

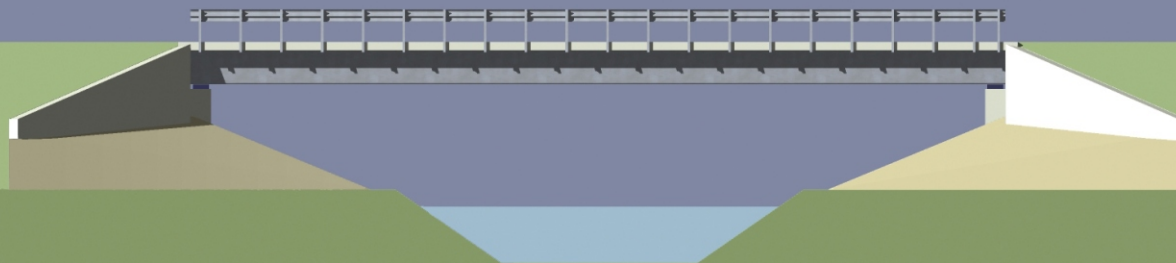
Press-Brake-Formed Steel Tub Girder

ILLINOIS, IOWA

*static
behavior*

*statické
pôsobenie*

*theory, analysis
Vladimír Budinský SSK*



KEYWORDS : bridge, computation, calculation, structural analysis, press-brake-formed, composite steel and concrete structures, spriahnutý most, statický výpočet, SSK, ohraňovací lis

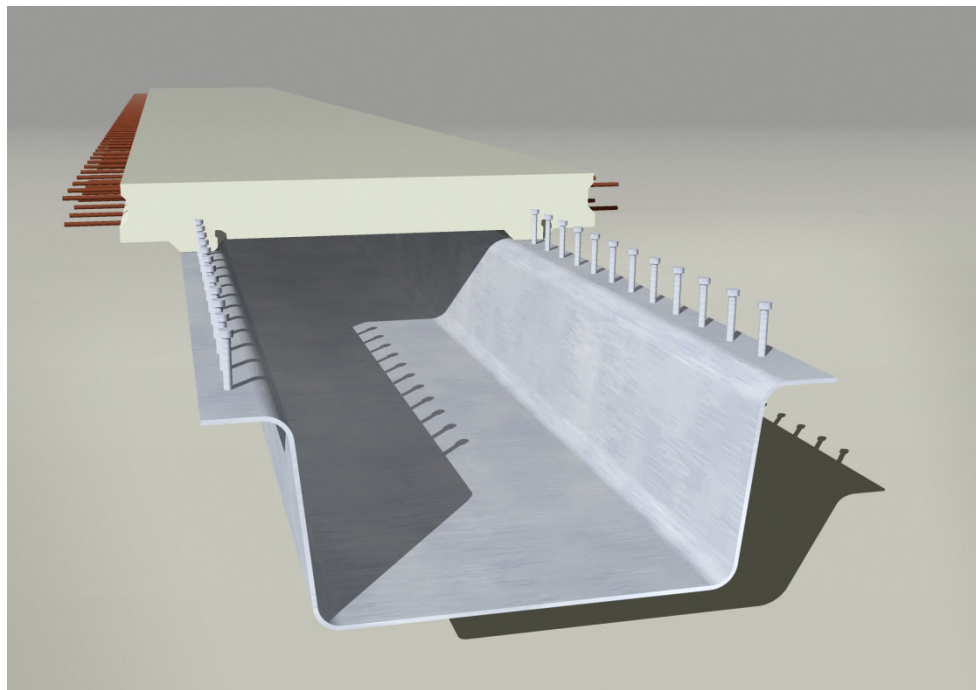
ÚVOD (Introduction)

História návrhu krátkych spriahnutých oceľových mostov nového tvaru začala v USA v roku 2009 na výzvu *Federal Highway Administration* (FHWA).

FHWA vyzýva severoamerický oceľarský priemysel vyvinúť nákladovo efektívny oceľový most s krátkym rozpätím s modulárnymi komponentmi, ktoré je možné vyrobiť v bežných výrobných závodoch, zameriavajúcich sa na výstavbu mostov. Zároveň musia spĺňať súčasné kritériá a potreby vlastníkov mostov, vrátane *Accelerated Bridge Construction* (ABC) – zrýchlenú výstavbu mostov. Výzva bola vydaná so zámerom pomôcť pri riešení krízy infraštruktúry v USA konštrukčne nevyhovujúcich a funkčne zastaraných mostov, z ktorých takmer polovica spadá do kategórie krátkych rozpätí (definovaných ako mosty do 140 stôp → 42,7m).

Pre rozvíjanie nápadov na splnenie tejto výzvy sa zorganizovala *Short Span Steel Bridge Alliance* (SSSBA). Táto pracovná skupina pre modulárny oceľový most pozostávala z 30 organizácií zastupujúcich SSSBA. Patrili sem organizácie, ako napr. inštitúty rozvoja trhu s oceľou, národné aliancie oceľových mostov, národné asociácie krajských inžinierov, výrobcov oceľových mostov, vládnych organizácií, vlastníkov mostov a iné.

Skupina zvažovala viacero možností a v októbri 2011 rozhodla, že technológia plyných oceľových nosníkov, tvarovaných ohraňovacími lismi, predstavuje najlepšiu alternatívu na splnenie cieľov FHWA pre ekonomiku, inovácie a postupy ABC.



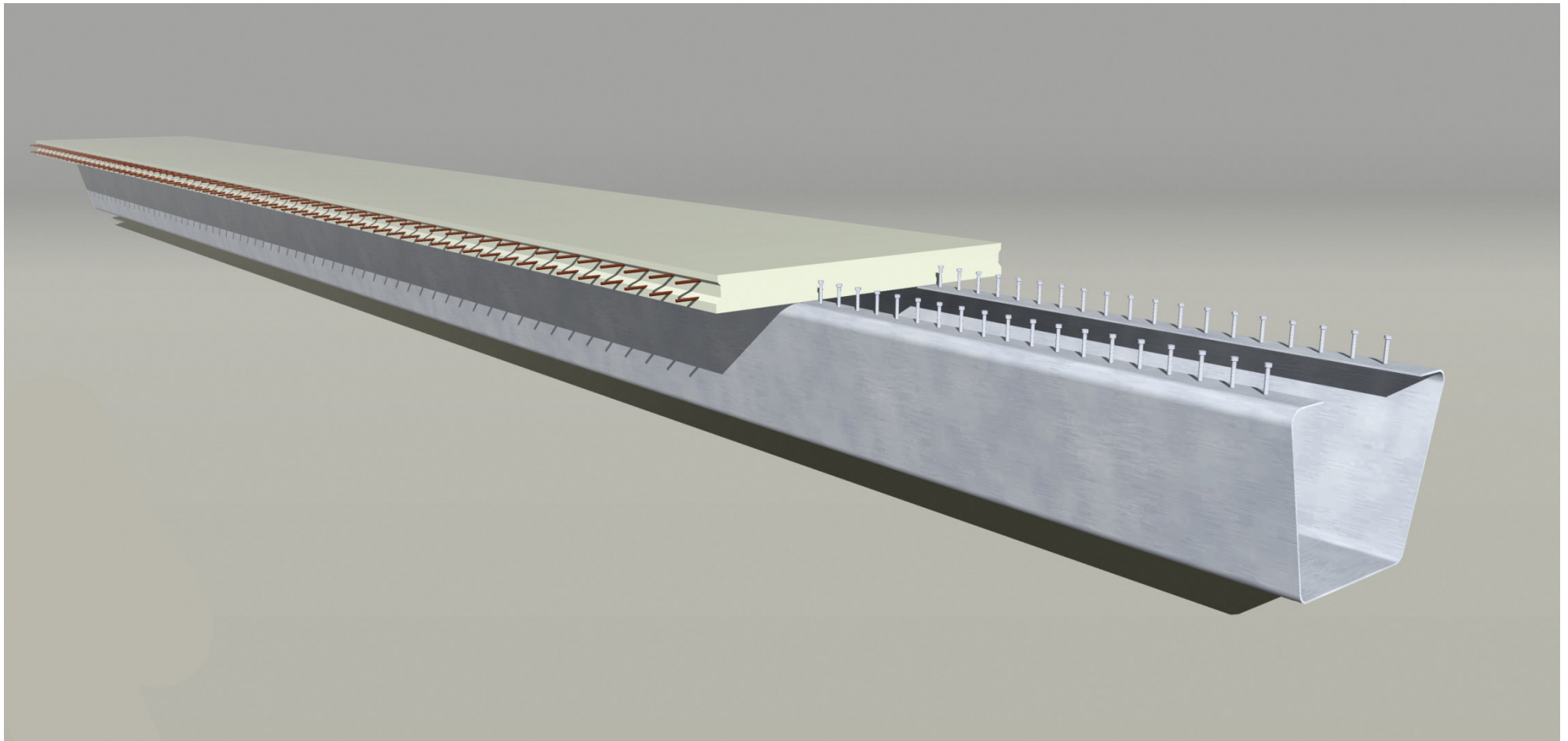
Systém nosníkov tvarovaných ohraňovacími lismi pozostáva z modulárnych plyných trapézových nosníkov z oceľového plechu ohýbaného za studena. Oceľové nosníky sú k dispozícii buď pozinkované v žiarovom ponore alebo odolné voči poveternostným vplyvom (*weathering steel*). Na vytvarovanej forme sú potom privarené k horným prírubám šmykové trne. Vystužený betón dosky sa odleje na nosník vo výrobe a nechá sa vytvrdnúť, čím sa stane kompozitnou modulárnou jednotkou. Moduly sú potom pozdĺžne spájané pomocou vysokopevnostného betónu (*UHPC*), relatívne novou triedou pokročilých cementových kompozitných materiálov.

Systém ponúka oproti tradičnému spôsobu niekoľko výhod riešenia oceľových mostov s krátkym rozpätím. Nosník sám o sebe je neuveriteľne jednoduchý na výrobu a vyžaduje si minimálne zváranie. Kvôli modulárnosti systému kompozitného dizajnu je znížená potreba prác pre ďalšie detaily, ako sú výstuhy alebo priečne rámy. Tiež vďaka modulárnej povahe systému, kompozitná jednotka môže byť ľahko odoslaná do miesta stavby, čo umožňuje zrýchlenú výstavbu a zníženie dopravných výluk.

Zatiaľ čo sa odporúčajú modulárne prefabrikované betónové dosky, k dispozícii je viacero možností spriahnutia. Príklady zahŕňajú použitie prefabrikátov s plnou alebo čiastočnou výškou betónovej dosky, betonáž na mieste, resp. pokročilejšie kompozitné dosky, ako napr. sendvičové dosky (konštrukčný

kompozit pozostávajúci z dvoch spojených kovových dosiek s jadrom z polyuretánového elastoméru).

VÝVOJOVÁ ŠTÚDIA Na rozdiel od potrebného rezania a zvarovania pre typické *varňové* nosníky, tento systém využíva ohýbanie za studena štandardných širokých plechovej dosky a hrúbky, čím klesajú výrobné náklady a zvyšuje sa efektívnosť a ekonomické využitie ocele. Pre každý štandardný nosník rátala návrhová štúdia opakovaním proporcií nosníka s cieľom dosiahnuť maximálnu možnú ohybovú kapacitu. Pre túto štúdiu bol sklon stojín uvažovaný na konštantnej úrovni 1:4, vnútorné polomery ohybu nosníkov boli udržiavané na rovnakej hodnote päťnásobku hrúbky ocelového plechu a šírka hornej príruby bola navrhnutá v rovnakej hodnote 15 cm. Betónová doska kompozitného celku bola ≈ 229 cm široká a 20,32 cm hrubá (ako inak – 8 palcov ☺). Predpokladal sa betón s modulárnym pomerom $n=8$ a pevnosťou v tlaku 27,6 MPa (4 ksi) s normálnou hmotnosťou. Všetky ocelové platne sa predpokladali pre účely návrhu rady S355 (50 ksi).



Zväčšovanie alebo zmenšovanie výšky má za následok zmenený prierezový modul. Pre zvýšenú momentovú kapacitu možno použiť širšie štandardné dosky a vyššie nosníky. Zaťažovacie skúšky reprezentačných vzoriek na overenie nosnosti a kapacity navrhovaného systému sa skúšali na *West Virginia University*. Testovanie bolo vykonané na vzorkách nosníkov začiatkom leta 2013. Oceľ použitá na vzorky bola *ASTM A709 Gr. 50*. Kompozitná doska bola odliata z betónu normálnej hmotnosti, výsledky z testov valca poskytli priemernú pevnosť v tlaku 28 MPa. Okrem fyzického testovania lisovaných nosníkov boli realizované numerické testy s trojrozmernými konečnými prvkami pomocou softvéru *Abaqus/CAE*. Oceľové nosníky v tejto štúdii boli modelované na základe tri-lineárneho elasticko-plastického konštitutívneho zákona, vrátane deformačných účinkov.

Okrem toho boli vykonané hodnotenia návrhov v súlade s *AASHTO LRFD Špecifikácie* na posúdenie uskutočniteľnosti navrhovaného systému. Pre každý nosník boli vypočítané silové účinky stáleho a pohyblivého zaťaženia (t.j. momenty, šmykové sily a priehyby) a porovnané s predpísanými limitmi AASHTO [1].

Výroba kompozitného modulu ohýbaného doskového nosníka začína jedinou oceľovou doskou požadovanej hrúbky, ktorá je plánovane ohnutá do konštrukčného tvaru. Doska je za studena tvarovaná do tvaru „U“ pomocou ohraňovacieho lisu, pričom každý ohyb prebieha v smere pozdĺžnej osi dosky. Horné príruby sa ohýnajú niekedy dovnútra a niekedy do vonkajšej strany korýtká, podľa toho, aké vzdialenosti nosníkov a aké nosnosti sú naplánované a vypočítané. Po dokončení procesu ohýbania sa privaria membrány na určených miestach a pozdĺž oboch strán horných pásnic nosníka sa privaria aj šmykové trne. Oceľové časti nosníkov sa dodávajú buď na stavbu alebo do závodu na výrobu prefabrikátov, aby sa na ne odliala betónová doska. Tieto ohýbané doskové nosníky ponúkajú potenciál byť nákladovo efektívne aj vďaka relatívne nízkym nákladom na oceľový plech. Otázkou ostáva dostupnosť ohraňovacieho lisu v ekonomicky akceptovateľnej vzdialenosti od stavby.

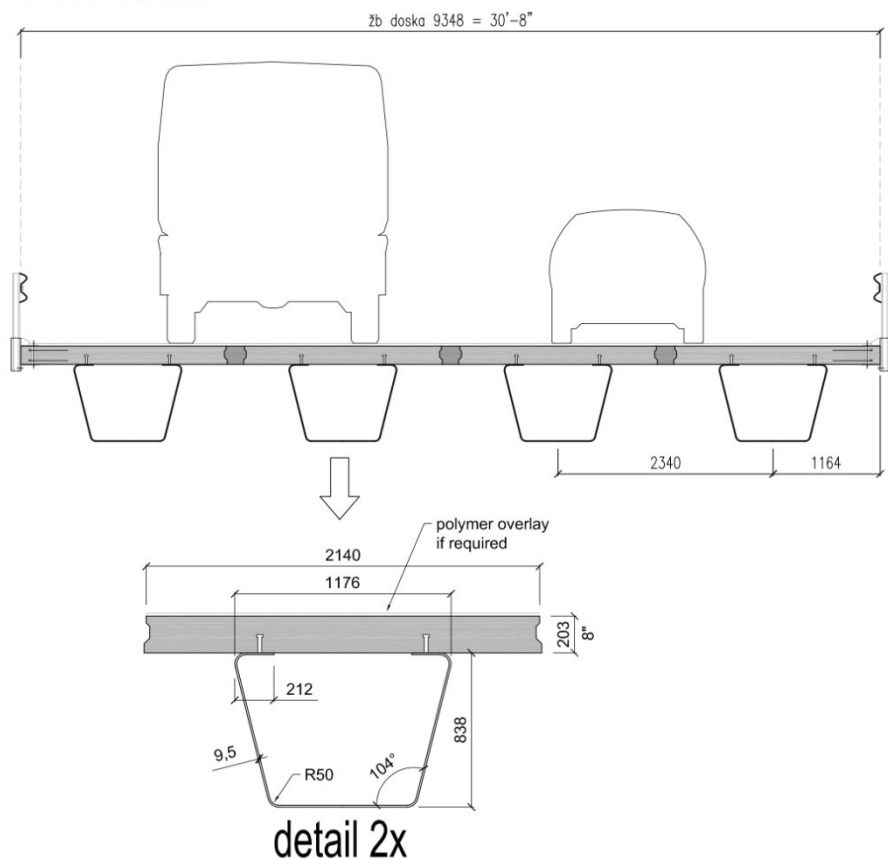
PRVÝ MOST

Brian Keierleber, hlavný inžinier spoločnosti Oddelenie sekundárnych ciest v Buchanan v štáte Iowa, získal grant od FHWA na nahradenie mosta *Amish Sawmill Bridge* na 1358 Dillon Avenue vo Fairbank, Iowa. Tých 350 000 dolárov bolo udelené na základe využitia projektu pomocou „ohýbaného oceľového plechového nosníka podopreného o geosyntetické vystužené ložiská (GRS)“ a položilo základy na dokončenie prvej inštalácie systému modulárneho oceľového U-nosníka tvarovaného ohraňovacím lisom v Spojených štátoch. Stavba na *Amish Sawmill Bridge* začala koncom leta 2015 a bola dokončená v decembri 2015. Výstavba mosta od konceptu na realizáciu do troch rokov bola hodnotená ako pozoruhodný počin v oblasti mostného inžinierstva. Predstavili sa miestni dodávatelia s rôznymi možnosťami kompozitnej dosky pre most. Víťazná ponuka bola zvolená v alternatíve *cast-in-place*, teda monolitické dobetónovanie spriahujúcej dosky na stavenisku. Tento most nebol postavený miestnymi robotníkmi, lebo bol federálne financovaný, ale odvtedy to bola štandardná mostná konštrukcia a žiadna špeciálna odbornosť nebola požadovaná. Most bol slávnostne otvorený 8. januára 2016 stužkovou ceremóniou predstavenou niekoľkými vládami a dopravnými úradníkmi.

Na základe priaznivého ohlasu prvej stavby mosta a celej koncepcie niekoľko štátnych ministerstiev dopravy prejavili záujem o výstavbu ohraňovacích lisov.

Technológia je príťažlivá, pretože ponúka výrazné úspory nákladov, jednoduchosť prepravy a zhotovenia, zrýchlenú výstavbu, variabilnosť návrhu, všestrannosť a udržateľnosť. Oceľ je najrecyklovanejším materiálom na svete a na konci životnosti mosta sa môže zmeniť na iný oceľový výrobok. S toľkými výhodami poskytujú oceľové vaňové nosníky tvarované ohraňovacím lisom potenciál širokého využitia a (snád) pomôžu vyriešiť kritickú dopravnú infraštruktúru v USA.

cross section



NIEKTORÉ ĎALŠIE REALIZÁCIE

V roku 2021 bol otvorený most č. 072-4715 na ceste *Evans Mill Road* v štáte Illinois. Je to šikmý most pod uhlom 50° (merané od osi mosta) s rozponom 20 m v šikmom smere a výškou oceľového nosníka 838 mm. Nosníky boli pripravené ako hotové prefabrikáty s betónovou nadstavbou a šikmými čelami spolu so šikmými betónovými závernými múrikmi. Štyri prefabrikáty sa kládli na stavenisku ako hotové kusy v osovej vzdialenosti 2,34 m. Priečný rez je na obrázku vľavo.

Spriahovacie trne s hlavou sú priemeru $\varnothing 19$ mm, zaliate v betóne v minimálnej výške 100 mm. Hlavné nosníky aj trne sú pozinkované. Prefabrikované kusy sa spájajú navzájom medzi sebou presahom trčiacej výstuže a zálievkou z UHPC.

Zvláštnosťou oproti našim pomerom je, že horná strana betónového prefabrikátu je už priamo pojazdňá (tu aj bez polymérovej krycej vrstvy), čo vyžaduje extrémne presnú montáž, aj keď kategória cesty je podružná. Tiež je tu absencia ríms, takže dodatočné stále zaťaženie (zvršok) je znížené na minimum.

Zvodidlá sú typu *weak-post MGS bridge rail T 31 1x W-beam* montované z boku dosky so stĺpkami typu *S3x5,7* vo vzdialenostiach 95 cm. (*MGS* → *Midwest Guardrail System*).

Hlavný za studena lisovaný nosník je spájaný z dvoch nerovnako dlhých častí skrutkovým spojom s príložkami, čo súvisí zrejme s rozmermi dostupného ohraňovacieho lisu. Výpočtové charakteristiky materiálu oceľového plechu nosníka sú v prevode $f_{yk} = 450$ MPa, betónovej dosky $f_{ck} = 45$ MPa a výstuže $f_{sk} = 415$ MPa.

Nový most nahrádza pôvodný doskový betónový most šírky 540 cm a svetlosti 810 cm, stavba prebiehala za úplnej výluky dopravy.

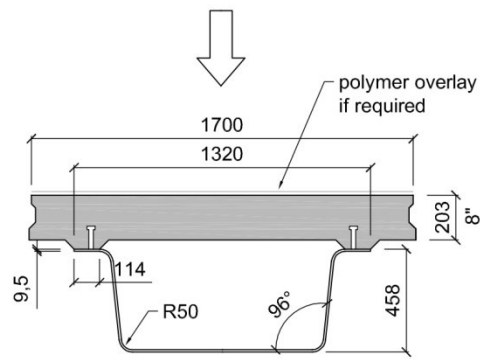
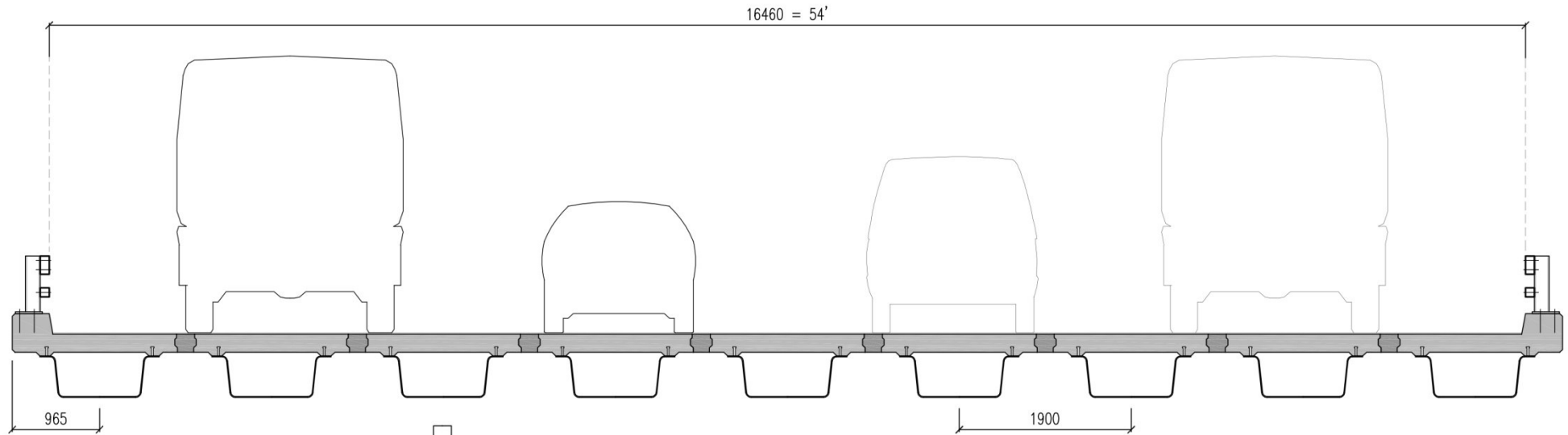
← Most č. 072-4715 na ceste *Evans Mill Road*

Ďalší príklad realizácie v štáte Illinois je most na *Dixon Ave* ponad potok *Howland Creek*.

Priečný rez je zobrazený na ďalšej strane. Tento most je trojpoľový s rozponmi 30+45+30' → 9,14+13,7+9,14 m. Štyri pruhy sú rozmiestnené na šírke 16,46 m medzi zvodidlami, nosná konštrukcia má šírku 17,37 m. Most je kolmý s výškou oceľovej lisovanej časti spriahnutého nosníka 457 mm. Spriahnuté nosníky boli pripravené ako hotové prefabrikáty so zabetónovanou doskou. Oceľový lisovaný nosník aj so spriahovacími trňami sú galvanizované podľa *ASTM A123*. Deväť nosníkov je v osovej vzdialenosti 1900 mm. Nový širší aj dlhší most nahradil nevyhovujúci starý most. Most sa budoval po poloviciach za premávky. Najskôr sa zhotovilo päť nosníkov a po prevedení premávky na časť nového mosta sa dobudovali zvyšné štyri nosníky. Ako zvodidlá je použitý typ *Steel railing Type 2399* s dvomi zvodnicami z uzavretých obdĺžnikových profilov. Stĺpiky *W6x25* sú kotvené zhora do nosnej konštrukcie pomocou štyroch kotevných skrutiek. Most bol dokončený v roku 2023.

Starý most bol vybudovaný v roku 1967 ako doskový trojpoľový nosník. Nové základy pilierov boli navrhnuté pomocou štetovnicových ohrádzok ako steny so zaoblenými čelami. Hlbšie pokračujú ako oceľové pilóty. Pilieri vzhľadom na výstavbu za premávky museli byť zhotovené na iných miestach, ako pôvodné základy, t.j. stredné pole má väčší rozpon. Krajné opory majú železobetónové úložné prahy na oceľových pilótach. Návrhová odolnosť oceľových plášťových pilót bola vyžadovaná 546 kN.

cross section



detail 2x

Most na Dixon Ave ponad potok Howland Creek

V ďalšom uvádzam niekoľko odporúčaní pre výpočtový postup uvádzaný v plánoch navrhovaných výmen mostov v zmysle [1].

$$M_u \text{ (Strength I)} = 1,25 (M_{DC1} + M_{DC2}) + 1,5 M_{DW} + 1,75 M_{LL+IM}$$

kde *Strength I* je základná zaťažovacia kombinácia týkajúca sa bežných vozidiel na moste bez vetra a M_u je výpočtový návrhový moment (ekvivalent ULS v EN)

DC1 – charakteristické (*un-factored*) nekompozitné (len na ocelový prierez) stále zaťaženie

DC2 – charakteristické kompozitné (na celý spriahnutý prierez) dlhodobé stále zaťaženie s výnimkou budúceho mostného zvršku

DW – charakteristické kompozitné dlhodobé stále zaťaženie – budúci mostný zvršok, rimsy, zvodidlá a pod.

LL+IM – charakteristické zaťaženie dopravou a nárazmi s dynamickými prírastkami

$$f_s \text{ (Service II)} = f_{sDC1} + f_{sDC2} + f_{sDW} + 1,3 f_{s(LL+IM)}$$

kde *Service II* je kombinácia zaťaženia SLS v dôsledku zaťaženia vozidlami určená na kontrolu poddajnosti ocelových konštrukcií a preklzu kritických spojov a f_s je súčet napätí

$f_{s(LL+IM)}$:

Charakteristické napätie na okraji príruby na kontrolu ocelevej príruby kvôli vertikálnemu kompozitnému zaťaženiu dopravou a dynamickým prírastkom.

$$f_{s(LL+IM)} = M_{LL+IM} / S_{c(n)} \text{ alebo } f_{sDW} = M_{DW} / S_{c(cr)} \text{ (podľa potreby)}$$

Prierezové charakteristiky používané v jednotlivých prípadoch :

I_s, S_s :

Moment zotrvačnosti a prierezový modul ocelevej časti používaný na výpočet f_s (ULS a SLS) kvôli nekompozitným vlastným zaťaženiam (m^4 a m^3).

$I_c(n), S_c(n)$:

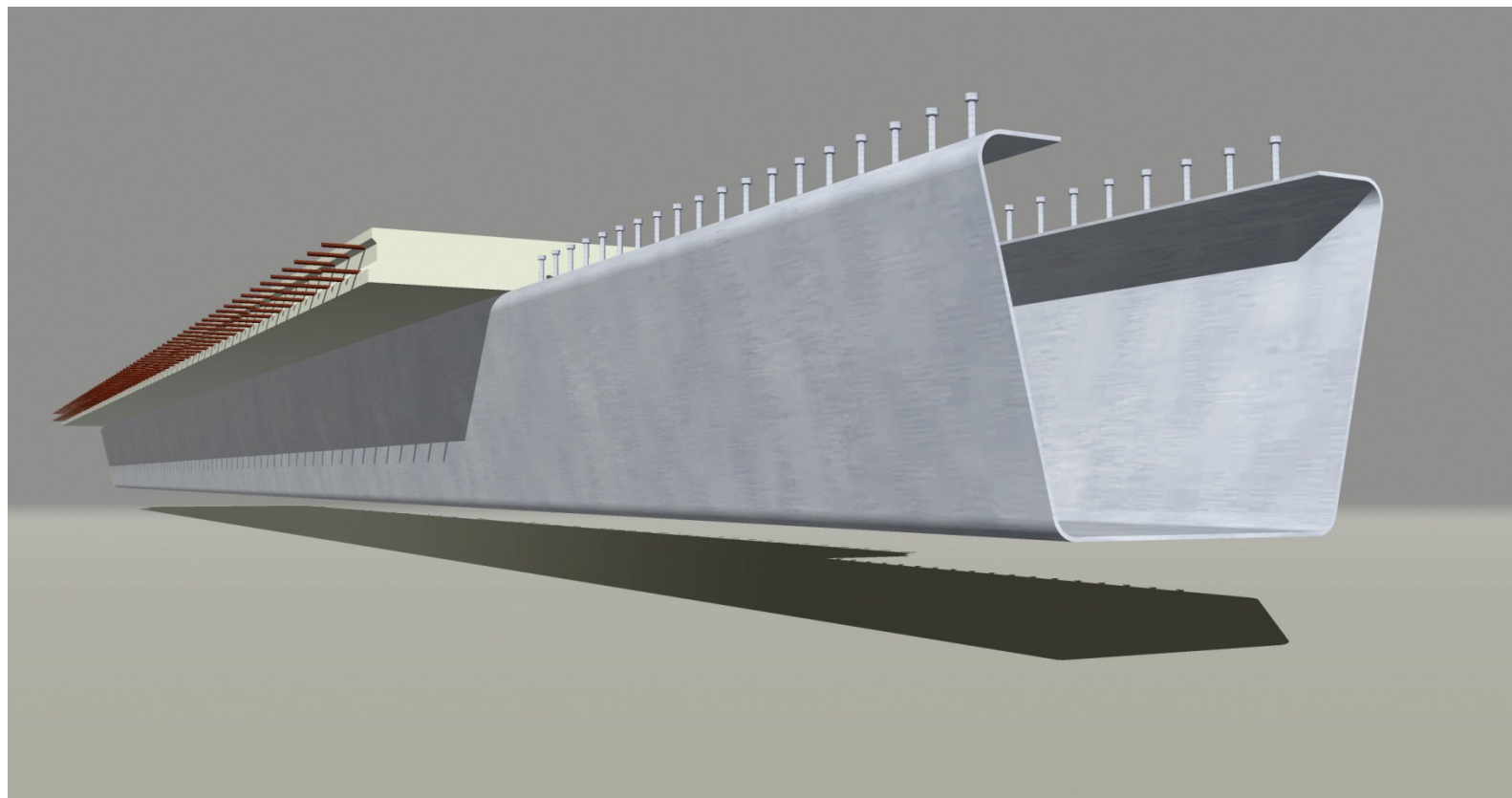
Kompozitný (spriahnutý) moment zotrvačnosti a prierezový modul ocele a dosky na základe modulárneho pomeru „n“, ktorý sa používa na výpočet f_s (ULS a SLS) v netrhlinových úsekoch pre krátkodobé zaťaženie (m^4 a m^3)

$I_c(3n), S_c(3n)$:

Kompozitný moment zotrvačnosti a prierezový modul ocele a dosky na základe modulárneho pomeru „3n“, ktorý sa používa na výpočet f_s (ULS a SLS) v netrhlinových úsekoch pre dlhodobé (superimposed – other than the “dead load”) a stále (dead) zaťaženie (m^4 a m^3)

$I_c(3cr), S_c(3cr)$:

Kompozitný moment zotrvačnosti, prierezový modul ocele a pozdĺžnej výstuže dosky používaný na výpočet f_s (ULS a SLS) v trhlinových úsekoch pre pre oba zaťaženia – dlhodobé (superimposed – other than the “dead load”) a stále (dead) zaťaženie (m^4 a m^3)

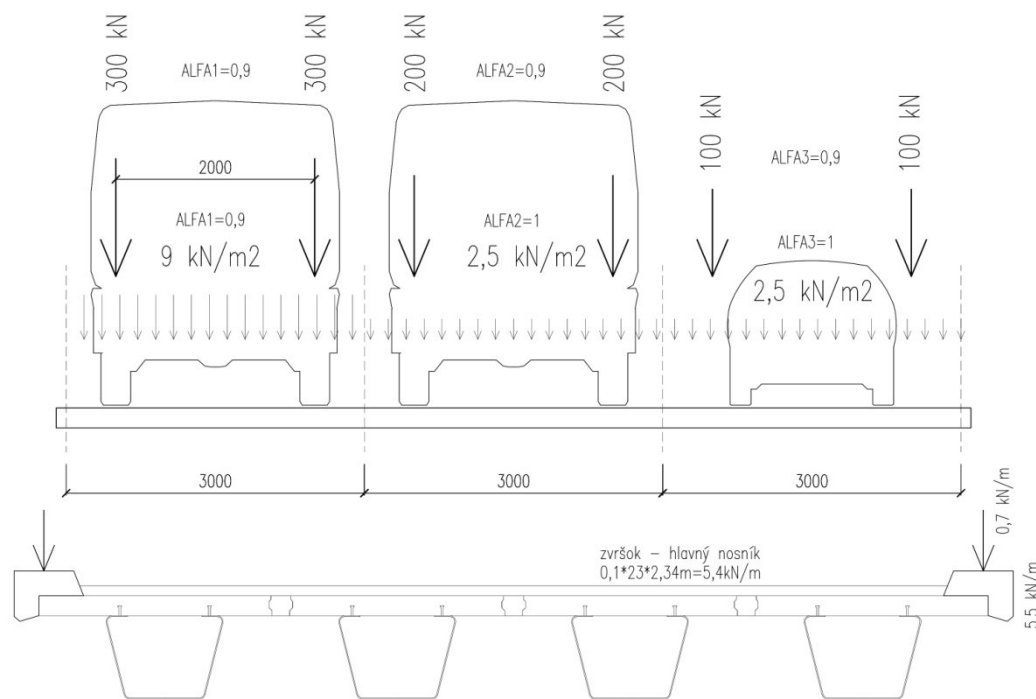


VÝPOČTY

V tejto kapitole je uvedený výpočet spriahnutého mosta, ako by mohol vyzerat' v našich pomeroch v zmysle Eurokódov. Ako základ sme si vybrali most na *Evans Mill Road*, s tým, že sme počítali s hydroizoláciou, asfaltobetónovou pojazdnou vrstvou a rímsami so zvodidlami podľa stredoeurópskych zvyklostí. Ešte sme si to zľahčili tým, že sme zamenili šikmý most za kolmý. Statický rozpon zostal rovnaký 20 m, ako aj vzdialenosti medzi nosníkmi podľa priečného rezu na strane 4. Železobetónová doska hrúbky 20 cm z betónu C30/37 bude odliata na stavenisku in situ bez podoprenia ocelových nosníkov, ktoré budú slúžiť ako podperná konštrukcia. Nosníky sú z oceli S355. Ďalej sme vynechali sme celý rad posúdení (napr. vietor, únava, seizmické účinky, deformácie a pod.) a kombinácií (napr. SLS, mimoriadne). Zamerali sme sa na vlastnú hmotnosť mosta a zaťaženie účinkami dopravy v návrhovej kombinácii MSÚ (ULS) pre zaťažovací model LM1, a to v rozhodujúcom stredovom priereze. Výpočty prebiehali najskôr v pružnostnom režime, lebo stojina hlavného nosníka spadá do triedy prierezu 3. Všetky výpočty prebiehali v zmysle Eurokódov, a to jednak v zaťaženiach a jednak v materiálových vlastnostiach prvkov.

Prierezové charakteristiky čistého ocelového nosníka z priečného rezu na strane 4 :

$$A = 0,028275 \text{ m}^2 \quad I = 0,00279648 \text{ m}^4 \quad \text{poloha ťažiska : } x_d = 0,36 \text{ m} \quad x_h = 0,47 \text{ m} \quad W_d = 0,007746 \text{ m}^3 \quad W_h = 0,005863 \text{ m}^3$$



← Dopravné zaťaženie a zaťaženie zvršku

Zaťaženia a napätia v štádiu betonáže :

| | | |
|--|-------------------|------------|
| betónová doska | 2,34m*0,2m*25*1,1 | 11,7 kN/m |
| koeficient 1,1 predstavuje rôzne vplyvy pri betonáži | | |
| oceľový nosník | 0,028275m²*78,5 | 2,22 kN/m |
| | | 15,12 kN/m |

$$M^k = 20^2 * 15,12 / 8 = 756 \text{ kNm} \quad M_{Ed} = 756 * 1,35 = 1020,6 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{Ed} / W_h = 174 \text{ MPa} \quad \sigma_d = M_{Ed} / W_d = 131 \text{ MPa} \quad \text{vid'. strana 11} \rightarrow \rightarrow$$

V ďalších fázach už zaťaženia pôsobia na spriahnutý prierez, kde rozdelenie napätia po výške prierezu je o niečo zložitejšie ako v nekompozitnom priereze.

Dopravné zaťaženia a zaťaženia zvršku boli namodelované v metóde konečných prvkov do sústavy, ktorá zohľadňuje rozpredelenie vnútorných síl do jednotlivých nosníkov po šírke prierezu.

Výsledky rozpredelenia momentov v kombinácii MSÚ pre zaťaženie dopravou (krátkodobé účinky) sú na obrázku na strane 9. Ako vidno, najviac je zaťažený krajný nosník. Analogicky je to aj pre zaťaženie zvrškom (dlhodobé účinky), kde v krajnom nosníku vychádza návrhový moment $M_{Ed} = 609 \text{ kNm}$.

Pri spriahnutom priereze sme si vypomohli malými programíkmi v Exceli, lebo

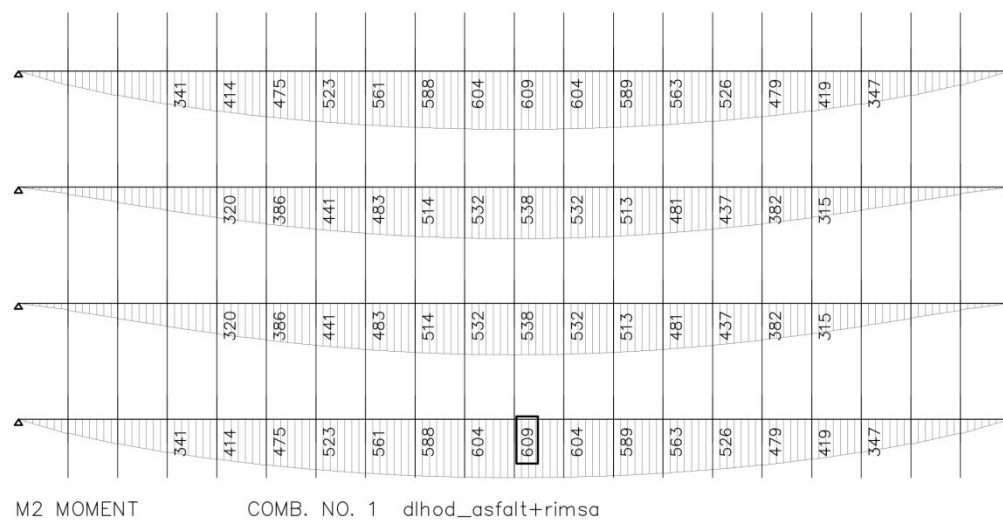
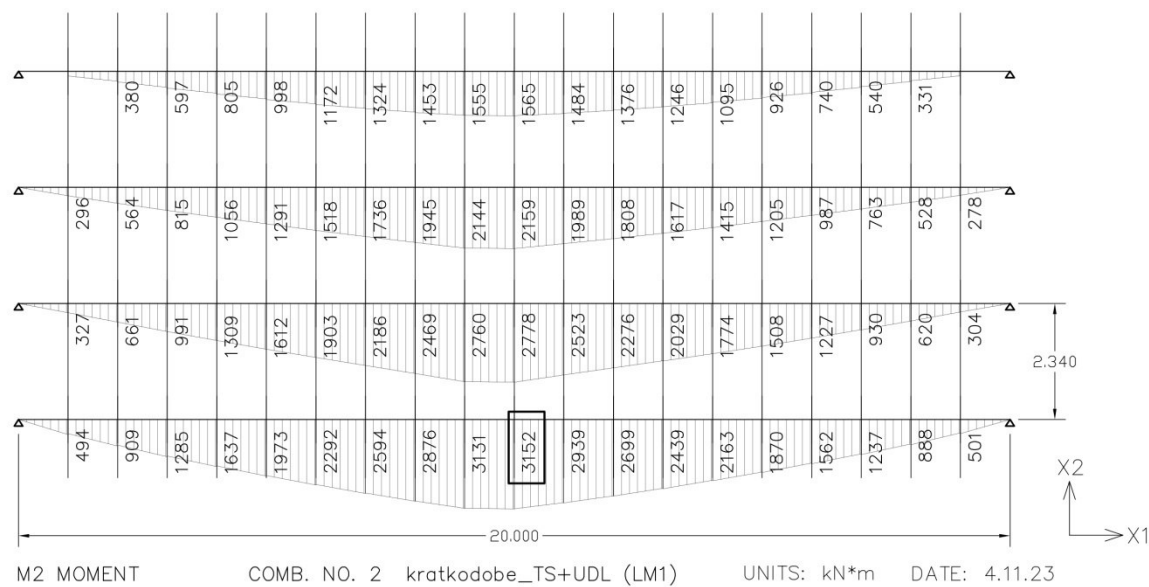
možnosť počtárskej chyby sa v dlhších sledoch vzorcov neúmerne zvyšuje. V pružnostnom režime sa dlhodobé a krátkodobé účinky zjednodušene regulujú podľa pomeru $n = E_{ocel} / E_{betón}$, podľa ktorého sa aproximuje betónová časť prierezu na oceľový, pričom pre dlhodobé účinky sa zavádza pomer $3n$. Podobne sú ďalej uvedené výsledky pre plasticitný výpočet, ktorý je ešte pracnejší, lebo závisí na tom, v ktorom mieste prierezu prechádza neutrálna os, kde sú minimálne 4 reálne možnosti pre kladný moment.

Pre jednoduché programy v Exceli sme „U“ profil (alebo tiež nazývaný korýtkový, vaňový a pod.) aproximovali do „ička“ s rovnakými prierezovými vlastnosťami, tento obrázok je na strane 10. Grafické výsledky pružnostnej analýzy sú na strane 11. V hornej časti obrázku sú výsledky pre „stredoeurópske pomery“ podľa tvaru prierezu uvedeného vľavo hore toho istého obrázku. Ako vidno, napätie v dolnej prírube oceľového nosníka je oproti deklarovanej oceli S355 prekročené.

Keď prepočítame príklad tak, akoby sa most vyrábal niekde v stredovýchode USA na cestách nižšej triedy, t.j. bez zvršku, rímsy a naviac ako hotový spriahnutý prefabrikát vo výrobe s podloženým U–profilom, napätie v dolnej prírube by za rovnakým podmienok výpočtu neprekročilo medzi kľzu ocele (dolná časť obrázku na strane 10).

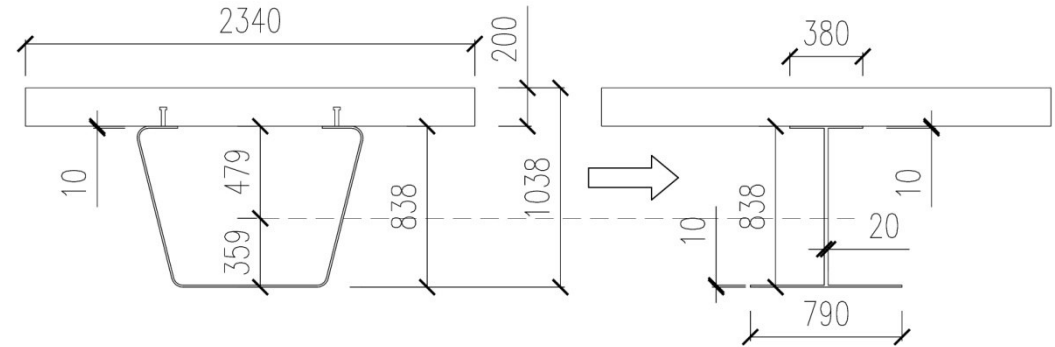
Aby výpočet vyhovoval ustanoveniam noriem EN, máme niekoľko možností :

- zameniť materiál oceľového nosníka za oceľ S450 a viac
- vynechať rímsu a asfaltový zvršok (resp. namiesto zvršku zhotoviť len ochranný polymérový povlak do 2 cm) a súčasne betónovať spriahujúcu dosku na podoprenom oceľovom nosníku až do vytvrdnutia betónu
- pokúsiť sa splniť podmienky pre možnosť uplatnenia plastickej odolnosti prierezu. To by bolo vtedy, ak by sa nám podarilo zatriediť prierez minimálne do triedy 2. Avšak stojina prierezu je trieda 3. Je tu istá možnosť podľa čl. 5.5.2 (3) normy [7] s odkazom na čl. 6.2.2.4 normy [5] a obr. 6.3, čo je pomerne zložitý výpočet presahujúci rámec tohto článku. Je tu aj ďalšia úvaha, a to že neutrálna os prechádza hornou pásnicou a tým je celá stojina ťahaná. Toto však nie je normovo dostatočne podchytené.



Rozpredelenie vnútorných síl na jednotlivé nosníky (MSÚ)

Aproximácia korýtkového prierezu na „I“ profil pre zjednodušené výpočty →



Pružná únosnosť spriahnutého ocelobetónového prierezu

Oceľový nosník symetrický k zvislej osi. Namáhanie kladným momentom

2018
© SSK

VSTUPNÉ ÚDAJE

| | |
|---|----------|
| H _b výška betónu [mm] | 200 |
| H _o výška oceľ. nosníku [mm] | 838 |
| B _{b_eff} šírka bet. časti [mm] | 2340 |
| A _o plocha oceľ. prierezu [cm ²] | 281 |
| I _o oceľový nosník [cm ⁴] | 2,81E+05 |
| t _a ťažisko oceľ. prierezu odspodu [mm] | 359 |
| d _i medzera, kónus [mm] | 0 |
| E _o /E _{cm} E _{cm} -kratkod., E _{cm} /3-dlhod., E _{cm} /2-prijatelne | 19,00 |
| M _{Ed} [kNm] | 609 |
| V _{Ed} [kN] šmyková sila | 155 |

dlhodobé - asfalt+rímša+zvodidlá
U-beam

| | |
|------------------------|------|
| Abi [cm ²] | 246 |
| H [mm] | 1038 |

TEXT

Pružná únosnosť spriahnutého ocelobetónového prierezu

Oceľový nosník symetrický k zvislej osi. Namáhanie kladným momentom

2018
© SSK

VSTUPNÉ ÚDAJE

| | |
|---|----------|
| H _b výška betónu [mm] | 200 |
| H _o výška oceľ. nosníku [mm] | 838 |
| B _{b_eff} šírka bet. časti [mm] | 2340 |
| A _o plocha oceľ. prierezu [cm ²] | 281 |
| I _o oceľový nosník [cm ⁴] | 2,81E+05 |
| t _a ťažisko oceľ. prierezu odspodu [mm] | 359 |
| d _i medzera, kónus [mm] | 0 |
| E _o /E _{cm} E _{cm} -kratkod., E _{cm} /3-dlhod., E _{cm} /2-prijatelne | 6,36 |
| M _{Ed} [kNm] | 3152 |
| V _{Ed} [kN] šmyková sila | 526 |

krátkodobé zať. - doprava
U-beam

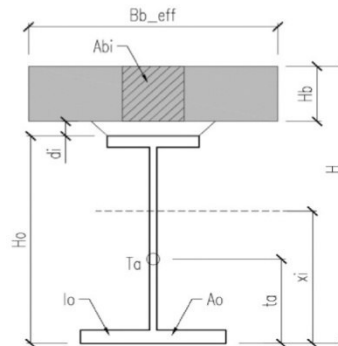
| | |
|------------------------|------|
| Abi [cm ²] | 736 |
| H [mm] | 1038 |

TEXT

| | |
|------------------------------------|----------|
| B _{b_nahr} [mm] | 123 |
| A _i [cm ²] | 527 |
| x _i [cm] | 62,97 |
| J _i [cm ⁴] | 7,29E+05 |
| W _{di} [cm ³] | 11585 |
| W _{hi} [cm ³] | 17864 |

| | |
|--------------------------------|-------|
| sigma _d oceľ [Mpa] | 52,57 |
| sigma _h betón [Mpa] | 1,79 |

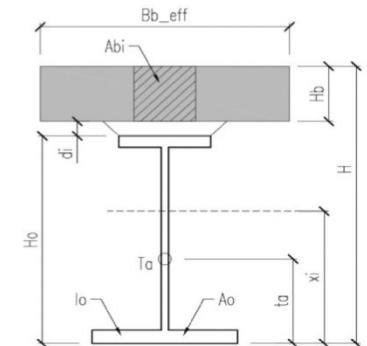
| | |
|---|-----|
| Návrhová šmyková sila na jednotku dĺžky pre tréne | |
| v [kN/m] | 161 |



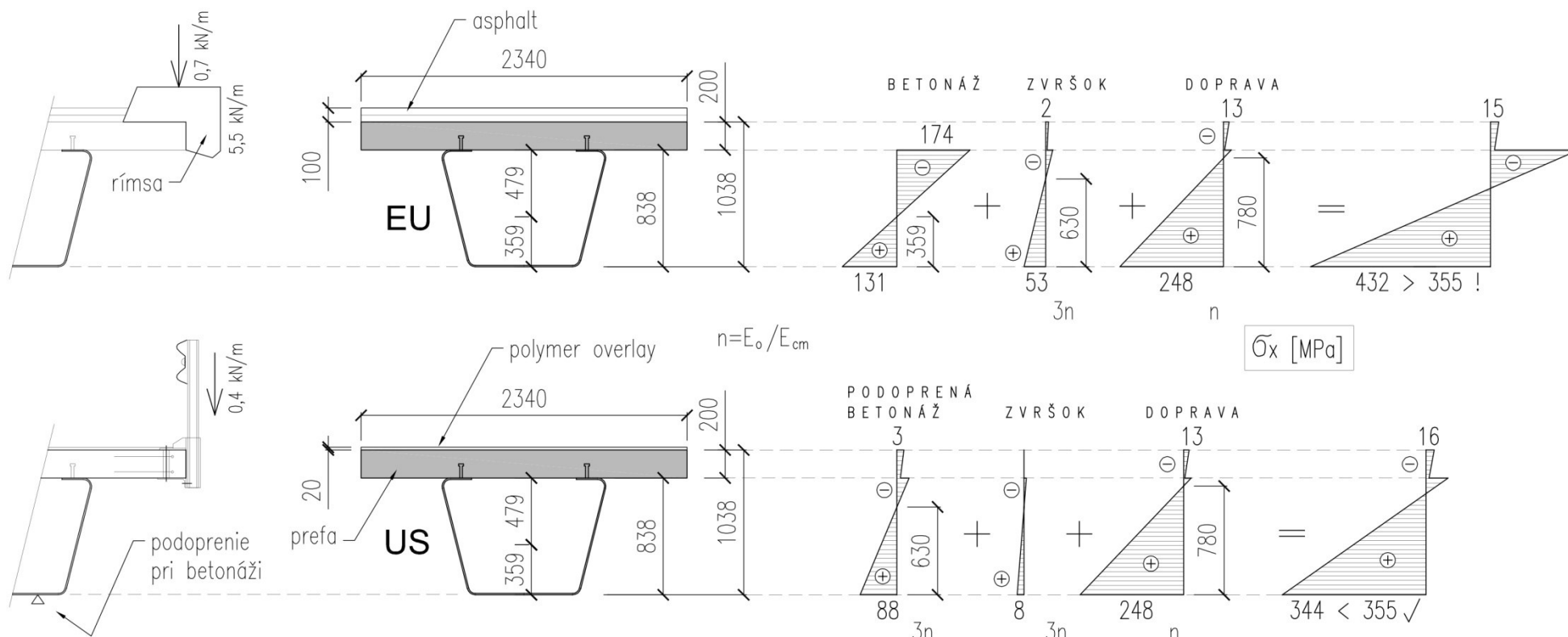
| | |
|------------------------------------|----------|
| B _{b_nahr} [mm] | 368 |
| A _i [cm ²] | 1016 |
| x _i [cm] | 77,82 |
| J _i [cm ⁴] | 9,87E+05 |
| W _{di} [cm ³] | 12684 |
| W _{hi} [cm ³] | 37986 |

| | |
|--------------------------------|--------|
| sigma _d oceľ [Mpa] | 248,50 |
| sigma _h betón [Mpa] | 13,05 |

| | |
|---|-----|
| Návrhová šmyková sila na jednotku dĺžky pre tréne | |
| v [kN/m] | 627 |



Pružnostná analýza



TOK ÚDAJOV :

Horná časť obrázka ↑ – spodná príruha – 131 MPa → zo strany 8,

53 MPa – zo strany 9 → 609 kNm na stranu 10 – Excel → $M_{Ed} = 609$ kNm → $\sigma_{d ocel} = 53$ MPa

248 MPa – zo strany 9 → 3152 kNm na stranu 10 – Excel → $M_{Ed} = 3152$ kNm → $\sigma_{d ocel} = 248$ MPa

Plastic bending resistance of composite beam

Plastická odolnosť spriahnutého prierezu

Oceľový nosník symetrický k zvislej osi, namáhanie ohybom

VSTUPNÉ ÚDAJE

| | |
|---|----------|
| Výška betónovej dosky "d" [m] | 0,2 |
| Efektívna šírka bet. dosky "B" [m] | 2,34 |
| Výška kónusu "di" [m] nezapočítaná | 0 |
| Plocha oceľového nosníka "Aa" [m ²] | 0,028275 |
| Výška oceľového nosníka "ha" [m] | 0,838 |
| Ťažisko oceľ. nosníka "ta" [m] zhora | 0,479 |
| Šírka hornej pásnice nosníka "Ba" [m] | 0,38 |
| Výška hornej pásnice nosníka "dc" [m] | 0,01 |
| Hrúbka stojiny nosníka "t1" [m] | 0,02 |
| Plocha výstuže "As" [m ²] | 0,00201 |
| Vzdialen. ťažiska výstuže "ds" [m] zhora | 0,12 |
| Medza klzu nosníka "fy" [kN/m ²] | 355000 |
| Medza klzu výstuže "fsk" [kN/m ²] | 500000 |
| Pevnosť betónu v tlaku "fck" [kN/m ²] | 30000 |
| Súčiniteľ materiálu nosníka "γ _{m0} " | 1,00 |
| Súčiniteľ materiálu výstuže "γ _s " | 1,15 |
| Súčiniteľ materiálu betónu "γ _c " | 1,50 |

Medzivýsledky

| | |
|---|--------|
| Návrh. hodn. mat. nosníka "fyd" [kN/m ²] | 355000 |
| Návrh. hodn. mat. výstuže "f _{sd} " [kN/m ²] | 434783 |
| Návrh. hodn. mat. betónu "f _{cd} " [kN/m ²] | 20000 |
| Ta od horného povrchu "da" [m] | 0,679 |
| Neutrálna os "x" [m] kladný moment M+ | 0,208 |
| Neutrálna os "x" [m] záporný moment M- | 0,665 |

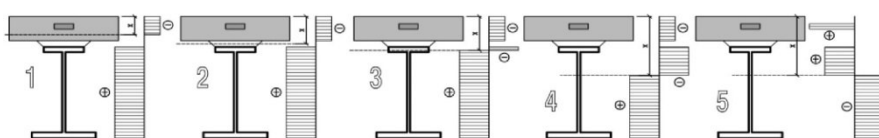
CHYBOVÉ SPRÁVY

OK
OK

VÝSLEDKY

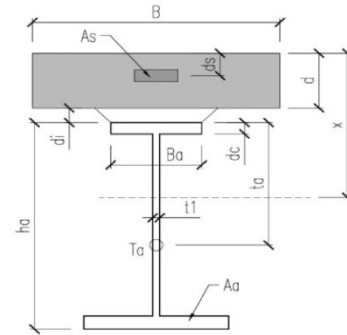
| | |
|------------------------------|------|
| M _{pl,Rd (+)} [kNm] | 5596 |
| M _{pl,Rd (-)} [kNm] | 3328 |

kladné momenty (4x)



záporný moment

www.budinskyssk.sk © SSK 2023
STN EN 1994-2



TEXT

| |
|---------------|
| U-BEAM |
| 20 m |
| EN |

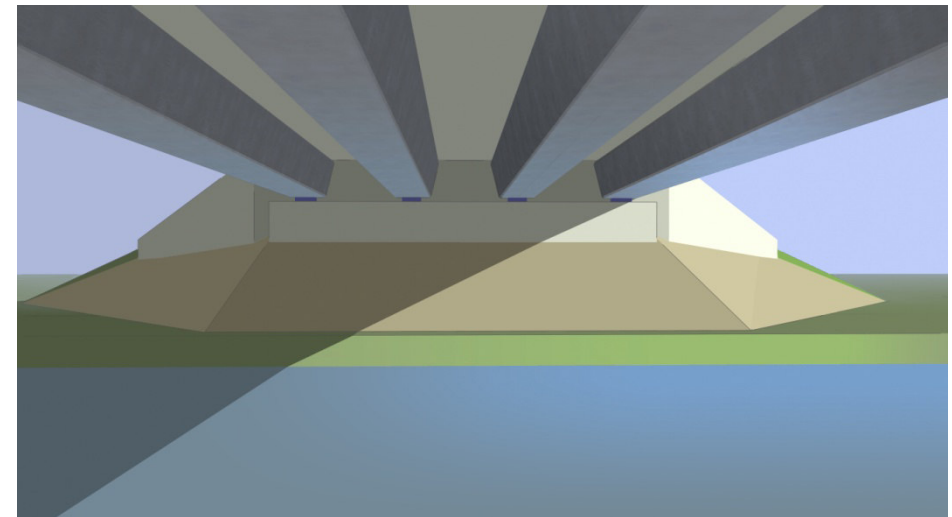
| | | | |
|------------------|--------|-----------------|----------|
| Pomocné hodnoty | ΔP | 2082 | |
| X _{1,2} | 0,252 | Aac | 0,00293 |
| M _{pl1} | 0 | Ba x dc | 0,0038 |
| M _{pl2} | 0 | X ₃ | 0,00772 |
| M _{pl3} | 5596 | X ₄ | -0,04341 |
| M _{pl4} | 0 | X ₅ | 0,45533 |
| Aat | 0,0129 | X _{4t} | 0,0099 |
| | | X _{5t} | 0,1692 |
| | | P_pasn | 1349 |

PODMIENKY

- fy < 460 Mpa
- požaduje sa plné spriahnutie
- betonárska výstuž v tlaku nepôsobí

SPRÁVY

OK



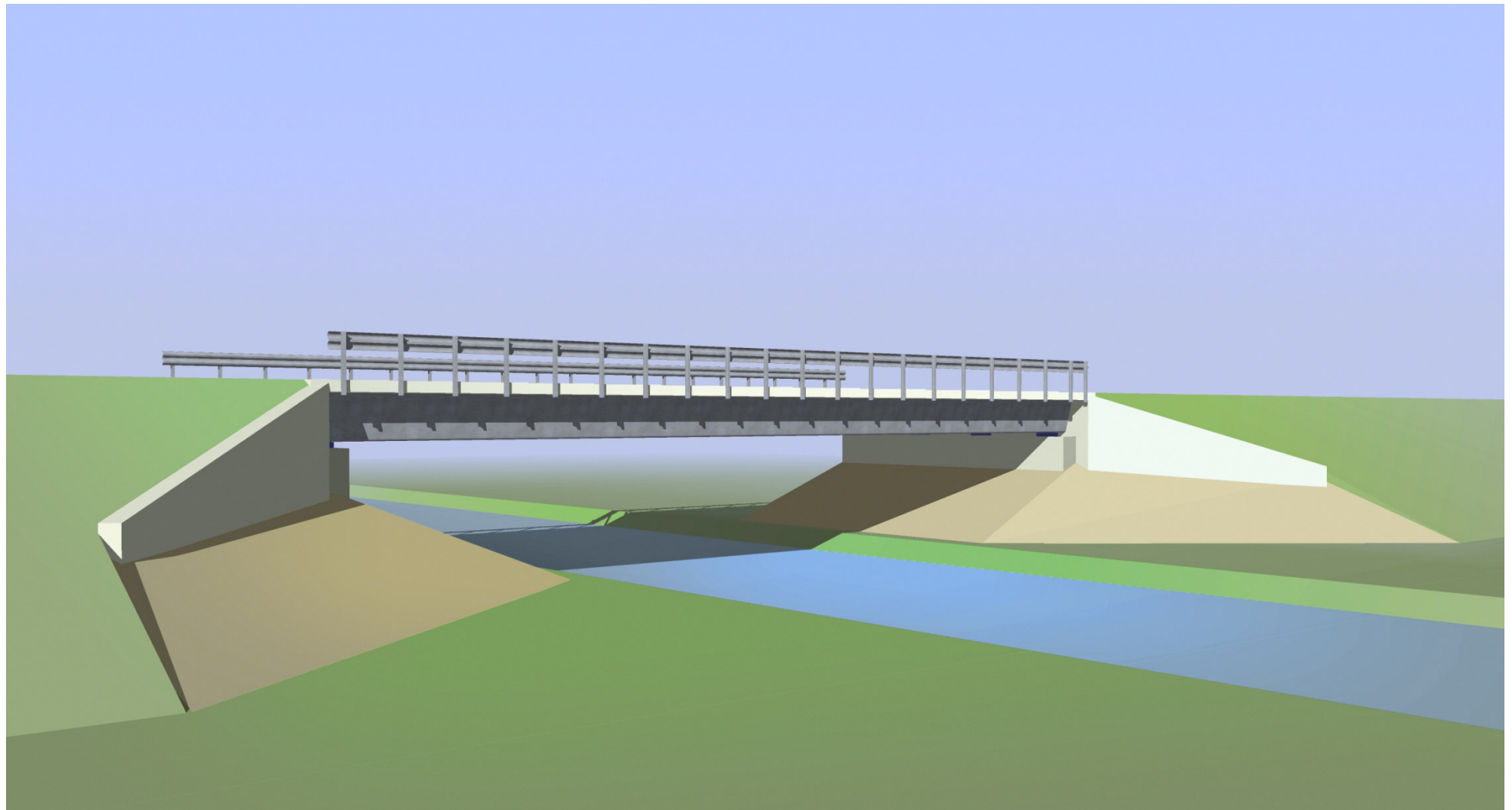
Maximálny moment v kombinácii MSÚ :

$$M_{Ed, max} = 1021 + 609 + 3152 = 4782 \text{ kNm} < 5596 = M_{pl,Rd}$$

↑ str.8 ↑ str.9 ↑ str.9

→ prípad 3 – neutrálna os pretína hornú pásnicu tr.1

→ musia byť splnené podmienky na strane 8 dole



Niektoré ZDROJE, použité pri tvorbe článku :

- [1] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012
- [2] Highway Bridge Superstructure Engineering LRFD, Approaches to Design and Analysis, Narendra Taly, 2015
- [3] STN EN 1990/A1 Zásady navrhovania konštrukcií, príloha A2 – Použitie pre mosty
- [4] STN EN 1991-2 Zatiaženie mostov dopravou
- [5] STN EN 1993-1-1 Navrhovanie ocelových konštrukcií
- [6] STN EN 1994-1-1 Navrhovanie spriahnutých ocelobetónových konštrukcií. Všeobecné pravidlá
- [7] STN EN 1994-2 Navrhovanie spriahnutých ocelobetónových konštrukcií. Všeobecné pravidlá a pravidlá pre mosty
- [8] Gregory K. Michaelson, Karl E. Barth : A New Shape for Short Span Steel Bridges, Structural Design, March 2017
- [9] Evaluation of a Folded Plate Girder Bridge System, Bridge Engineering Center, IOWA STATE UNIVERSITY, June 2017

Všetky obrázky a prepočty v tomto príspevku sú pôvodné a nekopírované.
Pri zostavovaní článku boli použité nasledovné POČÍTAČOVÉ PROGRAMY :

STRAP, SketchUp, AutoCad LT, Microsoft Word, Microsoft Excel, PDF Creator, IrfanView, Corel Draw