

Viaduc de la Scyotte in Grattery, FRANCE

weathering steel

*static
behavior*

*statické
pôsobenie*

*theory, analysis
Vladimír Budinský SSK*



KEYWORDS : viaduc, bridge, pont, computation, weathering steel, calculation, structural analysis, most, statický výpočet, SSK

ÚVOD (Introduction)

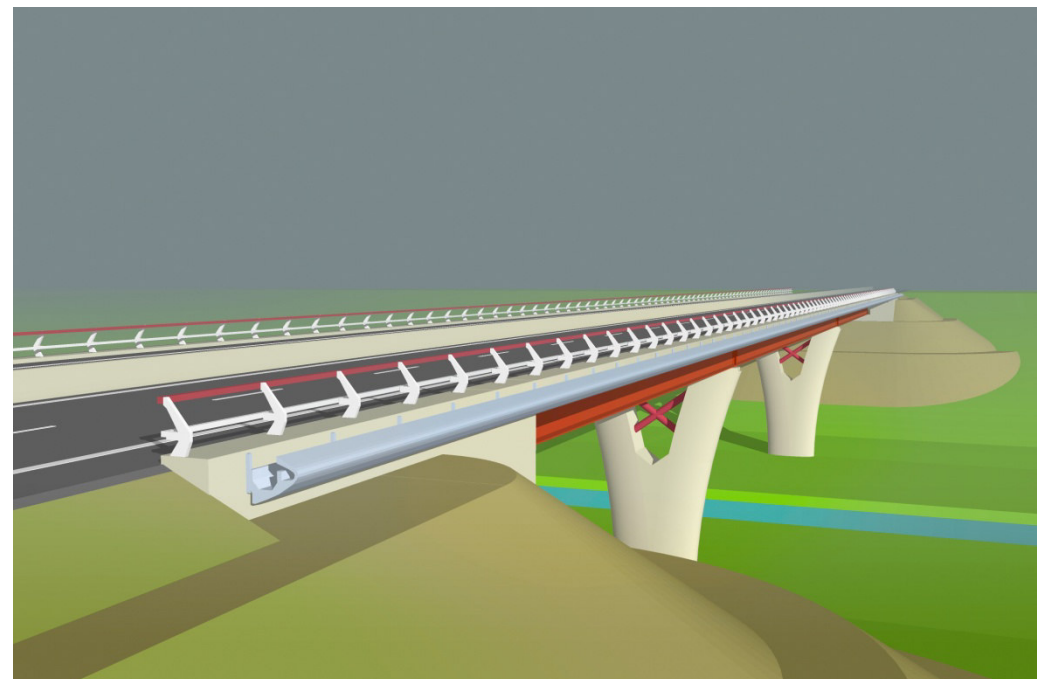
Vo februári v roku 2017 sa začal stavať most cez údolie riečky *La Scyotte* (tabuľkový názov *Viaduc de Grattery*) na obchvate okolo mesta *Port-sur-Saône* na ťahu R19 (E54, N19). Obchvat je súčasťou širšieho projektu rozvoja spojenia *Langres* (A 31) – *Delle* (švajčiarska hranica) cez *Vesoul*. Na trase sú tri mosty, najväčší je *Viaduc de Port-Sur-Saône* cez rovnomennú rieku s rovnakou typológiou ako *Viaduc de la Scyotte*.

ÚČASTNÍCI VÝSTAVBY

Investor :	DREAL Bourgogne Franche-Comté
Projektový manažér :	SIR Alsace Franche-Comté (DIR East) Autori : Lionel Bogner, Brice Lhuillier
Dodávateľ, výroba :	Eiffage Génie Civil a Eiffage Métal Valentin Meyer, Ludovic Picard
Koniec výstavby :	2018

POPIS KONŠTRUKCIE

Počet pólí :	3
Rozpon :	57 + 76 + 57 m
Šírka mostovky :	21,7 m
Výška nad terénom :	~ 25 m
Šírka medzi zvodidlami :	9,5 m + 9,5 m
Typ konštrukcie :	spriahnutý ocelobetónový dvojt trám
Spôsob výstavby :	vyšúvanie

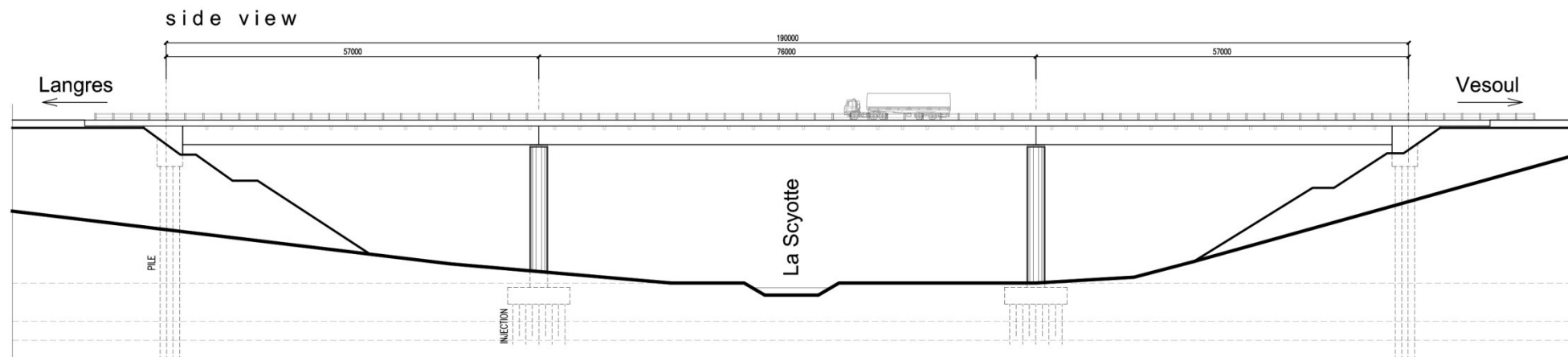


Zvláštnosťou mosta je použitie tzv. *atmosférickej ocele* (*weathering steel*), iné názvy tiež *poveternostná ocel'* alebo *patinujúca ocel'*. Správny technický názov je „konštrukčná ocel' so zlepšenou odolnosťou proti atmosférickej korózii“. Táto ocel' je konštrukčná ocel' s nízkym obsahom legujúcich prvkov, ktorá vo vhodnom prostredí vytvára príľnavú ochrannú vrstvu oxidu, nazývanú aj „patina“, čo minimalizuje ďalšiu koróziu, a preto sa môže použiť ocel' odolná voči poveternostným vplyvom bez dodatočného náteru.

Vzhľad, textúra a zrelosť vrstvy oxidu závisí od doby trvania a stupňa expozície, ako aj okolitej atmosféry. Postupom času vrstva oxidu prechádza z červeno-oranžovej farby do tmavohnedej farby (niekedy aj s jemnými odtieňmi fialovej). Akonáhle je oxidačný jav stabilizovaný, oxidová vrstva je hrdzavohnedej farby s jemnozrnným vzhľadom. Atmosférická oceľ už potom nevyžaduje takmer žiadnu údržbu a nátery, čím sa výrazne znížia „náklady na životný cyklus“ (LCC) – *Life Cycle Cost*. Dobře fungujúci most z poveternostnej ocele je teda takmer bezúdržbový a tak má výhody z hľadiska prevádzky v porovnaní s náterovým systémom oceľového a údržbou železobetónového mosta.

Na výpočty mosta boli autormi použité špecializované softvéry

- *MixteBridge* (fa CCES) na komplexný výpočet spriahnutých mostov pomocou prúťového modelu
- *Sofistik* na komplexný priestorový model FEM k podrobným výpočtom spriahnutej dosky, interakcie so základmi, seizmická analýza a iné



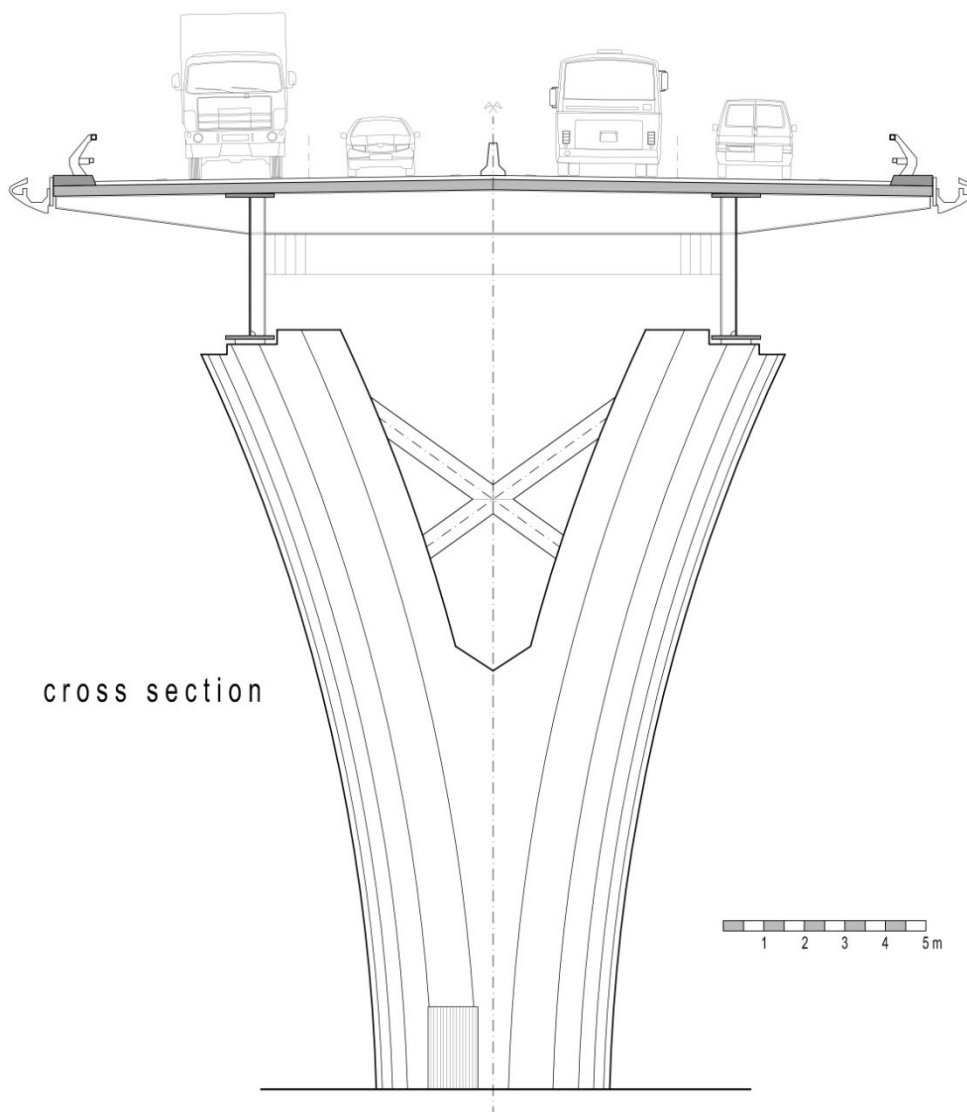
↑ Pozdĺžny rez

KONŠTRUKČNÉ PODROBNOSTI

Stodevätidesiat metrov dlhý spojitý dvojtrám podopierajú dve koncové masívne opory a dva medziľahlé stĺpy. Oceľové nosníky sú vysoké zvarané „ička“ vystužené priečnymi výstuhami len zvnútra mosta po 3,80 metroch. Z vonkajšej strany sú v tej istej rozteči umiestnené trapézové konzoly, ktoré zabezpečujú podoprenie železobetónovej dosky hrúbky 250 mm. Na hornom povrchu oceľových konzol, vodorovných výstuh medzi nosníkmi a hlavných nosníkov sú rozmiestnené navarené spriahujúce trne. Železobetónová doska je vyskladaná z pozdĺžnych prefabrikátov ukladaných na okraje oceľových nosníkov a v konečnom dôsledku zmonolitnená zálievkami s trňami.

Stĺpy sú naspodku oválneho dutého tvaru, smerom nahor sú rozštiepené na dve časti, ktoré sú vystužené skríženými oceľovými trubkami. Ložiská sú elastomérové.

POZNÁMKY K VÝSTAVBE Prefabrikované železobetónové dosky sa vyrábali na stavenisku. Oceľové nosníky sa vyrábali v alsaskej továrni v Lauterbourgu, ktorá sa špecializuje na výstavbu mostov a inžinierskych stavieb. Kostra viaduktu bola dodaná na miesto v 8 sekciách (t.j. 16 nosníkov) v dĺžkach od 19 do 30 m. Najťažší nosník vážil 62 t. Na mieste bol potom most zmontovaný zvaraním a zostavený do troch sekcií, ktoré sa postupne vysúvali pomocou montážneho nosu po teflónových ložiskách.



Priečny rez

ZAKLADANIE

Geotechnický prieskum je založený na prácach v teréne :

- jadrové vrtý
- tlakomerné vrtý
- dynamické penetračné vrtý
- kopané sondy

Na laboratórnych testoch :

- mechanické testy pôdy
- testy stlačiteľnosti
- identifikácia zemín
- testy PROCTOR

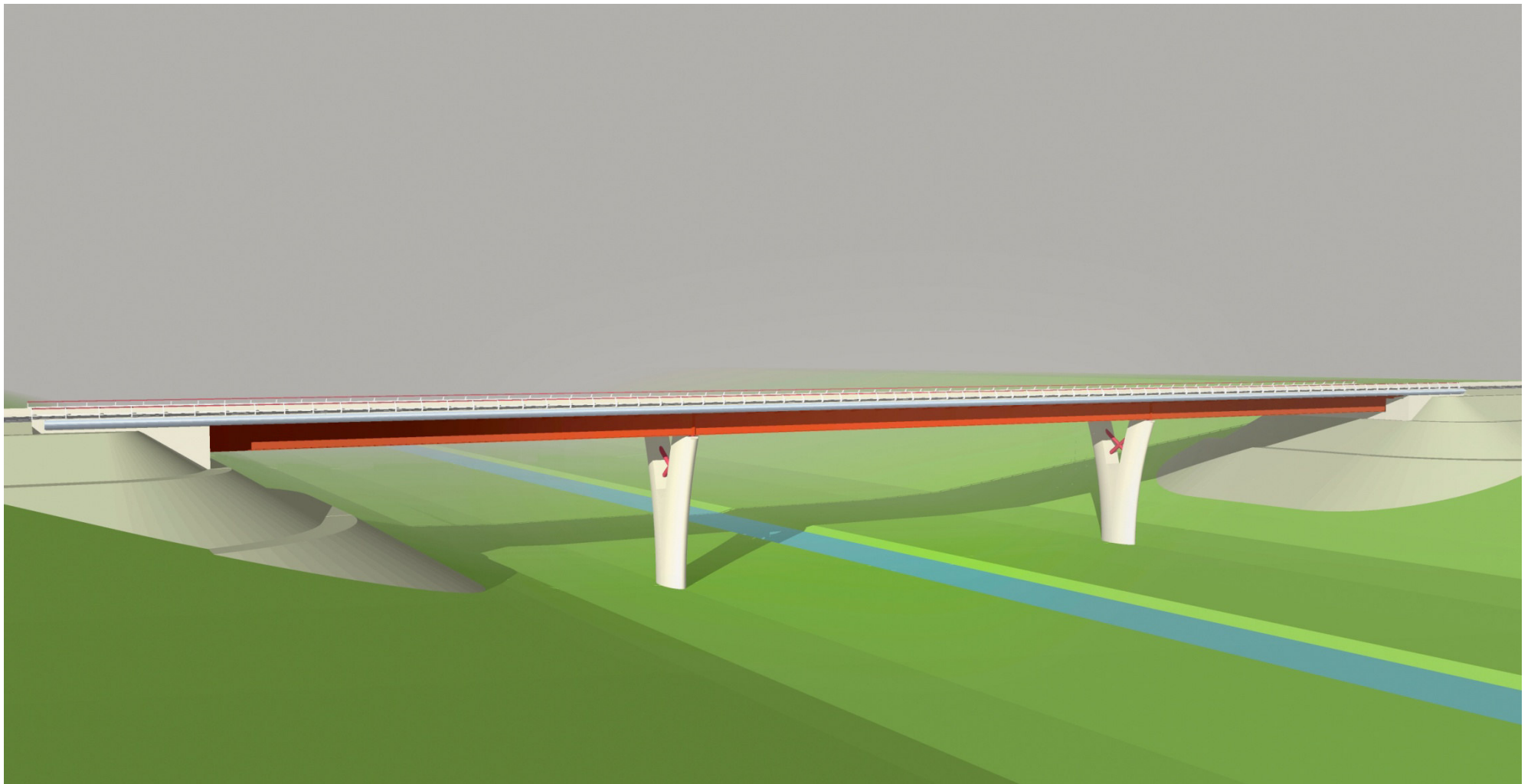
Vypracovanie geotechnickej projektovej štúdie :

- vypracovanie geotechnického modelu
- definícia metód zemných prác (prejazdnosť, ťažba a pod.)
- spôsoby opätovného použitia materiálov
- stabilita násypov a zárezov → súvisiace stavebné opatrenia
- hrúbky krycích vrstiev a súvisiace akceptačné pravidlá
- možnosti úpravy pôdy na vytvorenie krycej vrstvy
- všeobecné ustanovenia pre odvodnenie

Geotechnické štúdie pre fázu projektovania :

- geotechnické modely
- parametre dimenzovania
- spôsoby zakladania a ich zdôvodnenie
- dimenzačné výpočty a spôsoby ich realizácie a iné.

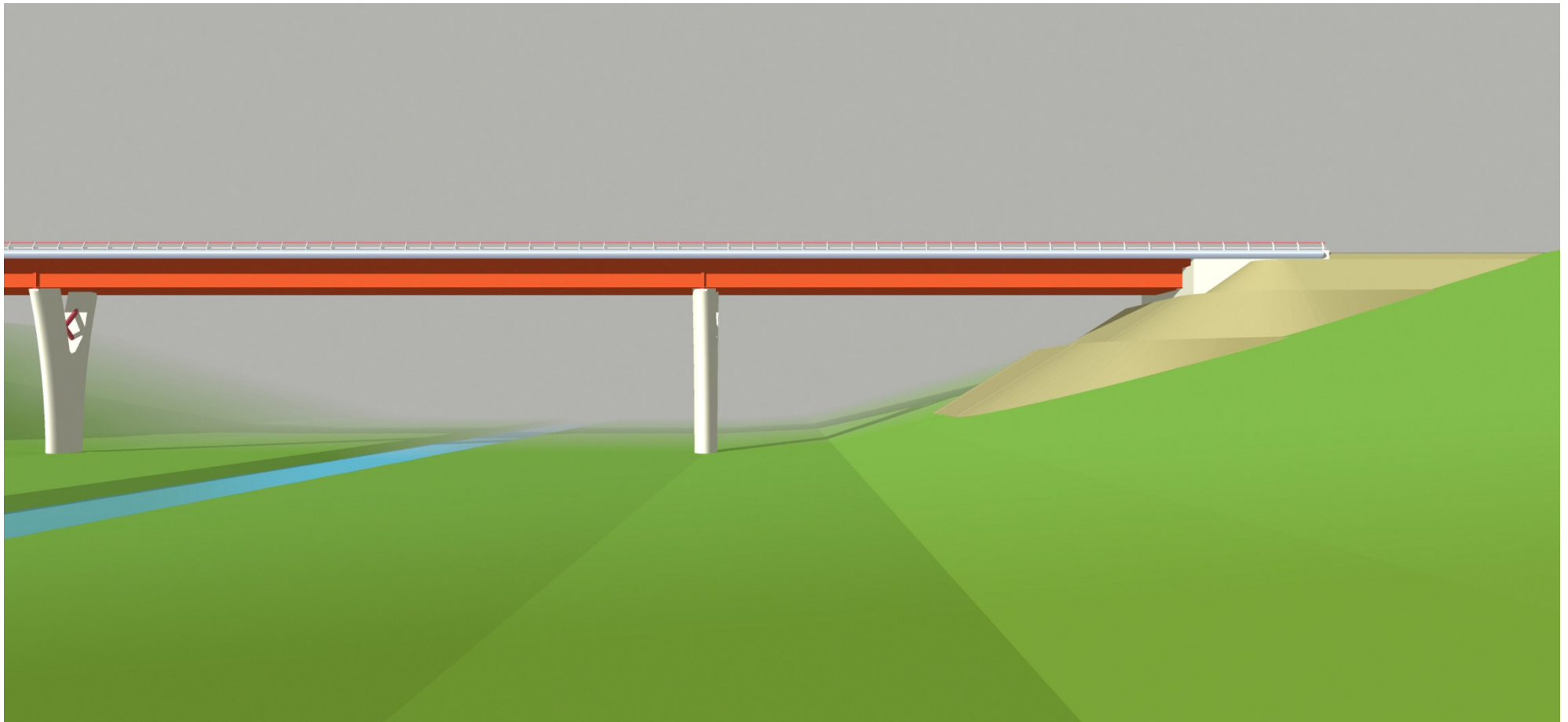
Základové pomery sú charakterizované hlavne vápencom v rôznej konzistencii. Celkom na povrchu sú vrstvy ílovitých naplavenín. Ďalej do hĺbky nasleduje vrstva viac alebo menej rozpukaného vápenca a nakoniec zdravý vápenec, ktorý však môže byť pretkaný krasovými kavernami rôznej veľkosti. Táto posledná skutočnosť spôsobila najväčšie problémy pri zakladaní stavby. Rozhodlo sa, že most bude založený vo vrstve zdravých vápencov pod oporami na pilotách a pod stĺpmi bude veľkoplošná pätká na injektovanom podloží. Výskyt kavern, ako aj rozpukanosť vápenca sa menil od miesta k miestu a preto boli realizované deštrukčné vrtý na lokalizáciu týchto miest od pilóty k pilóte. Zistilo sa, že aj dĺžky

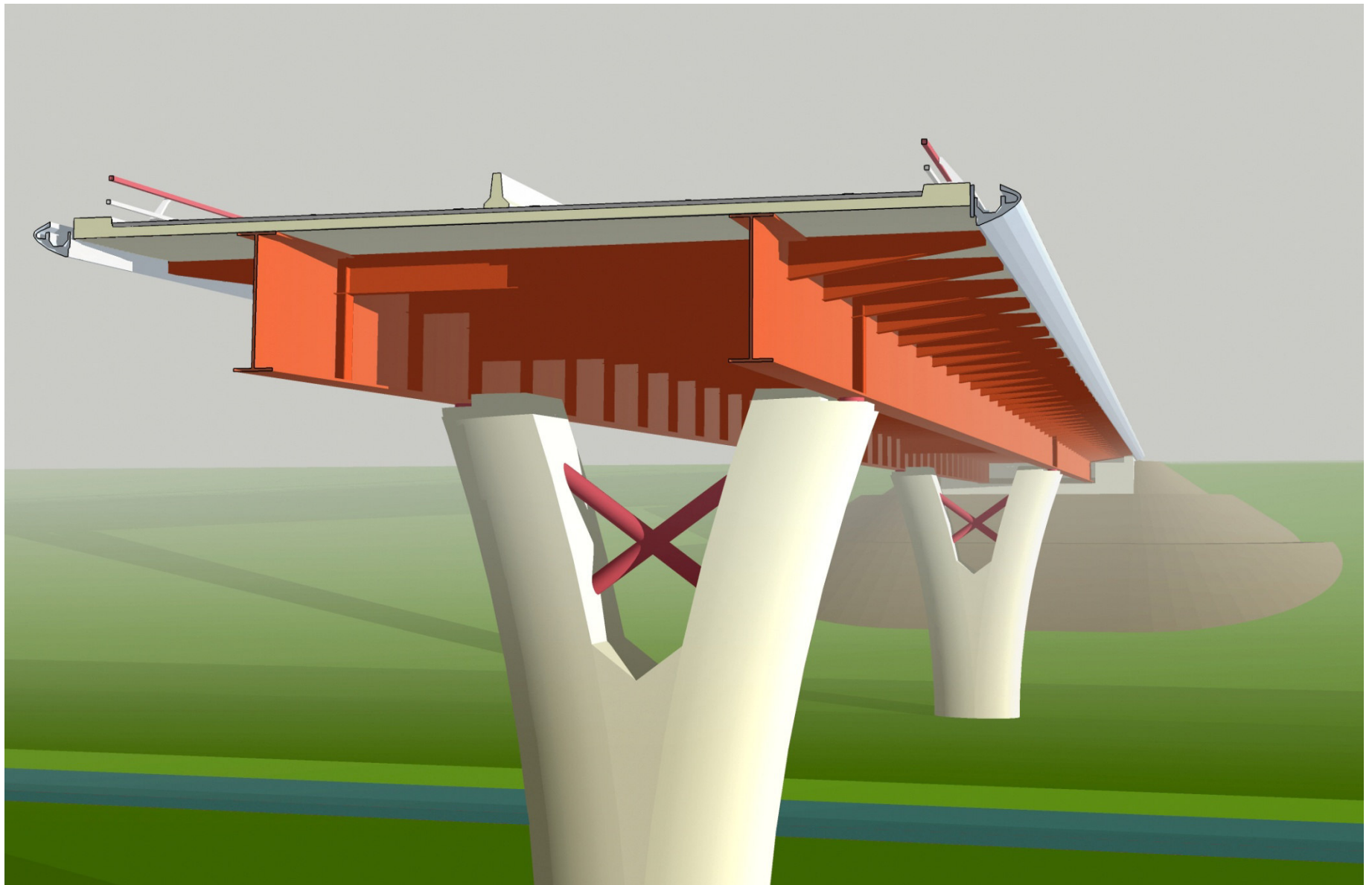


pilót musia byť rôzne, dĺžka pilót sa pohybuje od 11,9 do 23,2 m. Pätky pod stĺpmi boli realizované pomocou štetovnicových koferdamov. Deštrukčné prieskumy teda odhalili pre tú istú oporu alebo stĺp veľkú variabilitu úrovne podložia.

MATERIÁLY A CENA

Konštrukčná oceľ :	1200 t
Železobetón :	2700 m ³
Výstuž :	500 t
Náklady :	6 200 000 eur bez dane
Ukazovateľ :	≈ 1500 €/m ² bez dane (investičné) → rok 2018

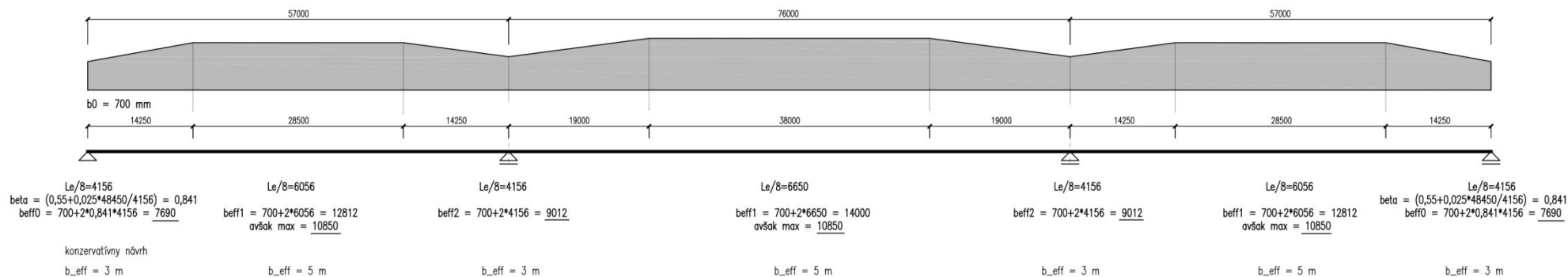




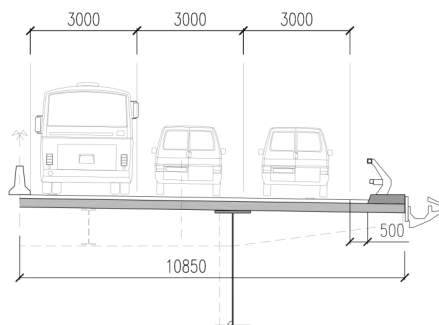
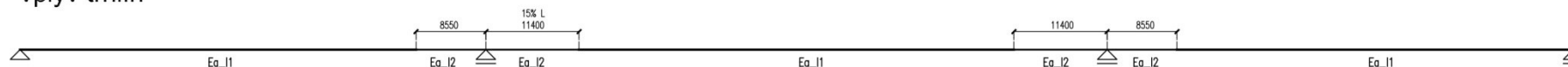
VÝPOČTY

Za účelom pochopenia statického pôsobenia konštrukcie sme previedli veľmi zjednodušený výpočet mosta. Vynechali sme celý rad posúdení (napr. vietor, únava, seizmické účinky, pokles podpôr a pod.) a kombinácií (napr. SLS, mimoriadne). Zamerali sme sa na vlastnú hmotnosť mosta a zaťaženie účinkami dopravy v návrhovej kombinácii MSÚ (ULS), a to v rozhodujúcich prierezoch – nad podporou (stĺpom) a v miestach maximálnych momentov v poliach spojitého hlavného nosníka. Výpočty prebiehali v pružnostnom režime, lebo stojina hlavného nosníka spadá do triedy prierezu 4. Všetky výpočty prebiehali v zmysle Eurokódov, a to jednak v zaťaženiach a jednak v materiálových vlastnostiach prvkov.

spolupôsobiaci šírka betónovej pásnice vplyv ochabnutia šmykom



vplyv trhlín



ZVRŠOK

$$g_{rim} = 1,05 \cdot 0,27 \cdot 25 = 7 \text{ kN/m}$$

$$g_{zvo} = 0,263 \cdot 2 \cdot 25 / 2 = 3,3 \text{ kN/m}$$

$$g_{zabr} = 1 \text{ kN/m}$$

$$g_{zlab} = 1 \text{ kN/m}$$

$$g_{asf} = 9,8 \cdot 0,1 \cdot 23 = 22,5 \text{ kN/m}$$

$$g_{zvršok} = 34,8 \text{ kN/m}$$

DOPRAVA

$$Q = 600 + 400 + 200 = 1200 \text{ kN}$$

$$q = 9 \cdot 3 + 6,5 \cdot 2,5 = 43,25 \text{ kN/m}$$

BETONÁŽ

$$g_{bet} = 10,85 \cdot 0,25 \cdot 25 = 67,81 \text{ kN/m}$$

$$s_{nosn} = 0,235 \cdot 78,5 = 18,5 \text{ kN/m}$$

$$s_{priec} = 0,043 \cdot 10,85 \cdot 78,5 / 3,8 \text{ m} = 9,65 \text{ kN/m}$$

$$s = 18,5 + 9,65 = 28,15 \text{ kN/m}$$

$$g_{bet} + s = 95,96 \text{ kN/m} - \text{stále zaťaženie}$$

← Zaťaženie jazdných pruhov a stále zaťaženia

Nasleduje prehľadná tabuľka prierezov, momentov a napätí. Ocelový prierez je pre zjednodušenie uvažovaný ako rovnaký po celej dĺžke mosta s výškou 3600 mm, hrúbkou stojiny 30 mm a prírubami 1200x 60 mm. V skutočnosti môžu byť rozmery upravené podľa miesta s rôznymi napätiami. Výpočty sú pružnostné so zaťažovacími kombináciami v MSÚ (ULS).

Zaťaženie	vzdorujúci prierez	A [m ²]	J [m ⁴]	W _h [m ³]	W _d [m ³]	[kNm]	[kNm]	[kN/m ²] →	betón	←	odspodu	neutrálna os [m]	
						M _{max} opora	M _{max} pole	σ _{sh} opora	σ _{sd} opora	σ _c pole	σ _{sh} pole	σ _{sd} pole	
BETONÁŽ	ocelový	0,2484	0,55654	0,30918	0,309189	-57883 *	38837	187209	-187209		-125610	125610	1,80
ZVRŠOK	spriahnutý opora	0,2811	0,66931	0,364748	0,329710	-19914		54596	-60398				2,03
	pole	0,3673	0,871	0,59622	0,356976		14006			-1120		39240	2,44
DOPRAVA	spriahnutý opora	0,2811	0,66931	0,364748	0,329710	-36742		100733	-111437				2,03
	pole	0,3673	0,871	0,59622	0,356976		46061			-3680		129030	2,44

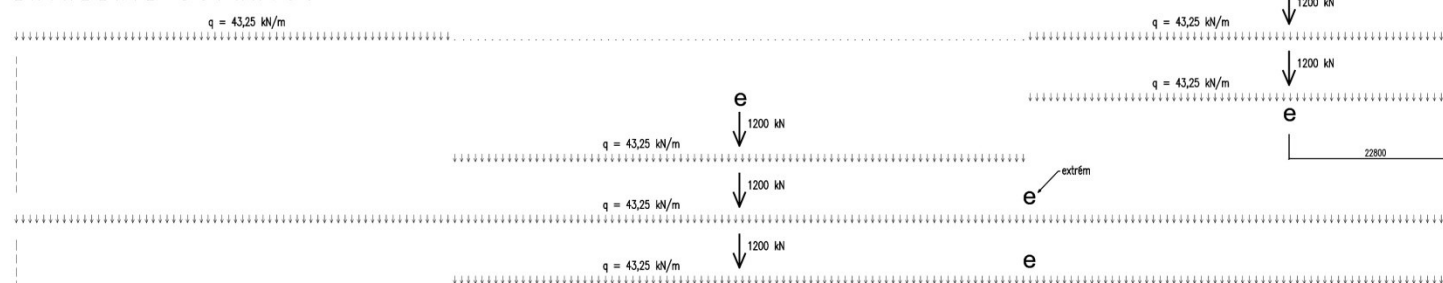
* Redukcia momentu nad podporou podľa vzorca STN EN 1992-2 5.3.2.2 (104) → $\Delta M_{ED} = R \cdot t / 8$, kde R je reakcia podpory a t priemer ložiska.

Spriahnutý prierez nad oporou (betónovým stĺpom) je uvažovaný bez ťahaného betónu s celkovou výstužou 66x ø25. Pri spriahnutom priereze sú uvádzané *ideálne* charakteristiky.

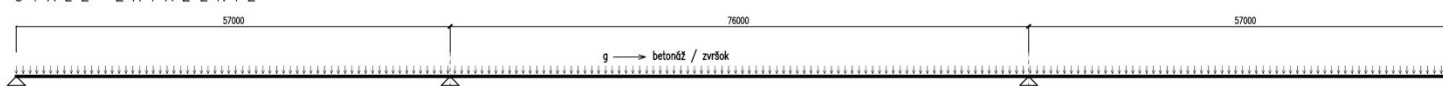
POSTUP BETONÁŽE DOSKY

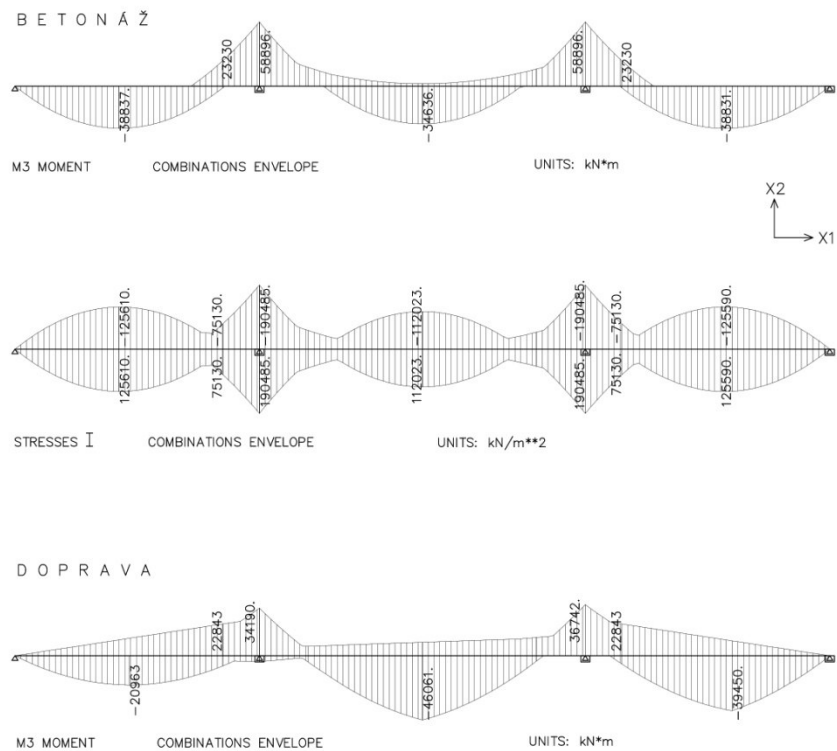


ZAŤAŽENIE DOPRAVOU

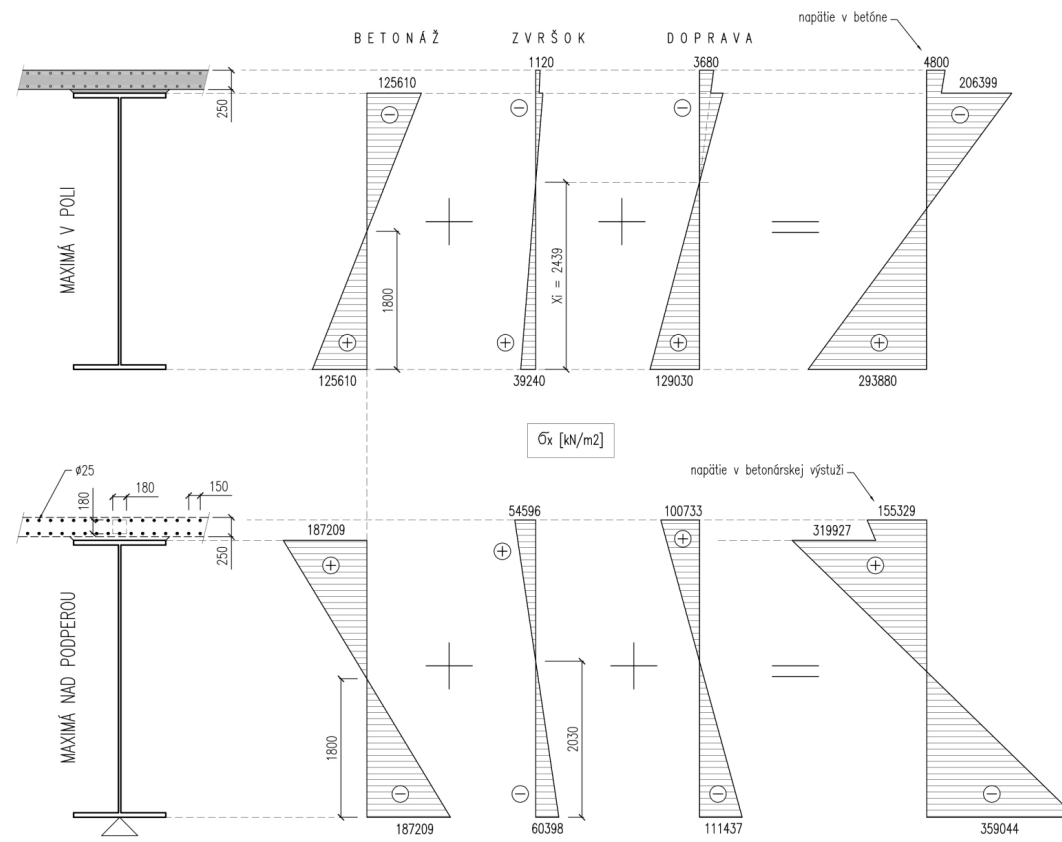


STÁLE ZAŤAŽENIE

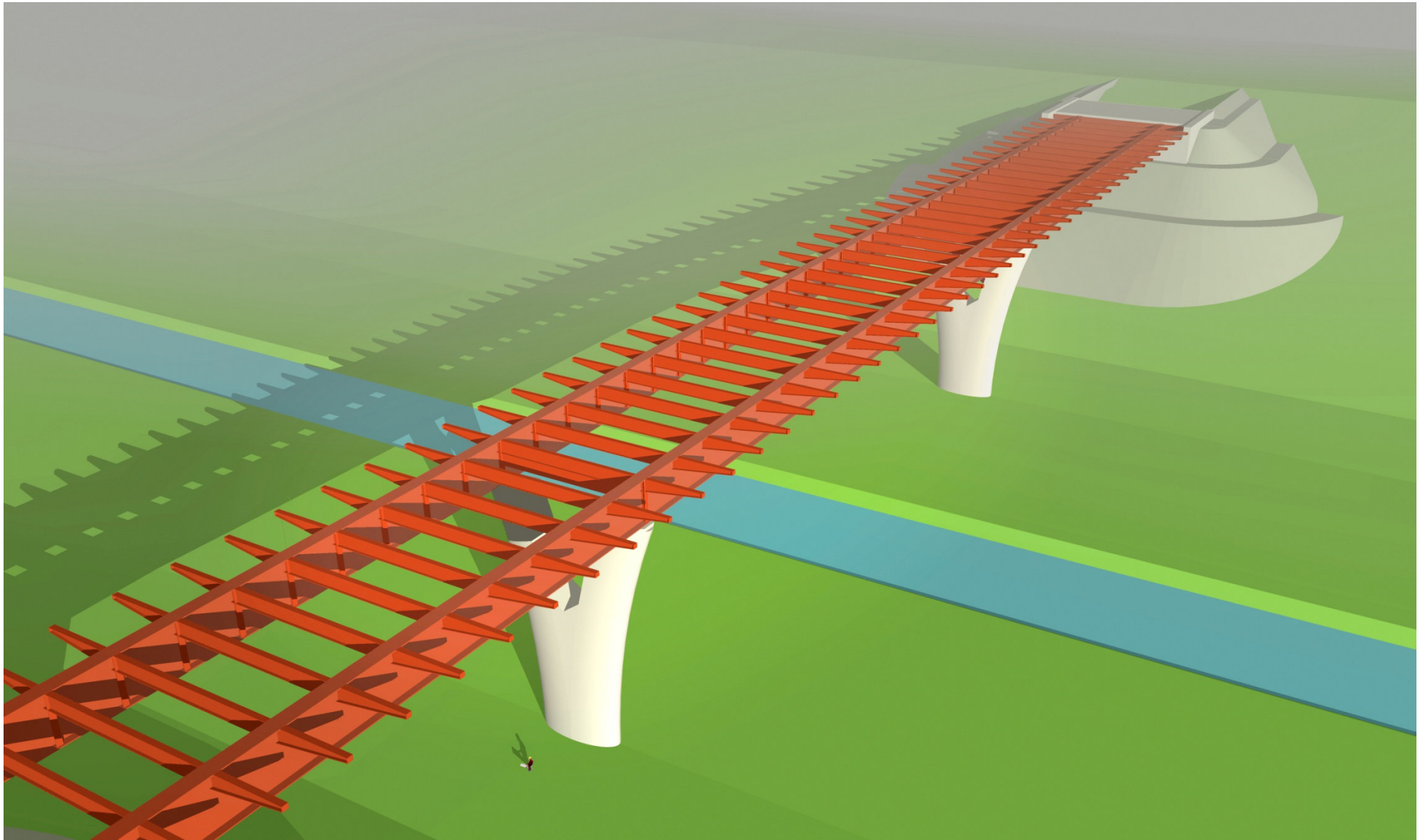




Obálky priebehov momentov a napätí vo fázach betonáže a zaťaženia dopravou



Výsledný priebeh maximálnych napätí v spriahnutom priereze v poli a nad podperou



Niektoré ZDROJE, použité pri tvorbe článku :

- [1] Fin des travaux du viaduc de la Scyotte, Vendredi 7 décembre 2018, DREAL Bourgogne-Franche-Comté
- [2] STN EN 1992-1-1 Navrhovanie betónových konštrukcií
- [3] STN EN 1990/A1 Zásady navrhovania konštrukcií, príloha A2 – Použitie pre mosty
- [4] STN EN 1991-2 Zaťaženie mostov dopravou
- [5] STN EN 1993-1-1 Navrhovanie oceľových konštrukcií
- [6] STN EN 1994-1-1 Navrhovanie spriahnutých oceľobetónových konštrukcií. Všeobecné pravidlá
- [7] STN EN 1994-2 Navrhovanie spriahnutých oceľobetónových konštrukcií. Všeobecné pravidlá a pravidlá pre mosty
- [8] ECCS AC3 Bridge Committee, European design guide for the use of weathering steel in bridge construction, 2nd Edition, 2021
- [9] REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS, LES VIADUCS DE LA SCYOTTE ET DE LA SAONE, N° 955 NOVEMBRE 2019

Poznámka : Vo vizualizáciách nie sú zobrazené spády mostovky

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

