Udar plovnih objekata

Horizontalna sila koja djeluje na koti maksimalne plovne razine vode:
- za Dunav i Savu od Siska do ušća: 15 000 kN
- za ostale plovne rijeke: 10 000 kN

B. EUROPSKE NORME

Ove norme primjenjuju se za proračun cestovnih mostova s pojedinačnim rasponima manjim od 200 m i/ili širinama kolnika ne većim od 42 m. Za mostove većih izmjera treba vlasnik odrediti prometna opterećenja ili odobriti prijedlog treće strane. Za raspone veće od 200 m može se pretpostaviti da su glavni modeli za karakteristične vrijednosti na strani sigurnosti.

B.1. Vertikalno prometno opterećenje

Na mostu se predviđaju maksimalno tri prometna traka širine od 2,7 do 3,0 m specifično opterećena i preostala ploha do pune širine mosta. Na autocestama gdje su kolničke površine odvojene, ali se nalaze na zajedničkoj kolničkoj konstrukciji predviđaju se tri prometna traka dok za slučaj odvojenih kolničkih konstrukcija svaka kolnička ploha dobiva svoje prometne trakove.

Tablica 16. Broj i širina trakova ovisno o širini kolnika

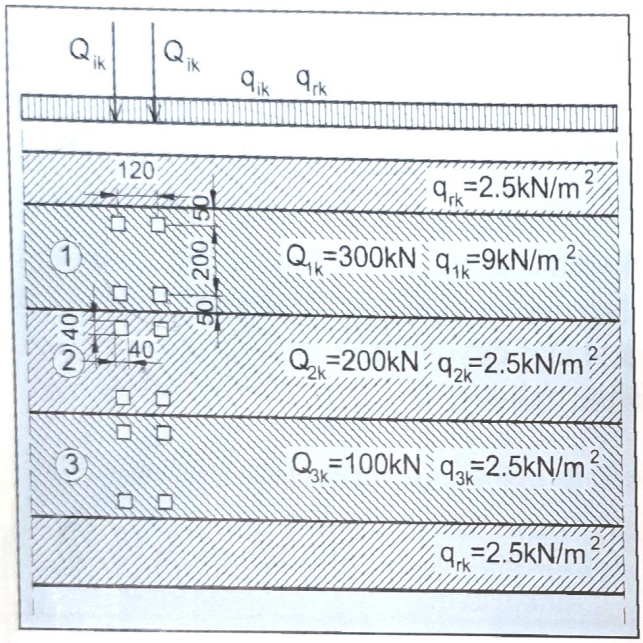
širina kolnika w	broj prometnih trakova	širina prometnih trakova (m)	preostala širina kolnika (m)
$< 5{,}4$ m	1	3	w - 3
$5{,}4$ m $\leq$ w < 6 m	2	w / 2	0
w ≥ 6 m	n = Int (w / 3)	3	w – 3 x n

Karakteristična opterećenja koja predstavljaju suvremena cestovna prometala na europskim cestama statistički su obrađena i sažeta u 4 modela.

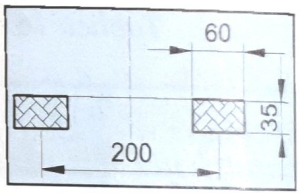
Model 1 – glavni sustav opterećenja od koncentriranog i kontinuiranog opterećenja koje pokriva utjecaje od teških vozila i osobnih vozila. Svaki prometni trak opterećuje se s dva osovinska tereta Q_{ik} na razmaku 1,2 m s razmakom kotača od 2,0 m i kontinuiranim opterećenjem q_{ik}. Površina nalijeganja kotača je 40x40 cm. Preostala površina opterećuje se s kontinuiranim opterećenjem q_{rk}. Mjerodavna cestovna uprava pojedine države može propisati djelotvorno proračunsko opterećenje tako da se nominalna opterećenja množe s faktorima prilagođavanja za osovinski teret α_{Qi}, odnosno kontinuirano opterećenje α_{qi}. Preporučuju se faktori prilagođavanja $\alpha_{Qi} \geq 0{,}8$, $\alpha_{qi} = 1{,}0$ za sve trakove osim prvoga.

Ovdje napominjemo da se prema njemačkom stručnom izvještaju DIN Fachbericht 101, koji se temelji na europskim normama, preporučuje koristiti korekcijski faktor u iznosu 0,8 za koncentrirano opterećenje u prvom i drugom traku dok se u trećem traku koristi samo kontinuirano opterećenje. U prvom traku osovinsko opterećenje iznosi 240 kN, a u drugom160 kN.

Model 2 – Opterećenje jednom osovinom pokriva prometne učinke na vrlo kratkim rasponima, a služi lokalnim provjeravanjima. Osovinsko opterećenje iznosi $\alpha_{Q1} \times Q_{ak}$ ($Q_{ak} = 400$ kN). Ako je potrebno, može se u proračun uzeti i samo jedan kotač s 200 kN.



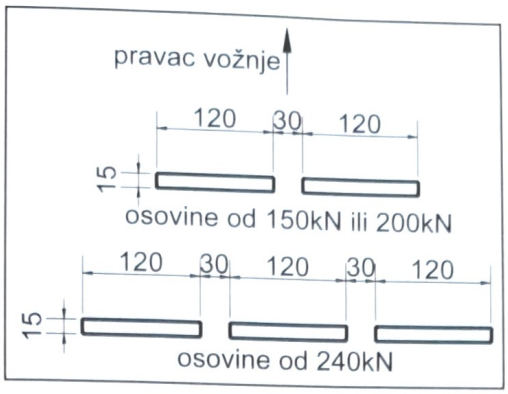
Slika 67. Opterećenje po modelu 1



Slika 68. Opterećenje po modelu 2

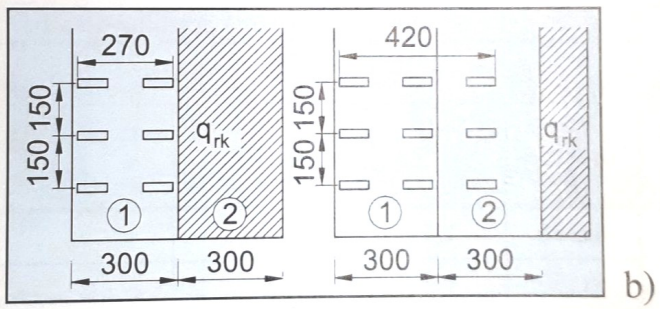
Prema spomenutom njemačkom stručnom izvještaju DIN Fachbericht 101 preporučuje se koristiti osovinsko opterećenje $\alpha_{Q1} \times Q_{ak}$ gdje je $Q_{ak} = 240$ kN. Ako je potrebno može se u proračun uzeti i samo jedan kotač s 120 kN. Površine nalijeganja kotača prema ovim smjernicama uzimaju se 40 x 40 cm.

Model 3 – Proračunsko opterećenje koje simulira konvoj s osobitim izvanrednim teretima, a provjere se vrše samo za mostove na posebnim prometnim pravcima, koje odredi mjerodavna uprava za ceste. Ovaj model služi za provjeru glavnoga nosivog sustava. U dodatku norme se definira 8 kombinacija osobitih vozila (tablica 17.) s opterećenjem od ukupno 600 kN, s 4 osovine po 150 kN do 3600 kN, s 18 osovina po 200 kN ili 15 osovina po 240 kN.
Karakteristična opterećenja osobitih vozila treba promatrati kao nazivne vrijednosti i uzimati u obzir samo za privremene proračunske situacije. Osobita vozila sastavljena od osovinskih pritisaka od 150 ili 200 kN treba postaviti na jedan računski vozni trak.



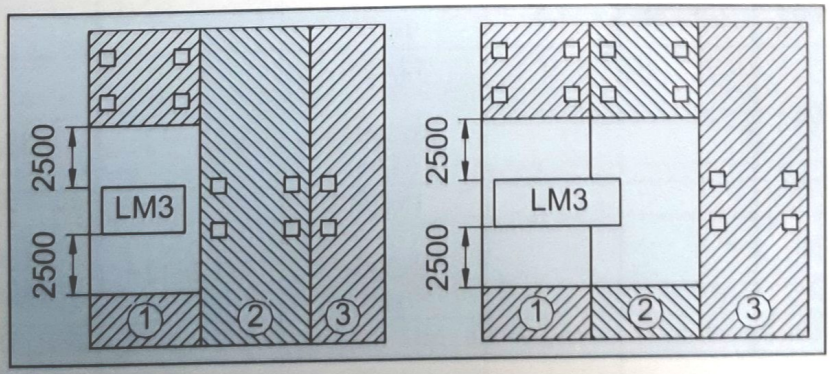
Slika 69. Površine djelovanja osovinskih opterećenja izvanrednih vozila

Izvanredna vozila sastavljena od težih osovina treba postaviti na dva susjedna vozna traka. Svaki računski vozni trak i preostalu površinu treba opteretiti čestim vrijednostima glavnog modela. Na traku ili tracima zaposjednutim osobitim vozilom treba postaviti ovaj model na udaljenosti najmanje 25,0 m od vanjske osovine promatranog vozila.



a) b)

Slika 70. Smještaj osobitih vozila a) osovine od 150 ili 200 kN b) osovine od 240 kN



Slika 71. Primjeri kombinacije modela 1 i 3

Model 4 – Opterećenje od navale ljudi. Koristi se za ispitivanje glavnoga nosivog sustava kad to propiše mjerodavna cestovna uprava, a sastoji se od kontinuiranog opterećenja q_{fk} ovisno o rasponu koji se opterećuje:

$$2{,}5 \le q_{fk} = 2{,}0 + 120/(L+30) \le 5 \ \ kN/m^2.$$

Ako se drukčije, ne odredi treba ga postaviti na mjerodavne dijelove (duljina i širina) nadgrađa. Ako je nužno, treba uzeti u obzir i srednji pojas. Ovaj model, predviđen za provjere cjeline, obuhvaća samo privremene proračunske situacije. Raspodjela pojedinačnih tereta u modelima 1, 2, 3 uzima se jednolika po tragu kotača. Uzima se da se opterećenje rasporostire kroz zastor i betonsku ploču pod kutom od 45° do osi ploče.

Dinamički faktor – Za opterećenja cestovnih mostova dinamički faktor je uključen u zadane veličine za sve sheme opterećenja.
Dinamički se faktor, ovisno o hrapavosti kolnika, uvodi za proračunske modele koji služe za provjere na zamor, a koje su prema ovim propisima obavezne i za cestovne mostove.

Tablica 17. Tipovi i opis izvanrednih vozila

Oznaka	Ukupna težina (kN)	Težina pojedine osovine					
		150 kN		200 kN		240 kN	
		Broj osovina (n)	Razmak osovina (e)				
600/150	600	4x150	1,5				
900/150	900	6x150	1,5				
1200/150 1200/200	1200	8x150	1,5				
1500/150 1500/200	1500	10x150	1,5	6x200	1,5		
1800/150 1800/200	1800	12x150	1,5	1x100+7x200	1,5		
2400/200 2400/240 2400/200/ 200	2400			9x200 12x200 6x200+ 6x200	1,5 1,5 5x1,5+12+ 5x1,5	10x240	1,5
3000/200 3000/240 3000/200/ 200	3000			15x200 8x200+ 7x200	1,5 7x1,5+12+ 6x1,5	1x120+ 12x240	1,5
3600/200 3600/240 3600/200/ 200	3600			18x200	1,5	15x240 9x200+ 9x200	1,5 8x1,5+12 +8x1,5

B.2. Horizontalne sile

Kočne sile i sile pokretanja su jednakih intenziteta, ali suprotnih smjerova djelovanja na jednome voznom traku. Iznos ovih sila dobiva se kao 60% koncentriranog tereta i 10% jednolikoga rasprostrtog opterećenja s donjom i gornjom granicom od 180 kN, odnosno 900 kN:

$Q_{lk}=0,60\cdot\alpha_{Q1}(2Q_{k1})+0,1\cdot\alpha_{q1}\cdot q_{1k}\cdot w_1\cdot L.$
$180\cdot\alpha_{Q1}$ kN $\leq Q_{lk} \leq 900$ kN

Centrifugalna sila
Centrifugalna sila određuje se ovisno o radijusu mosta i ukupnome pokretnom vertikalnom opterećenju po modelu 1 od koncentriranih sila, Q_V.

Tablica 18. Centrifugalna sila ovisno o radijusu mosta

radijus R (m)	iznos centrifugalne sile
< 200	$0,2Q_V$
$200 \leq R \leq 1500$	$40xQ_V/R$
1500 < R	zanemariva

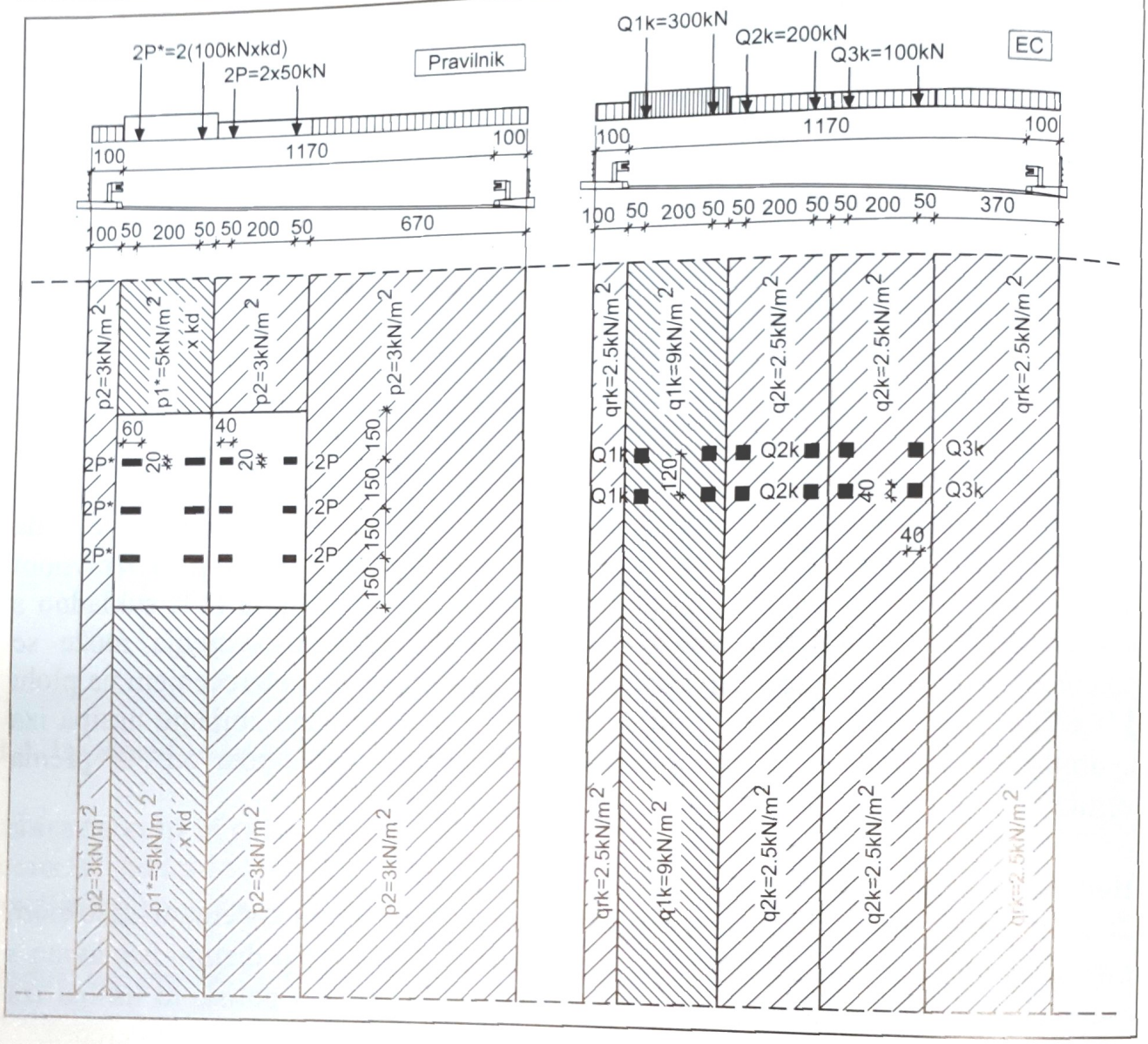
B.3. Opterećenje zamora

Predlaže se 5 modela za ispitivanje zamora, koji se temelje na klasifikaciji prometnica prema godišnjem prolazu kamiona po traku za vijek trajanja konstrukcije od 100 godina. Brojčane vrijednosti iz tablice 19. odnose se na jedan trak s teškim prometom.

Tablica 19. Broj očekivanih teretnjaka godišnje za teretnjački trak

Prometna kategorija	N_{obs} godišnje po teretnjačkome traku
1: Autoceste i ceste s dvije ili više voznih traka po smjeru vožnje s visokim udjelom teretnjaka	2×10^6
2: Autoceste i ceste sa srednjim udjelom teretnjaka	$0,5 \times 10^6$
3: Državne ceste s malim udjelom teretnjaka	$0,125 \times 10^6$
4: Mjesne ceste s malim udjelom teretnjaka	$0,05 \times 10^6$

Model 1 proračuna na zamor, koji se najčešće primjenjuje u praksi, odgovara modelu 1 za statičko prometno opterećenje, ali s osovinskim opterećenjima 0,7 Q_k te jednolikim opterećenjem 0,3 q_k. Provjera se vrši po $\Delta\sigma$ konceptu. Najveća i najmanja naprezanja ($\sigma_{LM,max}$ i $\sigma_{LM,min}$) treba odrediti iz mogućih položaja opterećenja po modelu na mostu.



Slika 73. Prometno opterećenje autoceste

Kako bi se ukazalo na značaj izbora faktora prilagođavanja α za opterećenja prema Eurokodu, proračun je proveden i za minimalne (α_{Q1}=0,8, α_{qi}=1,0) i za maksimalne (α_{Q1}=1,0, α_{qi}=1,0) faktore prilagođavanja u svim prometnim tracima.

Iz dijagrama je očito da specifikacija opterećenja ima određeni utjecaj na konstrukciju, a time i na troškove za most određenog raspona. Vidljivo je da bi prijelaz na suvremene europske norme zahtijevao ojačanja.

U suvremenim propisima vidimo da primjena različitih faktora prilagođavanja α vodi razlikama u momentu savijanja pa treba paziti pri njihovom izboru. Faktori prilagođavanja predstavljaju odnos stvarnog prometnog opterećenja i punog opterećenja prema normativnim europskim shemama. Treba imati na umu da se prometna opterećenja vrlo brzo razvijaju, brzine prometovanja postaju sve veće, a shodno tome i dinamički utjecaji postaju sve veći.

Eurokod za razliku od starih propisa zahtijeva i proračun na centrifugalnu silu ovisno o radijusu tlocrtne zakrivljenosti cestovnog mosta.

Nadalje, vidljivo je da Eurokod osim osnovnog modela propisuje i dodatne modele vertikalnog opterećenja prometom, a pri tome se ne koriste dinamički faktori. Ali Eurokod zahtijeva obaveznu provjeru na zamor i cestovnih mostova, pri čemu se obavezno koristi dinamički faktor.
Promatramo li izvanredna prometna opterećenja, vidljivo je da noviji propisi zahtijevaju provjeru i na udar poprijeko na most u iznosu 500 kN. Eurokod propisuje i ostala izvanredna opterećenja kao što su sudar na mostu, udarac u rubnjak, pojedinačni koncentrirani teret itd.

Ustanovljeno je da je preuzimanje njemačkih normi valjalo provesti u cijelosti pa uz potpuno jednake modele prometnog opterećenja preuzeti i jednak način određivanja kočne sile. Sila kočenja je direktno vezana uz samu težinu vozila, ali i uz vjerojatnost kočenja većeg broja vozila koji se nađu na mostu jedan iza drugog istovremeno. Kao takva može imati bitan utjecaj na ležajeve i prijelazne naprave te na samu konstrukciju donjeg ustroja, pogotovo kod većih duljina dilatacijskih cjelina te uz veću visinu nivelete mosta.

Usporedbom momenata savijanja ustanovljeno je da bi se primjenom europskih prometnih opterećenja zahtijevala bitna ojačanja naših postojećih mostova u pogledu graničnih stanja uporabivosti.

3.4.3 ŽELJEZNIČKA OPTEREĆENJA

Opterećenje od željeznice kao korisno opterećenje mostova gotovo je jednoznačnog karaktera. Prisutna je znatno manja različitost stvarnih prometnih djelovanja nego je to slučaj za cestovne mostove. Djelovanje korisnog opterećenja u poprečnom presjeku je gotovo u potpunosti jednoznačno, pogotovo kod mostova koji prevode jedan kolosijek, uz mogućnost manjih pomaka osi kolosijeka u poprečnom smjeru.

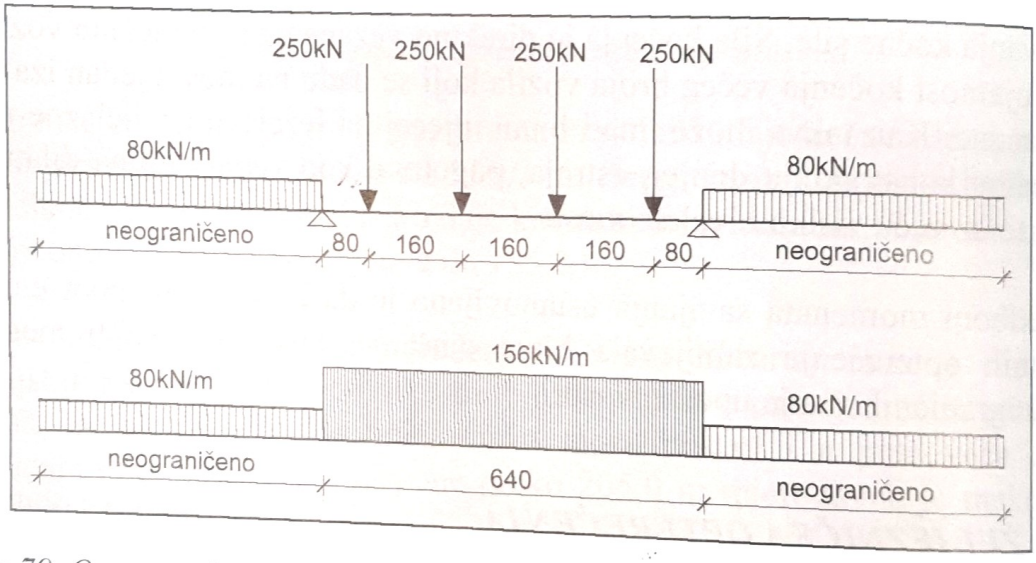
Razvoj željeznica događa se u pogledu obilježja samih vozila, njihovih dimenzija, opterećenja, brzina te kod uređaja preko kojih se događa dodir vozila i podloge. Tako se susreću u novije vrijeme posebni sustavi s vozilima aerodinamičkih oblika, na magnetskim ili zračnim jastucima vrlo velikih brzina. Ova su vozila i njihovo kretanje specifično opterećenje mostova koja se moraju proučiti posebno za svaki pojedini slučaj.

S druge strane, sve veća težnja za ujednačavanjem propisa europskih država vodi k standardizaciji i tipizaciji opterećenja pa tako i onih od uobičajenih željeznica.

A. HRVATSKI PROPISI

A.1. Vertikalna opterećenja

Zajednica europskih željeznica još 1971. godine predlaže shemu opterećenja za europske pruge (*UIC-71*) s preporukom da budu uključena kao temeljna podloga u svim propisima zemalja članica tog udruženja. Tako je i naš "Pravilnik o tehničkim mjerama za opterećenja željezničkih mostova i propusta" iz 1977. godine potpuno prihvatio te preporuke i shemu UIC za sve glavne pruge normalnoga kolosijeka, a za sporedne pruge uz smanjenje iznosa na 80% osnovnih intenziteta. Od 1986. koristi se "Pravilnik za opterećenja i kategorizaciju željezničkih mostova, propusta i ostalih građevina koji je pruzeo sadržaj njemačkih propisa DS-804.



Slika 79. Osnovna shema opterećenja mostova s jednokolosiječnim prugama UIC-71

Kod mostova s provedenim kolničkim zastorom koncentrirana djelovanja u shemi opterećenja mogu biti zamijenjena jednolikim rasprostrtim opterećenjem na odgovarajućoj dužini.

Pretpostavlja se da kontinuirano opterećenje djeluje u traku širine 3,0 m za jedan kolosijek, što treba imati u vidu pri opterećenju kolničke konstrukcije ili mjerodavnih površina opterećenja ispred i iza upornjaka. Opterećenja djeluju simetrično u odnosu na kolosijek s uvođenjem novosti u propisima DS-804 da se svi elementi konstrukcije moraju računati s mogućim pomakom osi kolosijeka za ±10 cm u poprečnom smjeru.

Najmanje pokretno opterećenje koje zamjenjuje prazne vagone, a na koje može djelovati vjetar, uvodi se u proračun bez dinamičkog faktora s vrijednošću 13 kN/m.

Dinamički utjecaji

Za vertikalna opterećenja uzimaju se u obzir i dinamički utjecaji koji općenito ovise o parametrima konstrukcije kao što su raspon, frekvencija i prigušenje titranja neopterećene konstrukcije. Za vozila u pokretu mjerodavna je masa, osovinski razmaci, brzine, a utjecaje od vozne površine daje opće stanje kolosijeka na mostu.

Za najveći broj konstrukcija dinamički utjecaj uzima se u obzir množenjem statičkog opterećenja dinamičkim faktorom koji onda za danu shemu vertikalnog opterećenja, uz pretpostavku da se radi o motornoj vuči i brzini većoj od 80 km/h iznosi:

$$\phi = \frac{1{,}44}{\sqrt{L_\phi} - 0{,}2} + 0{,}82$$

gdje je L_ϕ mjerodavna duljina analiziranog konstrukcijskog elementa.

Ovaj izraz vrijedi u području $3{,}61 \leq L_\phi \leq 65$ m, a kad je mjerodavna duljina manja od 3,61 dinamički koeficijent iznosi 1,67 dok je za mjerodavne duljine iznad 65 m jednak 1,0.

Pravilnik propisuje smanjeni dinamički koeficijent za brzine na pruzi manje od 80 km/h:

$$\phi_{2,v} = 1 + \frac{(\phi_2 - 1)}{80} \cdot v$$

Mjerodavna duljina za određivanje dinamičkog faktora svrstana je u tablice ovisno o tipu konstruktivnog elementa. Mjerodavna duljina uzdužnih nosača kontinuiranih preko n polja u hrvatskim propisima dodatno se, u odnosu na njemačke propise, množi koeficijentom k, ovisno o broju polja.

Tablica 23. Mjerodavne duljine L_ϕ konstrukcijskih elemenata

Konstrukcijski element		L_ϕ
Kolnički lim ili kolnička ploča		Stvarni raspon lima ili ploče
Uzdužna rebra, uzdužni sekundarni nosači		Razmak između poprečnih nosača + 3,0 m
Poprečni nosači bez roštiljnog djelovanja		Dvostruki razmak pop. nosača + 3,0 m
Poprečni nosači u roštiljnoj konstrukciji		Raspon glavnog nosača ili dvostruka ukupna dužina poprečnog nosača; mjerodavana je manja vrijednost
Konzolna produženja poprečnih nosača		Jednako kao za prethodna dva slučaja
Glavni nosači	Slobodno položena greda	Raspon glavnog nosača
	Kontinuirana greda	Aritmetička sredina svih raspona
	Luk	Polovica raspona