

Integralni mostovi

Krešimir Šavor

Ključne riječi

integralni most,
projektiranje,
proračun svojstava,
spojnice,
ležajevi,
prijelaz most-prometnica

Key words

integral bridge,
design, calculation of
properties,
expansion joints,
bearings,
bridge-road transition

Mots clés

pont intégré,
étude,
calcul des propriétés,
joints de dilatation,
appareils d'appui,
joint pont-route

Ключевые слова

интегральный мост,
проектирование,
расчет характеристик,
соединительные скобы,
опоры,
переход мост-дорога

Schlüsselworte

integrale Brücke,
Entwerfen,
Berechnung der
Eigenschaften,
Verbindungen, Lager,
Übergang Brücke -
Verkehrsweg

K. Šavor

Integralni mostovi

Uvodno se objašnjava što su prema inozemnoj literaturi, integralni mostovi s obzirom na to da se u nas taj naziv dosada veoma rijetko upotrebljavao iako su izvođeni mostovi kao monolitne građevine bez spojnica i ležajnih konstrukcija. Opisuju se konstrukcijski i statički sustavi takvih mostova te navode njihova pozitivna i negativna svojstva. Prikazana su iskustva iz SAD-a i Njemačke. Detaljnije su opisane osnove za projektiranje i proračun takvih mostova te prijelaz s ceste na most.

K. Šavor

Integral bridges

In the introduction, the author explains the meaning of the term "integral bridges" as used in international literature, as this term has been used in our country quite rarely despite the fact that bridges as monolithic structures without expansion joints and bearing structures have been realized. Structural and static systems of such bridges are described and their positive and negative properties are indicated. Experience from the U.S.A. and Germany is presented. Bases for the design and calculation of such bridges, including transition from road to bridge, are described in more detail.

K. Šavor

Ponts intégrés

Dans l'introduction, on explique ce que sont les ponts intégrés, selon la littérature étrangère, compte tenu de l'utilisation très rare de ce terme chez nous, bien que des points aient déjà été construits en tant qu'ouvrages monolithiques, sans les joints et les appareils d'appui. On décrit les systèmes constructifs et statiques de ce type de ponts et on cite leurs propriétés positives et négatives. On présente les expériences des États-Unis et de l'Allemagne. On décrit plus en détail les bases pour l'étude et le calcul de ces ponts, ainsi que les joints entre la route et le pont

K. Шавор

Интегральные мосты

Вводно выясняется значение понятия интегральные мосты согласно иностранной литературе, смотря на то, что у нас этим названием до сих пор очень редко пользовались, хотя возведение мостов как монолитных сооружений без соединительных скоб и опорных конструкций осуществлялось. Описываются конструкционные и статические системы таких мостов и приводятся их положительные и отрицательные характеристики. Показан опыт США и Германии. Более подробно описаны основания на проектирование и расчет таких мостов и переход с дороги к мосту.

K. Šavor

Integrale Brücken

Einführend wird erklärt was man in der ausländischen Literatur unter integralen Brücken versteht, da in Kroatien dieser Fachausdruck bisher sehr selten benützt wurde, obwohl Brücken als monolithische Bauwerke ohne Verbindungen und Lagerkonstruktionen ausgeführt wurden. Es sind konstruktive und statische Systeme beschrieben und deren positive und negative Eigenschaften angeführt. Dargestellt sind Erfahrungen aus den USA und Deutschland. Detailliert beschreibt man die Entwurfsgrundlagen und Berechnungen solcher Brücken, sowie der Übergang Brücke - Verkehrsweg.

Stručni rad

Professional paper

Ouvrage professionnel

Fachbericht

Autor: **Krešimir Šavor**, dipl. ing. građ., Pantovčak 81, Zagreb

1 Uvod

Integralni mostovi, ili kako ih neki nazivaju robusni, rezultat su nastojanja mostograditelja da snize rastuće troškove održavanja i povećaju njihovu trajnost.

Prema zapadnoeuropskim pokazateljima, prosječni je utrošak održavanja na godinu otprilike 2% cijene izgradnje mosta. Ako se pretpostavi da je vijek trajanja mosta 100 godina, tada bi se moglo s troškovima održavanja u tom vremenskom razdoblju izgraditi još dva nova mosta. Prema tome održavanje mostova je ozbiljan problem nacionalne ekonomije koji zaslužuje punu pažnju gospodarstvenika i stručnjaka.

Amerikanci su, u tom pogledu, prvi pronašli odgovarajuće rješenje gradnjom integralnih mostova. Znatno kasnije slijedili su ih Englezi, Nijemci, Švedani, Japanci i drugi.

Osnova integralnih mostova jest u činjenici da su uklonjene sve prijelazne naprave i sve ležajne konstrukcije na koje otpada najveći dio troškova održavanja.

Uklanjanjem spojnica i ležajnih konstrukcija svi elementi mostova tj. rasponski sklopovi, upornjaci i stupovi, koji su kod sadašnjih mostova neovisni, ujedinjeni su u jednu monolitnu cjelinu koja najbolje odgovara betonu. No integralni mostovi imaju i negativne osobine.

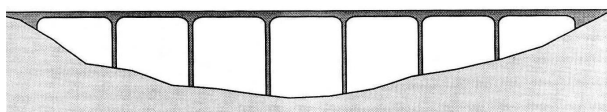
Nijemci, koji su teorijski obradili integralne mostove, nazivaju integralnim mostovima one koji nemaju niti jednu spojnicu i niti jedan ležaj. Amerikanci su uveli pojam "poluintegralni mostovi" koji se odnosi na dulje mostove sa spojnica i ležajevima samo na upornjacima.

Povijesno gledano, integralni mostovi zapravo nisu novost, jer se mnogi stari mostovi mogu uvrstiti u tu kategoriju kao npr. kameni lučni mostovi Rima, srednjeg i novog vijeka sve do početka XX. stoljeća.

Prije mostograditelji nisu poznavali prijelazne naprave i specijalne ležajeve koji su se počeli primjenjivati tek početkom XX. stoljeća. Svrha im je bila uklanjanje sila prisile i pojednostavnjivanje izvedbe mostova.

2 Svojstva integralnih mostova

Integralni su mostovi monolitni okvirni sustavi s jednim ili više raspona (slika 1.). Njihova je glavna karakteristika da nemaju ni spojnice ni ležajne konstrukcije. Deforamacije od djelovanja temperature i skupljanja betona su



Slika 1. Primjer uzdužnog presjeka integralnog mosta

spriječene i nastaju sile u rasponskom sklopu i tlu koje bitno utječu na realizaciju ovih mostova. Kod konvencionalnih mostova sa spojnica i ležajima omogućeni su pomaci bez otpora i nema dodatnih sila.

Pozitivna su svojstva integralnih mostova:

- otpadaju nabava, ugradnja, popravci, zamjena potrošenih prijelaznih naprava i ležaja novima te preusmjeravanje postojećeg prometa
- povećava se trajnost mostova jer otpadaju spojnice gdje može ući vlaga koja razara sklopove, ležaje i podupore
- visina nosivih sklopova relativno je mala i mostovi izgledaju vitkiji i estetski prihvatljiviji
- nisu potrebna proširenja glava stupova radi postavljanja preša zbog izmjene dotrajalih ležajnih konstrukcija
- upornjaci su znatno jednostavniji jer nema potrebe za pristup ležajnim konstrukcijama kojih nema
- otpada složena armatura ispod ležaja na stupovima i upornjacima
- monolitnost sklopa stvara rezerve sigurnosti što je posebno važno u seizmičkim područjima
- vožnja preko integralnih mostova je mirna i buka je mnogo manja.

Negativna su svojstva integralnih mostova:

- nisu prikladni za kose mostove, tamo gdje postoje znatna slijeganja ili pomaci tla, kod slabo nosivog tla gdje piloti nose na trenje jer zbog cikličkog gibanja nije pouzdana njihova nosivost te za neke postupke građenja, primjerice postupno potiskivanje
- pri izvedbi integralnih mostova od predgotovljenih elemenata postoje teškoće
- ovisno o okolnostima potrebna je posebna nosiva konstrukcija za prijelaz između mosta i prometnice.

3 Američka (SAD) i njemačka iskustva

Stručnjaci države Tennessee među prvima su obratili pozornost na činjenicu da održavanje prijelaznih naprava, i rjeđe ležajeva, čini znatne probleme i troškove. I najbolje su prijelazne naprave često propuštale zagađenu vodu koja oštećuje rasponske sklopove, ležajeve i donji ustroj. Zamjena prijelaznih naprava često je složena i skupa, može dugo trajati i tada se mora preusmjeravati postojeći promet. Troškovi preusmjeravanja mogu biti veći nego izmjena naprava.

Zbog navedenih su se razloga odlučili na radikalno rješenje ukidanjem svih prijelaznih naprava i svih posebnih ležajnih konstrukcija. Najveća je duljina takvih be-

tonskih mostova 240 m, a čeličnih 120 m, jer veličina prisilnih naprezanja u pojedinim dijelovima ovih mostova ograničava njihove duljine.

Američki su stručnjaci ostvarenju ideje pristupili na praktičan način. Počeli su s mostovima manjih duljina i provjeravali njihovo ponašanje u uporabi. Budući da su se rezultati pokazali zadovoljavajućim prelazili su na sve veće duljine. Kod manjih duljina mostovi su izvedeni bez spojnica i ležajeva, a kod većih kao *semiintegralni*. Na taj je način izveden *Kingsport-bridge*, duljine 850 m.

Integralni su mostovi naročito prikladni za manje i srednje mostove. Veće duljine integralnih mostova mogu se postići s kombiniranim sustavima npr. čeličnim rešetkama ili zategama ispod donjih pojasa nosivih sklopova, međutim ovi sustavi ne daju povoljan estetski dojam.

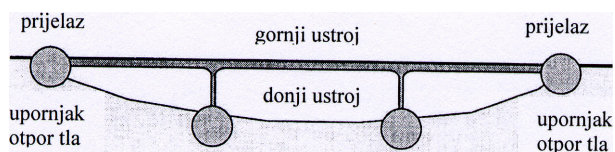
Dok su američki stručnjaci pristupili problemima integralnih mostova sasvim praktično, njemački su inženjeri proučili vrlo savjesno i detaljno sve parametre bitne za ove mostove te stvorili teorijske osnove za njihovo projektiranje i dimenzioniranje.

Osnove proučavanja i teorije integralnih mostova razrađene su na Sveučilištu u Stuttgartu pod vodstvom prof. J. Schlaicha i prof. K. Schäfera [2, 3, 4].

4 Osnove za projektiranje i dimenzioniranje integralnih mostova

Uklanjanje spojnica i ležajeva znači da u sklop valja uvesti dodatna naprezanja koja nastaju zbog spriječenosti deformacija, jer su integralni mostovi statički neodređeni sustavi.

Pomacima krajeva mostova suprotstavlja se tlo. Na taj način nastaje interaktivno stanje most-tlo, gdje je monolitni sklop sastavljen od gornjeg i donjeg ustroja povezan s tlom međusobno kompatibilnim uvjetima (slika 2.).



Slika 2. Shematski prikaz interaktivnog djelovanja gornjeg i donjeg ustroja mosta

Interakcija most-tlo može se opisati poznatim geotehničkim računskim modelom. Budući da kompleksni dijelovi sadrže određene nesigurnosti, integralne mostove valja dimenzionirati za granične slučajeve, kako bi se pokrile nesigurnosti pretpostavki o krutosti sklopa i ponašanju tla.

Proračuni integralnih mostova bit će pregledniji i manje podložni pogreškama ako se primijene jednostavni zam-

jenski sustavi. U jednostavnim se slučajevima mogu primijeniti zamjenske opruge.

Sile prisile, koje ovise o krutostima, mogu se u slučaju vlačnih naprezanja realno ocijeniti ako se uzme u obzir nelinearno ponašanje materijala. Računski su modeli, koji uzimaju u obzir materijalnu nelinearnost, mnogobrojni. Nelinearni su proračuni praktički otežani prije svega ovisnošću unutarnjih sila o povijesti naprezanja koje se za dimenzioniranje sklopa mora pretpostaviti dovoljno točno.

Jedan od bitnih faktora veličine prisilnih sila jest vlačna krutost. Što je veća ova krutost veće su i sile prisile. Smanjivanjem te krutosti smanjit će se i naprezanje. Razne su mogućnosti smanjenja prisilnih sila. Kod armiranog betona u naprsnom stanju smanjena je vlačna krutost. Prisilni se vlak kod konstantnih presjeka ne raspoređuje duž mosta jednolično ako je sklop prednapet. U područjima s pukotinama mogu nastati znatne koncentracije vlačnih naprezanja, iako je sila prisile konstantna. Postupak koji se primjenjuje u praksi kao dokaz za ograničenje širine pukotina može dovesti do podcjenjivanja naprezanja i do oštećenja. Jednaki postupak s vlačnim i tlačnim naprezanjima zbog prisile uz smanjeni faktor sigurnosti nije utemeljen jer se vlačna naprezanja smanjuju stvaranjem pukotina, a tlačna stvaranjem zgloba. Ako se mehanička ovisnost kombiniranog djelovanja tereta i prisile ne obuhvati točnije, uzimanjem u obzir materijalne nelinearnosti, tada vlačno područje sklopa valja pokriti dodatnom armaturom uz odgovarajuću duljinu sidrenja.

Prisilne sile zavise, također, od temperaturnog koeficijenta istežanja i od modula elastičnosti. Ove se vrijednosti mogu znatno popraviti prikladnim odabirom kamenog dodatka betonu, na primjer od vapnenca, pri čemu je koeficijent istežanja $7,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1/k$, a kod kvarca je $12,0 \cdot 10^{-6} \cdot 1/k$.

Kod integralnih su mostova koeficijent i modul elastičnosti veoma važni pa ih stoga valja odrediti dovoljno točno.

U usporedbi s normalnim betonom, kod sklopova od laganog ili visokovrijednog betona manji su utjecaji na veličinu sile prisile i stoga su ovi betoni prikladni za integralne mostove. Uz pretpostavku istih rubnih naprezanja za presjeke od lakog betona potrebna je, poradi manje vlastite težine, manja površina. Manja vlačna krutost, niži modul elastičnosti i manji temperaturni koeficijent utječu na smanjenje sile prisile do 65% u odnosu prema normalnom betonu.

Osjetljivost sklopova od laganog betona na sile prisile raste s manjom suhom prostornom težinom i povećanim odnosom vlastita težina/pokretno opterećenje. Skuplja-

nje je kod mostova od laganog betona 20% veće nego kod normalnog betona. Mana mu je da je skuplji od normalnog betona.

Kod visokovrijednog je betona smanjenje vlačnih sila prisile za beton B65 10%, a za B115 više od 40%.

Osjetljivost sklopova od visokovrijednog betona povećava se s rastućom čvrstoćom betona i odnosom vlastita težina/pokretno opterećenje. Potencijal je u razvitku visokovrijednoga laganog betona gdje se odnos prostorne težine i čvrstoće, a time i osjetljivost na prisilu, može smanjiti umanjivanjem dodatka vode i dodatkom mikrosilike.

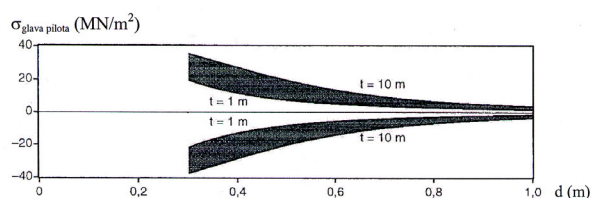
Utjecaj puzanja betona zbog temperature na naprezanja od prisilnih sila praktički je zanemariiv. Prisilna naprezanja od skupljanja znatno su precijenjena, ako se puzanje ne uzme u obzir.

Djelotvorno sredstvo za smanjenje skupljanja jest izvedba spojnica koje se naknadno zatvaraju.

Parametarske studije okvirnog rasponskog sklopa s jednim poljem, temeljenog na pilotima, prikazuju bitne utjecaje na ponašanje integralnih mostova.

Otpor tla sprječava pomake mostova kod normalnog tla i krutosti sklopa u relativno malom opsegu. Normalne su sile prisile malene, ali reakcije tla mogu prouzročiti znatne momente prisile.

Utjecaj promjera pilota i dubine temeljenja pokazuje da duboko temeljenje smanjuje popustljivost, a istodobno se pobuđuje veći otpor tla (slika 3.).



Slika 3. Utjecaj promjera pilota d i temeljenja t na mjerodavne napone σ na glavi pilota

Na slici 3. prikazana su linearno elastična naprezanja pilota na uglu okvira od vlastitog opterećenja g i promjena temperature T ovisno o promjeru pilota i dubini temeljenja. Naprezanja se smanjuju s povećanjem promjera pilota. Prisilna naprezanja gornjeg sklopa zbog otpora tla rastu s povećanjem dubine temeljenja i rastućim promjerom pilota.

U tlu postrano oslonjeni duboki temelji razlikuju se u pogledu deformacija od, primjerice, stupova mosta gdje sposobnost deformacije nelinearno raste s povećanjem visine. Deformacijska sposobnost dubokih temelja, naprotiv, opada s povećanjem njihove dubine.

Sile trenja na zidovima upornjaka su zanemarive, dok trenje u dnu upornjaka pri površinskom temeljenju valja uzeti u obzir.

Značenje trenja na temelju upornjaka za normalne je prisile malo. Čak i uz najnepovoljnije pretpostavke, veliki raspon i kruti zidovi upornjaka, normalne sile prisile ne prelaze 20% sila prisile nepomičnih upornjaka. Ekscentrično djelovanje sila trenja može ipak izazvati velike momente savijanja.

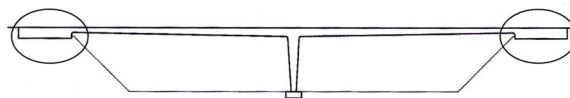
Pri duboku temeljenju na pilotima sile trenja na vrhu pilota uglavnom nisu djelotvorne, jer su horizontalne sile koje mogu nadvladati trenje unesene u tlo već u gornjem dijelu pilota.

Izvedba nepomičnih upornjaka prikladna je samo za mostove koji mogu preuzeti sile prisile ili se pomicanjem u nekom drugom smjeru mogu osloboditi tih sila. Sprječavanje pomaka rasponskog sklopa potrebno je izvesti kod dugih integralnih mostova preko više polja ako u okvirnim stupovima nastaju prevelika naprezanja.

Uzdužne sile prisile rasponskog sklopa mogu se smanjiti primjenom manjih raspona, primjerice uporabom kosih V stupova, što ujedno omogućuje i redukciju normalne krutosti poprečnog presjeka rasponskog sklopa. Osim toga tako oblikovani stupovi znatno smanjuju pomake rasponskog sklopa i time naprezanja prijelaznih područja na krajevima mosta i upornjaka.

Smanjenje prisilnih naprezanja rasponskog sklopa primjenom klasičnog prednapinjanja načelno je ekonomski neopravdano. Prednapinjanje mostova bez spojnica rezultira tlačnim silama u betonu, manjim od vlačnih sila u kabelima za prednapinjanje, ako upornjaci nisu idealno pomični. Od statički neodređenog djelovanja prednapinjanja nastaju uzdužne sile i momenti savijanja, koji mogu biti zamjetni i za slučaj centričnog prednapinjanja. Povoljnije se može ocijeniti moguća uporaba vanjskog prednapinjanja.

Upornjake integralnih mostova valja oblikovati tako da stvaraju što manja naprezanja od prisile. Upornjaci s malom visinom znatno smanjuju prisilna naprezanja (slika 4.).



Slika 4. Plitki upornjaci smanjuju prisilna naprezanja

Ako se upornjaci sastoje od jedne dovoljne ukrute krajeva sklopa te su njegovi krajevi integrirani u sam sklop, tada praktički nema prisilnih momenata. Dimenzije upornjaka određene su dopuštenim naprezanjem tla.

Da bi se spriječile neznatne deformacije zbog otpora tla i trenja, mora se dokazati sposobnost deformiranja stu-

pova okvirnih mostova s više polja ako su sklop i upornjaci međusobno povezani bez spojnice. Sposobnost deformiranja stupova može se povećati ako se pri istoj površini presjeka smanji visina presjeka u uzdužnom smjeru.

Izvedba stupova od dva dijela također je jedna od mjera za povećanje sposobnosti deformiranja. Umjetno sprječavanje deformabiliteta poradi prisile nije preporučljivo, osim u posebnim okolnostima. To može nastati kod mostova u dolini gdje su krajnji stupovi male visine. Tada postoji opasnost da se kod vlačnih naprezanja stvore široke pukotine, a kod tlačnih svod u kolniku.

Mostovi u tlocrtnim krivinama posebno su prikladni za sklopove bez spojnica. Kod njih se prisilne promjene duljina pretvaraju u radijalne pomake. Lučni se mostovi ponašaju načelno jednako ali s radijalnim pomacima u vertikalnoj ravnini.

Kosi mostovi nisu prikladni za mostove bez spojnica, zbog mogućnosti pomaka upornjaka poprečno na os mosta.

U prijelaznim područjima, upornjak-rasponski sklop, stupovi-rasponski sklop, deformacije su nelinearne, pa se klasično dimenzioniranje ne može rabiti jer ne vrijedi osnovna pretpostavka o ravnosti presjeka (tzv. D-područje). Ako nema pukotina ova se područja dimenzioniraju programskim paketima s konačnim elementima. Za područja s pukotinama pogodno je dimenzioniranje s poznatim štapnim modelima [5].

Prijelazna područja valja zaobliti kako bi se postigao harmonički tok sila s niskom koncentracijom napona. Usporedba s linearnoelastičnim iznalaženjem unutarnjih sila pokazuje da utjecaj materijalne nelinearnosti, posebno kod neprednapetih konstrukcija, može biti značajan.

5 Prijelaz most-cesta

Ovisno o vrsti kolnika na mostu i cesti valja izvesti odgovarajući prijelaz most-prometnica koji će zadovoljiti dopuštena naprezanja, udobnost vožnje i trajnost. Krajevi se mosta pomiču zbog djelovanja temperature i vlage te stoga u kolnicima nastaju dodatna naprezanja.

Kolnik na mostovima obično se sastoji od izolacijskog sloja te zaštitnog i habajućeg sloja od asfaltnog betona ili lijevanog asfalta. Kolnik ceste sastoji se od habajućeg i veznog sloja, također od asfaltnog betona na bitumenskoj podlozi ili hidraulički veznog podlozi od pijeska ili šljunka. Kolnik ceste može biti i od betona što je rjeđi slučaj.

Zbog veze zaštitnog i izolacijskog sloja s nosećim sklopom, kolnik mosta mora slijediti deformacije rasponskog sklopa. Spojnice između krajeva mosta i priključnih

cesta mogu kod integralnih mostova otpasti ako kolnik ceste može podnijeti dodatne sile od pomaka mosta.

Izduženja rasponskog sklopa moraju se kompenzirati u prijelazu most-cesta, odnosno u kolniku ceste, tako da ne nastanu široke pukotine ili ispuččenja.

Za proračun naprezanja bitno je ponašanje na kontaktu između kolnika ceste i tla. Uz pretpostavku nepopustljivog sprežanja između kolnika ceste, nosivog sloja i tla i za neizmjerne kruto tlo slobodna duljina deformiranja kolnika teži nuli i asfalt bez obzira na svoje visokoelastične značajke puca već kod malih promjena duljine. U stvarnosti postoji elastično sprežanje s trenjem, te su rubni uvjeti u praksi između graničnih vrijednosti krutog i elastičnog sprežanja. Područje bitumenskog kolnika koje se aktivira za promjene duljine raste ako sile prisile, koje nastaju do postizanja vlačne čvrstoće kolnika, lokalno svladavaju trenje.

Asfalt ima složeno deformacijsko ponašanje koje sadrži elastične, plastične i viskozne deformacije i bitno je ovisno o temperaturi i duljini opterećenja, odnosno frekvenciji opterećenja. Za kratkotrajna djelovanja ponašanje asfalta je približno elastično, a za dugotrajna djelovanja visokoelastično. Plastične deformacije nastaju ponajprije kod velikih promjena opterećenja i nastaju kolotragovi i kod promjena duljine valovi odnosno pukotine.

Izduženja rasponskog sklopa ljeti izazivaju obično mala naprezanja, jer asfalt ima veliku sposobnost relaksacije, ali može doći do pojave valova.

Pri skraćivanju rasponskog sklopa zimi kod niskih temperatura, asfalt se uglavnom ponaša elastično, jer mu je sposobnost relaksacije smanjena, pa nakon prekoračenja vlačne čvrstoće asfalta nastaju pukotine.

Prema teorijskim i eksperimentalnim rezultatima bitumenski kolnik ipak ima izraženu elastičnost i normalne sile prisile u rasponskom sklopu su male, jer se elastične deformacije cestovnog kolnika raspodjeljuju na određenu «sudjelujuću» duljinu.

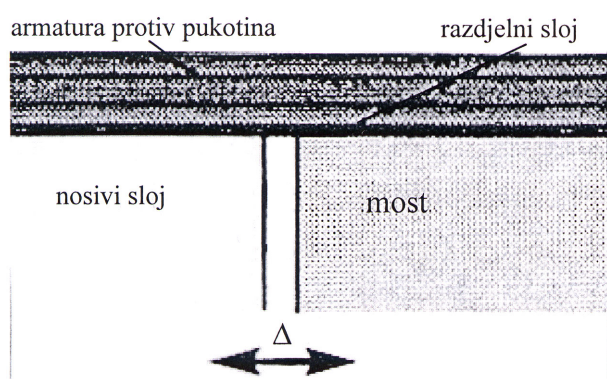
Sudjelujuće su duljine kod malih vrijednosti trenja veće.

Sudjelujuća duljina za most duljine 100 m uz konstantni modul elastičnosti asfalta $E_f = 13000 \text{ MN/m}^2$ i prosječni koeficijent trenja $\mu = 0,5$ jest primjerice, oko 170 m, a za most duljine 500 m oko 370 m.

S povećanjem debljine asfalta raste i trenje te se sudjelujuće duljine smanjuju.

Betonski se kolnici ponašaju načelno na jednak način.

Prisilne deformacije kolnika mogu se djelotvorno smanjiti ako se kolnik mosta odijeli od sklopa na, primjerice, razdjelnim slojem od šljunka (slika 5.).

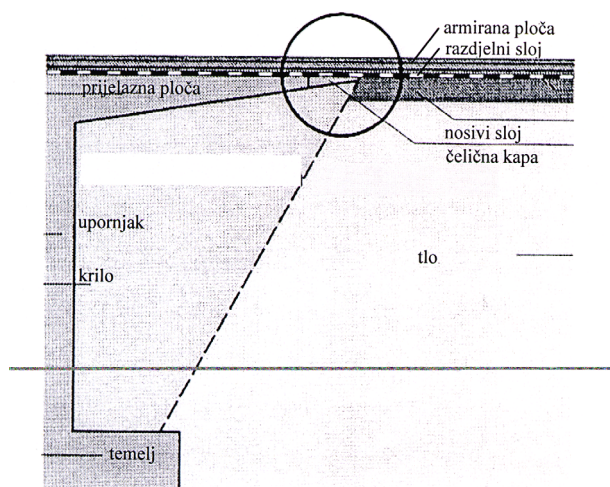


Slika 5. Razdjelni sloj od šljunka između kolnika i konstrukcije mosta

Zbog sniženja temperature smanjena se sposobnost deformiranja bitumenskih kolnika može povećati ako se prijelazna područja izvedu od polimerom modificiranog bitumena. Radi rasprostiranja vlačne čvrstoće i svojstva povezivanja stvaraju se pukotine koje se ne mogu pouzdano ukloniti. Stoga je kod betonskih dijelova potrebno ograničavanje širine pukotina.

Primjena armiranog asfalta u prijelaznim je zonama vrlo prikladna mjera. Kontrolirano stvaranje pukotina smanjuje sudjelujuću duljinu. Razdjelne slojeve između kolničke ploče i nosivog sloja tada ne treba ugraditi, jer zbog armature naprezanja u kolničkoj ploči mogu biti veća od vlačne čvrstoće asfalta. Potrebna količina armature dobije se iz prisilnih naprezanja kolnika. Čak i kad su računski naprezanja asfalta niža od vlačne čvrstoće asfalta, valja zbog uglavnom neegzaktne definiranog ponašanja trenja primijeniti armirani asfaltni beton u zonama prijelaza. Iskustva pokazuju da kod armiranog asfalta opada osjetljivost na pukotine i troškovi ugradnje su niski.

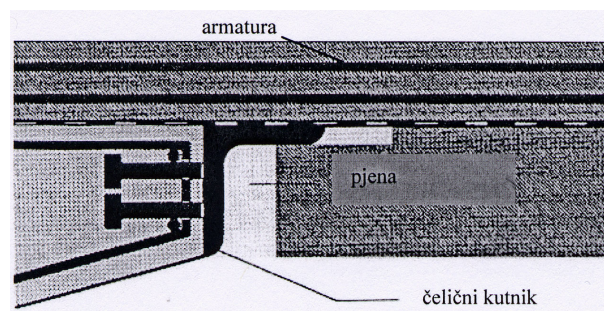
Integralni mostovi zahtijevaju na svojim krajevima prijelazne ploče (slika 6.) koje premošćuju eventualne pukotine iza upornjaka i osiguravaju miran prijelaz vozila.



Slika 6. Prijelazna ploča između mosta i ceste

Na krajevima prijelaznih ploča deformacije kolnika su male i praktično neuklonjive. Da bi proširenje poremećenog područja tla bilo malo i da bi deformacije kolnika, iz prometnih razloga, bile prihvatljive prijelazne ploče na svojim krajevima moraju biti male visine.

Krajevi prijelaznih ploča od čeličnog lima ili čeličnih limova omogućuju vrlo malu visinu presjeka prijelaznih ploča. Jednostavno je rješenje s čeličnim kutnicima (slika 7.) primijenjeno na mostu prikazanom na slici 8.



Slika 7. Detalj rješenja prijelaza upotrebom čeličnog kutnika

U integralnih se mostova s bitumenskim kolnicima oštećenja od slijeganja tla iza upornjaka lako i brzo popravljaju, za razliku od šteta na prijelaznim napravama i ležajevima mosta.



Slika 8. Integralni most Sunniberg kod Klostersa

Na slici 8. prikazan je integralni most Sunniberg kod Klostersa, koji je projektirao prof. Menn. Most je dužine više od 500 m, nosivi je sklop bez spojnica povezan s pylonima i upornjacima; točrtno se nalazi u velikoj krivini.

6 Zaključak

Integralni se mostovi razlikuju od konvencionalnih konstrukcijski i statički. U konstrukcijskom se pogledu ta razlika očituje u činjenici da su integralni mostovi monolitne okvirne konstrukcije bez spojnica i ležajeva, dok

su konvencionalni mostovi s ležajnim konstrukcijama podijeljeni odgovarajućim spojnica u gornji sklop i donji sklop koji uključuje upornjake i stupove. U statičkom se pogledu razlika očituje u tome da su kod integralnih mostova spriječene deformacije od temperature i vlage zbog čega u njima nastaju sile prisile, dok su kod konvencionalnih mostova te deformacije omogućene pa ne nastaju sile. Sile prisile mogu se u integralnih mostova smanjiti na više načina:

- smanjenjem uzdužne krutosti nosivog sklopa
- povećanjem pomičnosti upornjaka, što povećava s druge strane veličinu prijelaza most – prometnica
- smanjenjem uzdužne krutosti stupova i povećanjem njihove visine
- uporabom agregata vapnenačkog podrijetla jer posjeduju niski temperaturni koeficijent rastezanja i niski modul elastičnosti
- izvedbom upornjaka male visine jer oni uzrokuju manja naprezanja od sila prisile
- izvedbom okana za duboke temelje, što može povećati njihova pomičnost
- integriranjem upornjaka u gornji ustroj dobivaju se manji momenti
- izgradnjom stupova-njihala; za ovo je rješenje potrebno izvesti nepokretne upornjake
- ugradnjom razdjelnog sloja između kolnika i nosivog sloja mogu se znatno smanjiti vlačna naprezanja zbog pomaka mosta
- smanjenjem raspona nosivih sklopova.

LITERATURA

- [1] Loveall, C.: *Jointless bridge decks*, Civil Engineering, ASCE November 1985, 64-67.
- [2] Pötzel, J., Schlaich, J., Schäfer, K.: *Grundlagen für den Entwurf, die Berechnung und konstruktive Durchbildung lager- und fugenloser Brücken*, DAFStb, Heft 461, Beuth Verlag Berlin, 1996.
- [3] Engelsmann, S., Schlaich, J., Schäfer, K.: *Entwerfen und Bemessen von Betonbrücken ohne Fugen und Lager*, DAFStb, Heft 496, Beuth Verlag Berlin, 1979.
- [4] Engelsmann, S., Schlaich, J., Schäfer, K.: *Integrale Betonbrücken – Brückenbauwerke aus Konstruktionsbeton ohne Fugen und Lager*, Beton- und Stahlbetonbau 94 (1999) Heft 5.
- [5] Schlaich, J., Schäfer, K.: *Konstruieren im Stahlbetonbau, Betonkalender 1998, Teil II*, 721-895.

Integralni su mostovi posebno prikladni za male i srednje raspone. Britanska uprava za ceste, primjerice, izričekom propisuje za mostove duljine do 60 m.

Kod mostova u horizontalnim krivinama valja nastojati da odnos strjelice prema rasponu bude veći od 0,05. Vitki nadlučni sklopovi mogu se postići s manjim rasponima.

Ako stupovi u području tjemena mogu podnijeti naprezanja, kod nepopustljivih upornjaka luk i nadlučni sklop valja međusobno slijepiti, kako bi se postigle male unutarnje sile kod pokretnog opterećenja polovice luka. Zajedničko djelovanje luka i nadlučnog sklopa može se postići i drugim konstrukcijskim rješenjima.

Rastezanja od prisilnih sila na kolnik mogu se djelotvorno smanjiti ako se kolnik mosta odijeli od rasponskog sklopa, primjerice slojem šljunka.

Sposobnost deformiranja bitumenskih kolnika može se povećati ako se područje prijelaza izvede modificiranim bitumenom. Upotreba armiranoga asfaltnog betona za područje prijelaza vrlo je djelotvorno.

Područja prijelaza betonskih kolnika bez spojnica treba bezuvjetno osigurati odgovarajućom armaturom protiv pukotina.

Kod integralnih mostova hidroizolaciju valja izvesti vrlo brižljivo i savjesno.

Integralni mostovi zahtijevaju na svojim krajevima prijelazne ploče koje mogu biti izvedene kao nastavak ploče kolnika. Ove ploče moraju na svojim krajevima imati malu visinu presjeka kako bi se produljenje poremećenog područja tla smanjilo. Primjena čeličnih kapa u tom je pogledu svrsishodna.