 = h_4 = 0,20 h$, ali $\leq 0,25 m$ $h_2 = h_3 = 0,25 h$, ali $\geq 0,20 m$ </p>																																																																
 <p>3c) betonski sandučasti nosač</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>h</th> <th>ΔT_1</th> <th>ΔT_2</th> <th>ΔT_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>m</td> <td colspan="3">°C</td> </tr> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>8,5</td> <td>3,5</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>12,0</td> <td>3,0</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 0,8$</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table>	h	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	m	°C			$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5	0,4	12,0	3,0	1,5	0,6	13,0	3,0	2,0	$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>h</th> <th>ΔT_1</th> <th>ΔT_2</th> <th>ΔT_3</th> <th>ΔT_4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>m</td> <td colspan="4">°C</td> </tr> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>-2,0</td> <td>-0,5</td> <td>-0,5</td> <td>-1,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>-4,5</td> <td>-1,4</td> <td>-1,0</td> <td>-3,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>-6,5</td> <td>-1,8</td> <td>-1,5</td> <td>-5,0</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>-7,6</td> <td>-1,7</td> <td>-1,5</td> <td>-6,0</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>-8,0</td> <td>-1,5</td> <td>-1,5</td> <td>-6,3</td> </tr> <tr> <td>$\geq 1,5$</td> <td>-8,4</td> <td>-0,5</td> <td>-1,0</td> <td>-6,5</td> </tr> </tbody> </table>	h	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4	m	°C				$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5	0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5	0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0	0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0	1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3	$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5
h	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3																																																															
m	°C																																																																	
$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5																																																															
0,4	12,0	3,0	1,5																																																															
0,6	13,0	3,0	2,0																																																															
$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5																																																															
h	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4																																																														
m	°C																																																																	
$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5																																																														
0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5																																																														
0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0																																																														
0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0																																																														
1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3																																																														
$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5																																																														

Kombinacija uniformne komponente i temperaturne razlike

U statički neodređenim konstrukcijama, kao što su ramovske konstrukcije, propisuje se uzimanje u obzir istovremenog djelovanja obje komponente temperature. Ovakva kombinacija opterećenja data je jednačinama (1) i (2).

$$\Delta T_{\text{toplo}} \text{ (ili } \Delta T_{\text{hladno}}) + \omega_N \Delta T_{N,\text{toplo}} \text{ (ili } \Delta T_{N,\text{hladno}}) \quad (1)$$

ili

$$\omega_M \Delta T_{\text{toplo}} \text{ (ili } \Delta T_{\text{hladno}}) + \Delta T_{N,\text{toplo}} \text{ (ili } \Delta T_{N,\text{hladno}}) \quad (2)$$

Preporučene vrijednosti za ω_M i ω_N su $\omega_N = 0.35$ i $\omega_M = 0.75$

STUBOVI

Linearna temperaturna razlika između strana šupljih i punih stubova mora se uzeti u proračun. Ukupni temperaturni učinci stubova trebaju se uzeti u obzir kada to može dovesti do dodatnih sila usljed spriječenosti pomjeranja ili pomjeranja u okolnim konstrukcijskim elementima.

Karakteristične vrijednosti linearnih temperaturnih razlika između suprotnih vanjskih površina uzimaju se, u nedostatku tačnijih podataka, 5°C za betonske šuplje i pune mostove.

Razlika između unutrašnjih i vanjskih površina zidova uzima se 15°C .

Opterećenja od tla i djelovanja vode – YU propisi

Aktivni pritisak tla – Potporne konstrukcije mosta moraju se dimenzionirati na pritisak tla koji nije manji od 1/2 ekvivalentnoga hidrostatskog pritiska. Za čvrste okvire najviše 1/2 momenta savijanja izazvanog pritiskom zemlje, ovisno o slučaju, može biti iskorišteno za redukciju pozitivnog momenta u gredi, gornjoj ploči ili u gornjoj i donjoj ploči mosta. Pasivni pritisak tla ne uzima se u obzir ako mu je učinak povoljan, osim ako je njegovo djelovanje osigurano.

Pritisak mirne vode uzima se u obzir kada svojim djelovanjem povećava ukupno djelovanje koje se ispituje i tada se uzima s najvećom vrijednošću. Ako djeluje rasterećujuće, može se uzeti u proračun ako postoji dokaz da je to djelovanje stalno.

Pritisak tekuće vode uvodi se u proračun u kombinaciji s pritiskom mirne vode i to kao mirna horizontalna sila:

$$P = 0,515 \cdot k \cdot V^2$$

P – pritisak u kN/m^2

k – konstanta koja ovisi o obliku čela stupa mosta (kvadratni oblik - 13/8; kutni oblik – 1/2; okrugli oblik - 2/3)

V – brzina vode u m/s.

Uzgon – Pri proračunu se posebno uzima u obzir veličina uzgona, uz najvišu i najnižu razinu vode ili podzemne vode.

OPTEREĆENJA USLIJED SVOJSTAVA KONSTRUKCIJE

Otpor ležišta

Projektant je dužan da odobri ležišta koja nabavlja Izvođač. Potrebno je proučiti nepovoljne slučajeve kada se ležišta ne ponašaju kako je projektovano ili zamišljeno.

Svako ležište, pa i pokretno, mora da savlada određeni otpor prije nego se pokrene, pri tome se javlja uzdužna horizontalna sila od trenja, koja zavisi od ukupne reakcije na ležištu od stalnog i pokretnog opterećenja. Sila otpora zavisi od koeficijenta otpora, koji je u zavisnosti od tipa ležišta.

Crnogorski – YU propisi

Sila otpornosti u ležaju iznosi:

$$T = k_r \cdot R$$

Koeficijent otpora k_r kliznog pokretnog ležaja iznosi 0,2, a kotrljajućega pokretnog ležišta 0,03. Koeficijent otpora kod pendel-ležajeva 0,03, a kod ležajeva s teflonskim kliznim pločama 0,03 za maksimalnu i 0,05 za minimalnu reakciju.

Koristi se reakcija od vlastite težine, stalnog opterećenja i od polovice korisnog opterećenja bez dinamičkog koeficijenta.

EVROPSKE NORME

Nova europska norma za ležajeve EN 1337 daje pravila projektovanja, specifikacije za pojedine vrste ležajeva kao i za elemente koji se sa njima kombinuju, a zbog velikih uticaja na funkcionisanje i trajnost ležajeva pa i čitave konstrukcije posebno su obrađeni zaštita, pregledi, održavanje, prevoz, skladištenje i ugradnja ležajeva.

Uvodi se koncept graničnih stanja u projekovanju ležajeva, čime je postignuto usklađivanje sa principima projektovanja građevinskih konstrukcija definisanih u europskim normama za konstrukcije.

Računska vrijednost otpora

$$V_{Rd} = \frac{\mu_k}{\gamma_\mu} \cdot N_{Sd} + V_{pd}$$

N_{Sd} – minimalna računaska normalna sila vezana uz V_{Sd}

V_{pd} – računaska čvrstoća bilo kojeg sredstva pridržanja u skladu s europskim standardima i odobrenjima

μ_k – karakteristična vrijednost koeficijenta trenja, 0,4 za čelik-čelik, 0,6 za čelik-beton

γ_μ – parcijalni faktor sigurnosti za trenje, 2,0 za čelik-čelik, 1,2 za čelik-beton.

OPTEREĆENJA PRI IZGRADNJI

Tokom izgradnje mostovi često prolaze nepovoljnija naponska stanja od onih koja se javljaju u eksploataciji, kada je konstrukcijski sistem povezan u cjelinu i spreman za korištenje.

Primjeri su izgradnja luka slobodnim konzolnim postupkom ili izvođenje grednog sklopa potiskivanjem. Posebnu pažnju treba posvetiti opterećenjima koja se javljaju prilikom izgradnje a koja mogu biti uobičajena, posebna i izvanredna.

1. Pojedina opterećenja pri izvođenju mostova

1.Sopstvena težina

Pri provjeri statičke ravnoteže nepovoljno djelovanje sopstvene težine treba pomnožiti faktorom $\gamma_{G,sup} = 1,05$. Povoljno djelovanje sopstvene težine množi se faktorom $\gamma_{G,inf} = 0,95$.

2.Temperatura i skupljanje

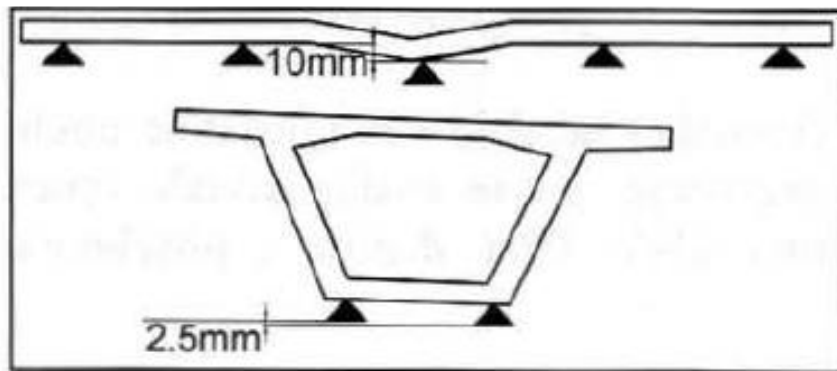
Dejstvo temperature i skupljanja treba uzeti pri proračunu svake faze izvođenja gdje su ova dejstva mjerodavna. Za fazu zatvaranja različitih tipova rasponske konstrukcije može se uzeti učinak pretpostavljene temperature na dan izvođenja, ako se period zatvaranja konstrukcije može unaprijed predvidjeti. Učinci trenja u ležištima uzimaju se sa prikladnim reprezentativnom vrijednostima tamo gdje oni mogu da utiču na spriječavanje slobodnih pomjeranja.

3. Namjerne i nenamjerne deformacije

Namjerne deformacije mogu biti izazvane prednaprezanjem elemenata ili namjernim izazivanjem pomjeranja oslonaca u cilju poboljšanja ponašanja konstrukcije.

Nenamjerne deformacije nastaju usljed slijeganja tla (vrijednosti se utvrđuju ispitivanjem karateristika tla) ili neravnosti privremenih ležišta.

Za PN konstrukcije građene metodom postupnog potiskivanja za proračun se koriste sledeće vrijednosti vertikalnih pomjeranja privremenih ležišta: $\pm 10\text{mm}$ uzdužno za jedan ležaj, $\pm 2,5\text{mm}$ Poprečno za jedan ležaj



Uzdužni i poprečna pomjeranja privremenih ležajeva mostova građeni postupnim potiskivanjem

4. Vjetar

Za operacije podizanja, potiskivanja ili druge faze izvođenja treba definisati najveću brzinu vjetra za propačun. Brzina vjetra ne smije biti manja od 20 m/s. Potrebno je odrediti i kritičnu brzinu vjetra koja izaziva poprečne vibracije i efekte galopiranja da bi se provjerilo da ove brzine nisu mjerodavne za proračun.

5.Voda

U zavisnosti od proračunske situacije za predviđeni period izgradnje za djelove konstrukcije koji su uronjeni u vodu voda može imati dinamičke efekte koji su upravni na dodirnu površinu. Horizontalna sila izazvana strujanjem vode na vertikalnu površinu u vodu uronjene konstrukcije iznosi:

$$F_{wa} = k\rho_{wa}hbv_{wa}^2$$

gdje su

v_{wa} – srednja brzina vode, uprosječene po dubini, u m/s

ρ_{wa} – gustoća vode u kg/m^3

h – dubina vode koja ne uključuje lokalno podlokavanje, ondje gdje je to mjerodavno, u m

b – širina građevine u m

k – faktor oblika, 0,72 za kvadratni ili pravokutni i 0,35 za kružni presjek

6. Posebna opterećenja pri izvođenju mostova

Opterećenja pri izvođenju uključuju:

- Q_{ca} : radnike i osoblje sa lakom opremom;
- Q_{cb} : pokretno skladište građevinskog materijala, gotovih elemenata i opreme
- Q_{cc} : tešku opremu u položaju za korišćenje (oplatne ploče, skele, mašine) ili u pokretu (klizne oplata, lansirne nosače, kljun, kontraterete)
- Q_{cd} : kranove, dizalice, vozila, prese, agregate teške kontrolne uređaje.

Q_{ca} se uzima kao kontinualno opterećenje od $1,0 \text{ kN/m}^2$ koje djeluje na najnepovoljnijim djelovima mjerodavnih površina.

Q_{cb} se uzima kao kontinualno opterećenje od $0,2 \text{ kN/m}^2$ i kao koncentrisana sila od 100 kN koja djeluju slobodno i postavljaju se tako da se biraju njihovi najnepovoljniji učinci.

7. Izvanredna opterećenja na mostove pri izvođenju

Treba uzeti u razmatranje sledeća dejstva:

- Opterećenje od pada klizne oplata prilikom pomicanja ako se most gradi konzolnim postupkom;
- Opterećenje od pada prethodno gotovog elementa;
- Opterećenja od udara vozila koja se koriste pri izvođenju, kranova ili opreme za građenje na nosive delove.

Tokom izvođenja moguće je jedno ili više ovih djelovanja. Treba provjeriti granično stanje sprečavanja rušenja.

KOMBINACIJE DJELOVANJA OPTEREĆENJA NA MOSTOVE PRI IZVOĐENJU

Oterećenja koja fizički ne djeluju istovremeno ne treba kombinovati (snijeg i vjetar se ne kombinuju sa opterećenjem radnika, ali kombinuju sa opterećenjem teške opreme)

Prema Evropskim normama razlikuju se stalne, prolazne i izvanredne proračunske situacije. Za kombinaciju dejstava opterećenja na mostove pri izvođenju koriste se dvije proračunske situacije:

Izvanredna dejstva

Različita izvanredna dejstva mogu prouzrokovati vrlo velika opterećenja mostova. Ona se javljaju kao posljedica nesreća, nepredvidivih događaja i rijetkih prirodnih pojava. Ova opterećenja mogu izazvati znatna oštećenja pa i rušenja pojedinih dijelova konstrukcije, ali i čitavih mostova. Neke od ovih događaja je moguće učiniti manje vjerojatnim ili ih izborom konstruktivnih rješenja mosta potpuno izbjeće.

1. Udari vozila

U slučaju tvrdog udara (energija se uglavnom troši na udarnom tijelu) računске vrijednosti horizontalnog udarnog opterećenja na vertikalne konstrukcijske elemente date su u tablici. Sila u smjeru x i sila u smjeru y ne djeluju istovremeno. Pri udaru kamiona u vertikalne elemente sila djeluje 1,25 m iznad nivoa vozne površine, a površina djelovanja je 0,5 m (visina) \times 1,5 m (širina) ili širina elementa, zavisno od toga što je manje.

Vrsta ceste	F_{dx} (kN)	F_{dy} (kN)
autocesta	1000	500
gradsko područje	500	250

Horizontalna statička udarna opterećenja kamiona na stubove mostova

2. POPUŠTANJE LEŽIŠTA

Svojstva temeljnog tla, njegova nosivost, slojevi, rasjedi, promjene podzemne vode itd. trebaju biti ustanovljena prije projektovanja i građenja i u odnosu na ove parametre se prilagođava i dimenzioniše nosiva konstrukcija, osobito njegovi oslonački dijelovi.

Različite nepredviđene okolnosti u tlu, u svojstvima konstrukcije i dejstvima na nju mogu dovesti do pomjeranja oslonaca, koja se mogu dešavati u obliku:

- translatacija
- slijeganja
- zakretanja oslonaca,

A koja se onda kao rezultat imaju dejstva na konstrukciju.

Popuštanja oslonaca do kojih dolazi tokom gradnje ili neposredno nakon građenja mogu biti relativno jednostavno ispravljena nekim graditeljskim zahvatom za razliku od onih koja se događaju kasnije i izazvana su nekim drugim razlogom prilikom korištenja.

Razlikuju se i pojave postupnih i skokovitih pomjeranja, te onih koji se vremenom smanjuju ili povećavaju, ali sve treba ozbiljno proučiti, neutralizovati njihove nepovoljne učinke ili ih unijeti u proračun kao opterećenja koje konstrukcija mora prihvatiti.

ZEMLJOTRES

Dvije su osnovne metode seizmičkog proračuna mostova:

- **Metoda dinamičke analize** - koja daju dinamički odgovor proračunskog modela u vremenu na primijenjene komponente seizmičkog ubrzanja. Metoda je složena i koristi se samo za projektovanje velikih i dinamički osjetljivih mostova.
- **Metoda ekvivalentne statičke analize** - zamjenjuje dinamičko zemljotresno dejstvo sa ekvivalentnim statičkim silama za koje se sprovodi uobičajena linearna ili nelinearna statička analiza proračunskog modela. Koriste se pojednostavnjeni inženjerski postupci proračuna definisani nacionalnim propisima.

Seizmičko dejstvo u našim uslovima može često biti mjerodavno za dimenzionisanje elemenata, utrošak materijala, rješenja detalja, za ukupnu mehaničku otpornost i stabilnost mosta. U Crnoj Gori se za seizmički proračun mostova koristio Pravilnik o privremenim tehničkim propisima za građenje mostova u seizmičkim područjima-PTP-12 iz 1964. i Pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima iz 1987.

EUROPSKE NORME

Eurokod 8/2. sadržava proračunska načela i pravila primjene prvenstveno namijenjena građenju grednih mostova oslonjenih na upornjake i vertikalne ili približno vertikalne stupove. Primjenljiv je i na ostale tipove mostova kao što su lučni, okvirni, ovješeni, dok nije preporučen za viseće mostove, mostove znatne zakrivljenosti, mostove u velikom uzdužnom nagibu ili mostove velike skošenosti.

Uvodi se kategorija značaja mosta preko faktora važnosti γ_i . Značaj mosta može biti veći od prosječnog ($\gamma_i=1,3$) i ovoj kategoriji pripadaju mostovi od kritičnog značaja za održavanje komunikacije (posebno nakon nepogode), mostovi čije bi urušavanje izazvalo velike ljudske žrtve, te veliki mostovi s vijekom trajanja većim od normalnog. Kategorija prosječnog značaja izražena je faktorom važnosti $\gamma_i=1,0$, dok kategoriji manjeg značaja od prosječnog ($\gamma_i=0,7$) pripadaju mostovi koji nisu kritični za održavanje komunikacije.

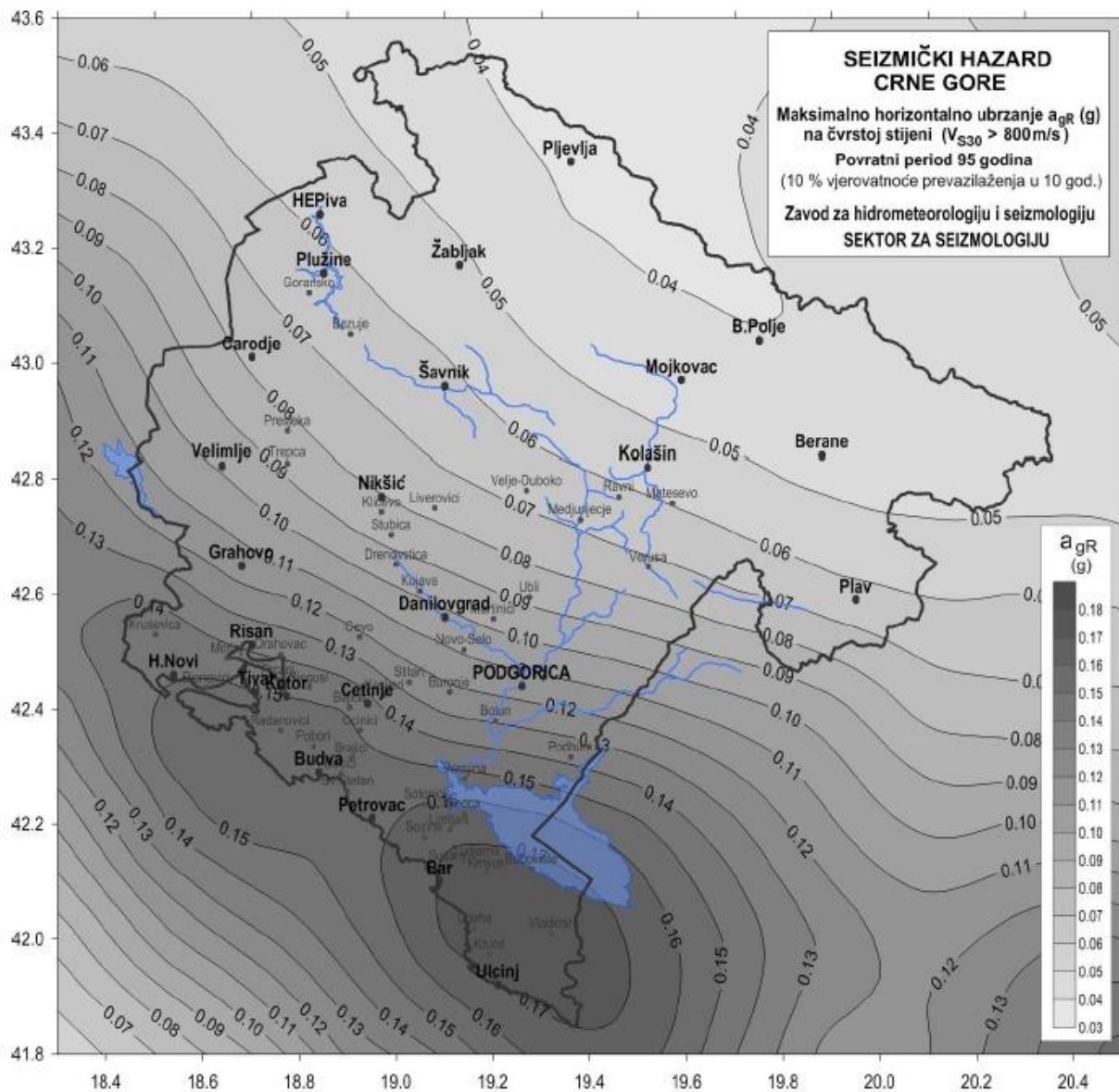
Seizmičko djelovanje

Seizmičko djelovanje određuje se preko računskog ubrzanja tla a_g koje odgovara povratnom periodu potresa od 475 godina. Računsko ubrzanje tla ovisi o stupnju seizmičkog rizika i određuje se na temelju odgovarajućih seizmoloških ispitivanja lokacije građevine ili prema usvojenim vrijednostima za seizmička područja državnog teritorija.

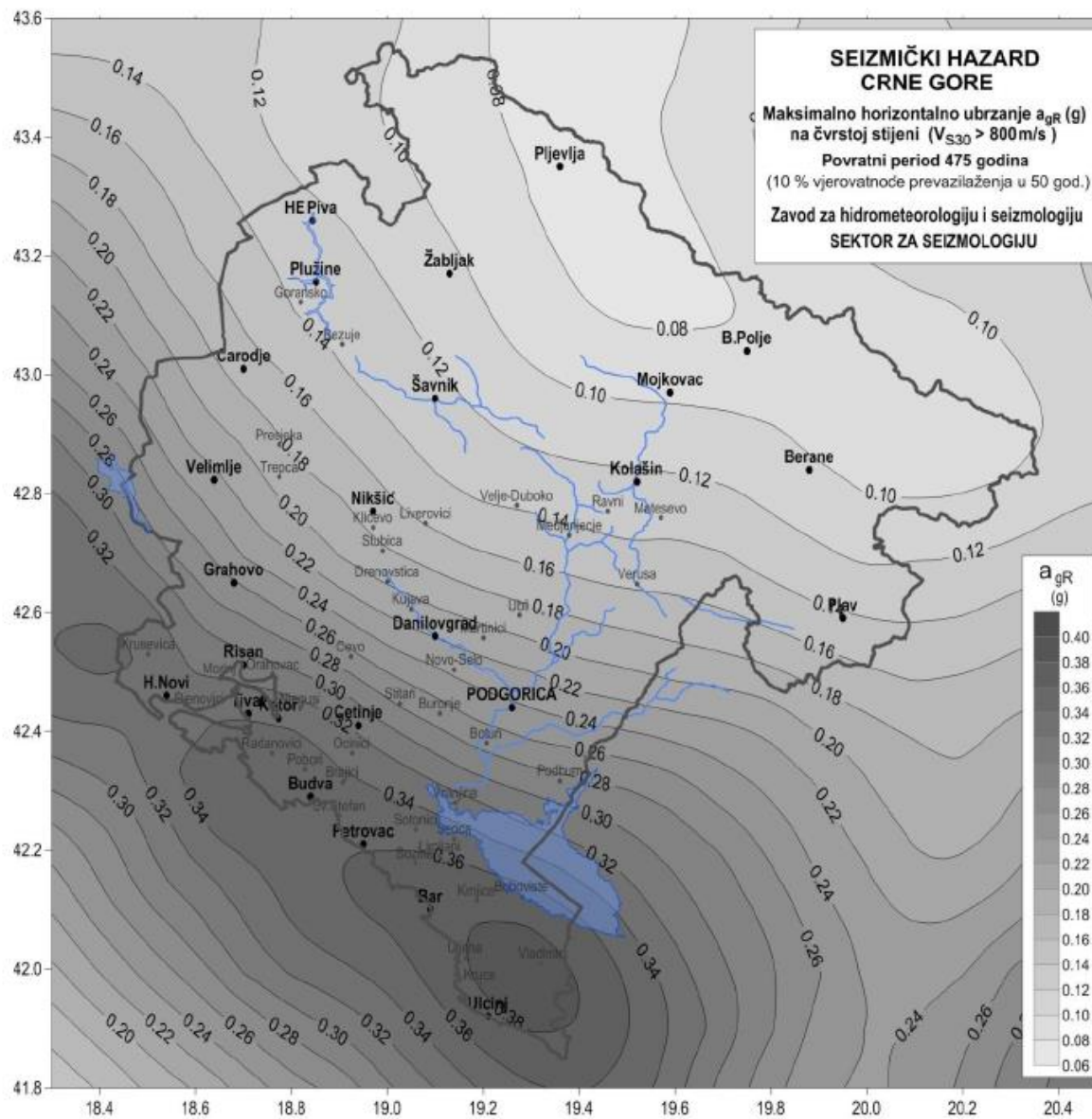
Računsko ubrzanje tla za različita seizmička područja

Područje intenziteta	VII.	VIII.	IX.	X.
Računsko ubrzanje tla	0,1g	0,2g	0,3g	Prema posebnim istraživanjima

Seizmičko djelovanje obično se predstavlja trima komponentama (gibanje točke opisuje dvjema horizontalnim i jednom vertikalnom komponentom). Primjenom **metode spektralnog odgovora** most se može analizirati odvojeno za oscilacije u uzdužnom, poprečnom i vertikalnom smjeru. U tom slučaju seizmičko djelovanje je predstavljeno s tri pojedinačne komponente djelovanja, po jedna za svaki smjer, dobivena uporabom računskog spektra odziva.



Slika C.1 Izolnije referentnog horizontalnog ubrzanja tla a_{gR} u djelovima gravitacionog ubrzanja Zemlje g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) za povratni period od 95 godina (vjerovatnoća prevaziđanja događaja 10% u 10 godina).



Slika C.2 Izolinije referentnog horizontalnog ubrzanja tla a_{gR} u djelovima gravitacionog ubrzanja Zemlje g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) za povratni period od 475 godina (vjerovatnoća prevazilaženja događaja 10% u 50 godina).

B.2. Određivanje jedne komponente seizmičkog djelovanja

Površinsko seizmičko gibanje promatrane točke tla može se prikazati pomoću spektra odgovora, spektra snage ili vremenskog odgovora tla.

Za određivanje jedne komponente seizmičkog djelovanja obično se koristi spektar seizmičkog ubrzanja tla u jednome translacijskom smjeru. **Elastični spektar odgovora** (ubrzanja) definira se analitički i kvalitativno prema slici 112. ili izrazima:

$$0 < T < T_B \quad S_e(T) = a_g S \left(1 + \frac{T}{T_B} (\eta \beta_0 - 1) \right)$$

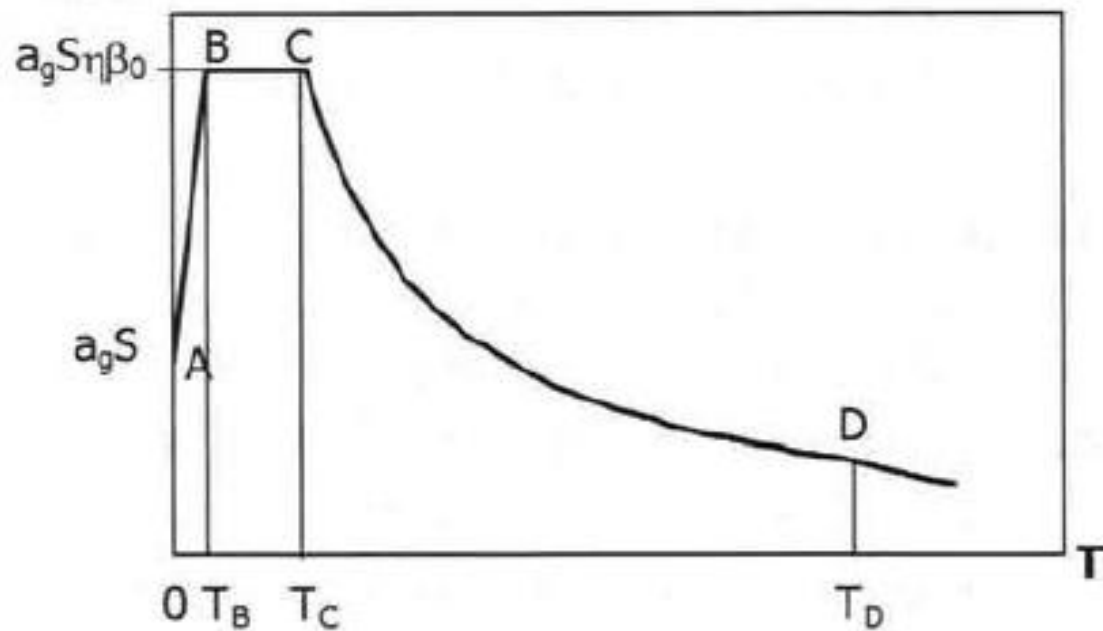
$$T_B < T < T_C \quad S_e(T) = a_g \eta S \beta_0$$

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

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

$S_e(T)$	– ordinata spektra odgovora u jedinici ubrzanja tla
a_g	– osnovno računsko ubrzanje tla
S	– modificirani faktor tla
T	– osnovni period osciliranja linearnog sustava
T_B, T_C	– granice intervala konstantnoga spektralnog ubrzanja
T_D	– granica koja definira početak područja spektra s konstantnim pomacima
β_0	– faktor spektralnog ubrzanja
k_1, k_2	– eksponenti koji utječu na oblik spektra odgovora za $T \geq T_C$
η	– korekcijski faktor prigušenja (= 1 za viskozno prigušenje 5%)
	$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0.7$
ξ	– vrijednost viskoznog prigušenja dana u postotcima koja je obično pretpostavljena s 5%, a ako nije dana je propisima za različite materijale.

$Se(T)$



Elastični spektar odgovora

Seizmički parametri za kategorije tla

kategorija tla	S	β_0	k_1	k_2	T_B	T_C	T_D
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

- Tla kategorije A: stjenovita tla s brzinom posmičnih valova $v_s \geq 800$ m/s, pjeskovita i šljunkovita tla s $v_s \geq 400$ m/s na dubini od 10 m
- Tla kategorije B: duboke naslage srednje gustog pijeska, šljunka i srednje krutih glina, debljine od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara, s $v_s \geq 200$ m/s na dubini od 10 m do $v_s \geq 350$ m/s na dubini od 50 m
- Tla kategorije C: naslage rastresitog tla bez kohezije s $v_s \leq 200$ m/s u gornjih 20 m, naslage s mekim do srednje krutim kohezivnim tлом s $v_s \leq 200$ m/s u gornjih 20 m.

Horizontalna seizmička aktivnost se opisuje kroz dvije ortogonalne komponente promatrano neovisno, a prezentirane za isti spektar odziva.

Za vertikalnu seizmičku aktivnost dopušta se rabiti isti spektar odziva kao i za horizontalno gibanje, ali reduciran faktorom $\varepsilon_1 = 0,7$.

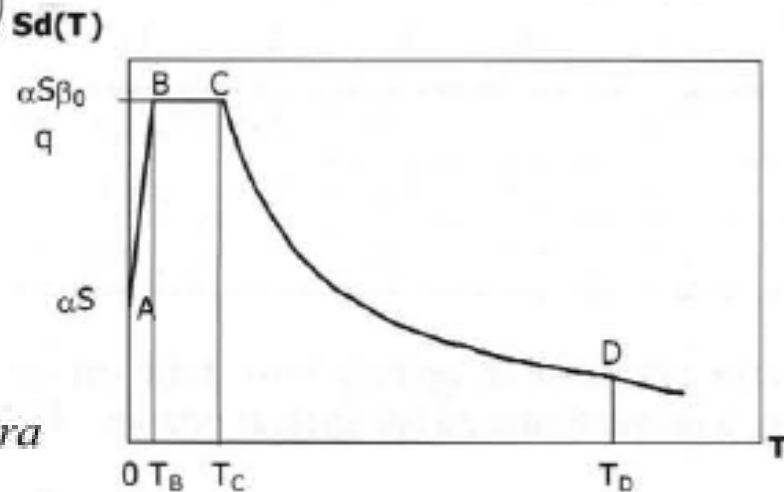
Da bi se izbjegla opsežna nelinearna analiza sustava, uzima se u obzir mogućnost disipacije energije konstrukcije preko duktilnosti njenih elemenata (i drugih nelinearnih efekata) te se koristi linearna analiza zasnovana na **računskom spektru odgovora** koji je reduciran u odnosu na elastični spektar.

$$0 < T < T_B \quad S_d(T) = \alpha S \left(1 + \frac{T}{T_B} \left(\frac{1}{q} \beta_0 - 1 \right) \right)$$

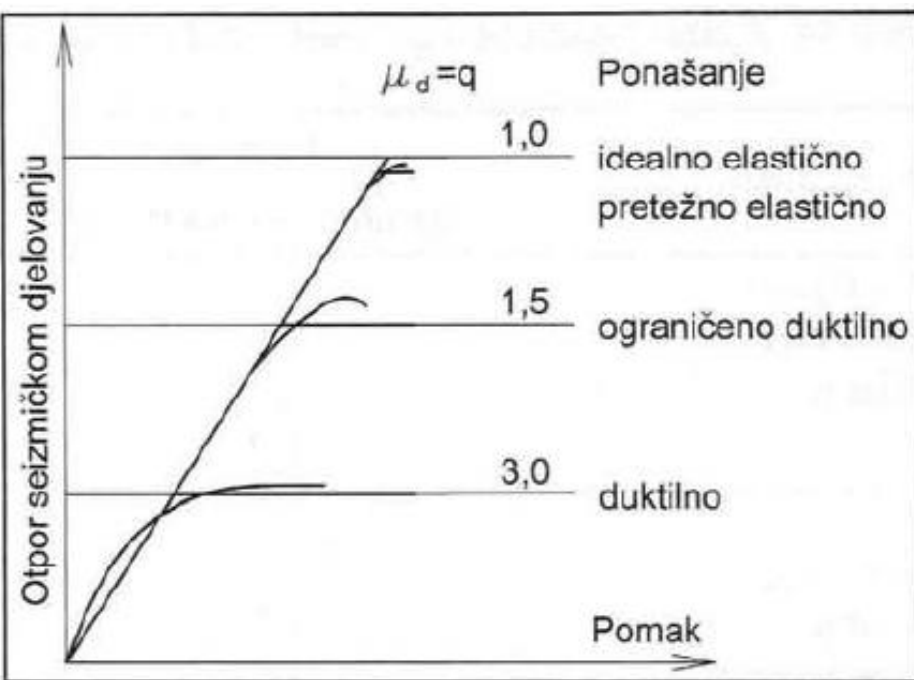
$$T_B < T < T_C \quad S_d(T) = \alpha \frac{1}{q} S \beta_0$$

$$T_C < T < T_D \quad S_d(T) = \alpha \frac{1}{q} S \beta_0 \left(\frac{T_C}{T} \right)^{kd1}$$

$$T_D < T \quad S_d(T) = \alpha \frac{1}{q} S \beta_0 \left(\frac{T_C}{T_D} \right)^{kd1} \left(\frac{T_D}{T} \right)^{kd2}$$



Računski spektar odgovora



Seizmičko ponašanje mosta vezano uz faktor ponašanja

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>Čelični stup</i>		
Vertikalni stup, savijanje	1,5	3,0
Nagnuti štap, savijanje	1,2	2,0
Normalno podupiranje, stup	1,5	2,5
Ekscentrično podupiranje, stup		3,5
<i>Upornjaci</i>	1,0	1,0
<i>Lukovi</i>	1,2	2,0

Faktor ponašanja q - maksimalne vrijednosti

Seizmičko djelovanje vezano uz metode proračuna

Proračunski model mosta treba biti takav da primjereno prikaže raspodjelu krutosti i mase, tako da se svi značajniji oblici deformacija i inercijalnih sila ispravno uzmu u obzir pri analizi seizmičkih uticaja.

Za proračun se koriste:

- višemodalna spektralna analiza (metoda računskog spektra odgovora),
- pojednostavnjena spektralna analiza (metoda osnovnog moda)
- i neke druge (analiza spektralne snage i analiza vremenskog odziva - time history).

Linearna dinamička analiza (Metoda računskog spektra odgovora)

Efektivna modalna masa m_k , koja odgovara svojstvenom obliku k , određena je tako da je posmična sila u bazi F_{bk} za ton k , koja djeluje u pravcu seizmičkih djelovanja, izražena kao:

$$F_{bk} = S_d(T_k)m_k g.$$

Maksimalna vrijednost učinka potresa (reznna sila, pomak) dobije se s velikom vjerojatnošću po izrazu:

$$S = \sqrt{\sum S_i^2}$$

gdje je S_i učinak i -tog odziva.

Vjerojatni maksimalni učinak seizmičkog djelovanja, zbog istodobne pojave seizmičke aktivnosti uzduž osi x , y , z , može se odrediti uporabom neovisnih maksimalnih učinaka seizmičkog djelovanja S_x , S_y i S_z prema izrazu:

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2}$$

S dovoljnom točnošću može se rabiti za seizmičko djelovanje najnepovoljniju od slijedećih kombinacija:

$$E_x + 0,3E_y + 0,3E_z$$

$$0,3E_x + E_y + 0,3E_z$$

$$0,3E_x + 0,3E_y + E_z$$

gdje su E_x , E_y , E_z seizmička djelovanja u smjeru x , y , z .