

LÁVKY PRO PĚŠÍ A CYKLISTY

Zásady pro navrhování
Příklady realizací
Lávka přes Labe v Čelákovicích

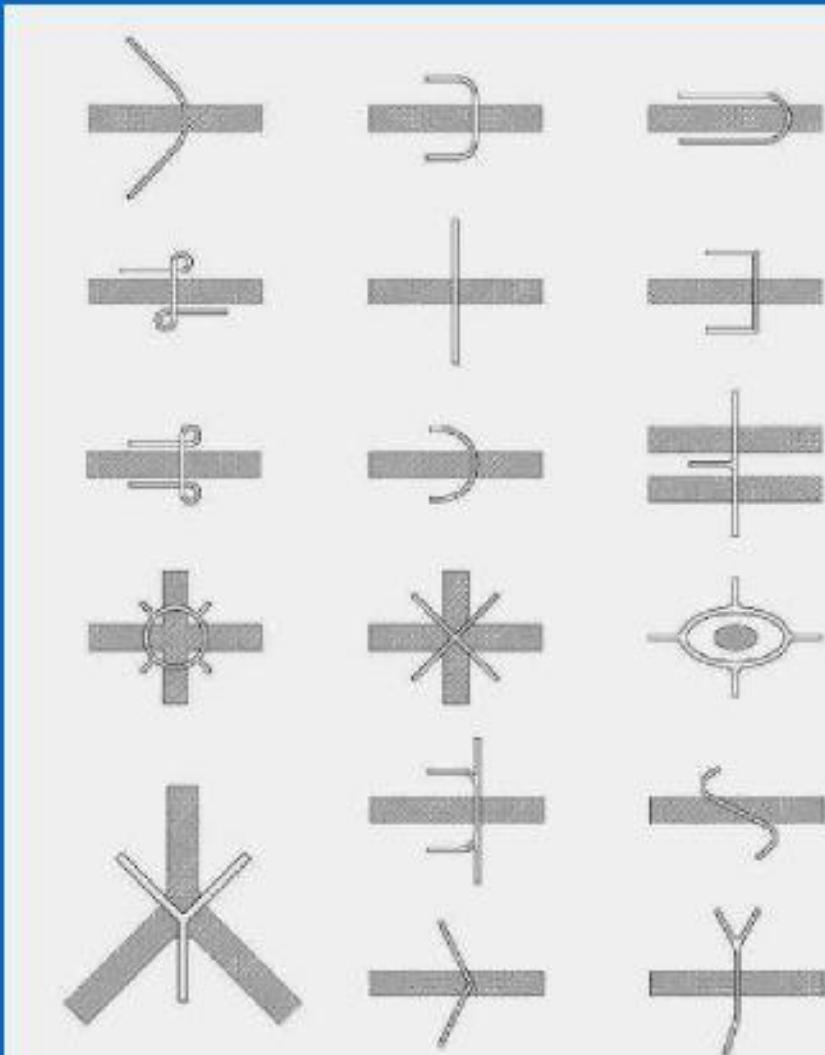
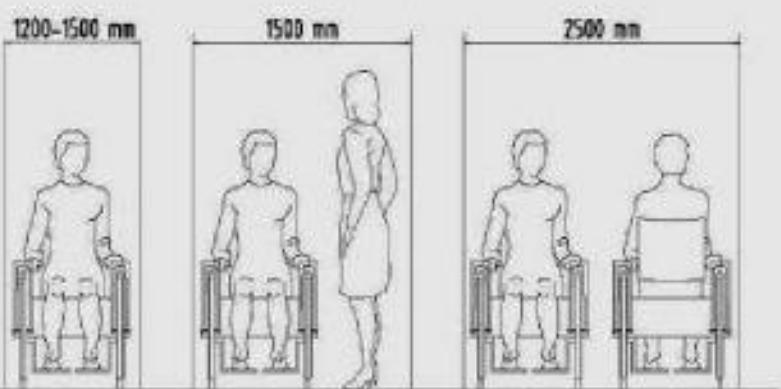
Milan Kalný



1. Prostorové uspořádání lávek

Prostorové uspořádání lávek se stanoví podle:

- ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů
- ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací
- Vyhláška 398/2009 Sb., MMR ČR
(zvláštní předpis pro užívání staveb osobami se sníženou schopností pohybu a orientace)



1. Prostorové uspořádání lávek

Průchozí prostor na látce má horní omezení rovnoběžné s povrchem pásu pro chodce nebo cyklisty a boční omezení svislé.

Základní šířka pruhu pro chodce je 0,75 m.

Základní šířka jízdního pásu/pruhu pro cyklisty je 1,0 m.

K této šířce se připočítávají bezpečnostní odstupy podle ČSN 73 6110.

Společné stezky pro chodce a cyklisty jen při nižších intenzitách provozu.

Dle ČSN 73 6110 je při obousměrném provozu doporučená minimální šířka 3,50 m.

Podélý sklon přístupů k lávkám a podchodům se navrhoje podle ČSN 73 6110 a musí být v souladu se zvláštním předpisem, tj. maximální podélý sklon smí být nejvýše 1/12 (8,33 %). Na úsecích s podélým sklonem větším než 5 % a delších než 200 m musejí být zřízena odpočívadla.

Chodníky mají mít příčný sklon 2,0 % (podle Vyhl. 369/2001), ČSN 73 6201 však pro zajištění odvodnění povrchu chodníku požaduje minimální příčný sklon 2,5 % a současně pro veřejné chodníky uvádí maximální příčný sklon 2,5 %.

1. Prostorové uspořádání lávek

	<u>Trvalé lávky:</u>	<u>Zatímní lávky:</u>
volná šířka	nejméně 2,00 m	nejméně 1,50 m
volná výška	nejméně 2,50 m,	nejméně 2,20 m
volná výška pro cyklisty	doporučeno 3,50 m	nejméně 2,50 m

2. Zatížení lávek

Pro zatížení lávek platí ČSN EN 1991-2

Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou.

Podle potřeby se mají uvažovat tři vzájemně se vylučující modely:

- rovnoměrné zatížení (doporučeno $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$)
- soustředěné zatížení na ploše $10 \times 10 \text{ cm}$ ($Q_{fwk} = 10 \text{ kN}$, resp. 2 kN)
- zatížení představující obslužná vozidla ($Q_{serv} = 120 \text{ kN}$, min. 35 kN)

Lávky (podpěry a nosná konstrukce) jsou obecně citlivější na síly od nárazu než mosty pozemních komunikací. Navrhovat je na stejné zatížení od nárazu může být nereálné. Nejúčinnější způsob, jak vzít náraz v úvahu, je obecně ochrana lávky před nárazem silničním záhytným systémem v odpovídající vzdálenosti před podpěrami nebo zvětšením výšky průjezdního prostoru pod lávkou oproti sousedním mostům.

d=0,3 P/m²



d=0,4 P/m²



d=0,6 P/m²



d=0,8 P/m²



d=1,0 P/m²



d=1,5 P/m²



Free

Acceptable

Acceptable

Dense

Very dense

Crowded

Doporučená hodnota rovnoměrného zatížení je $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$.

Toto zatížení (model 4) působí podélně i příčně pouze na nepříznivé části příčinkových ploch a již v sobě zahrnuje dynamický součinitel.

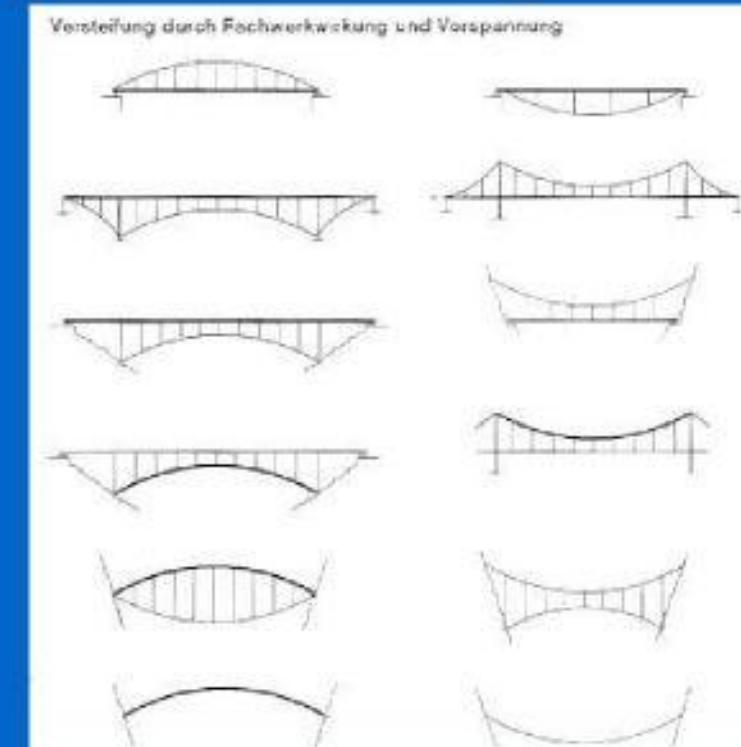
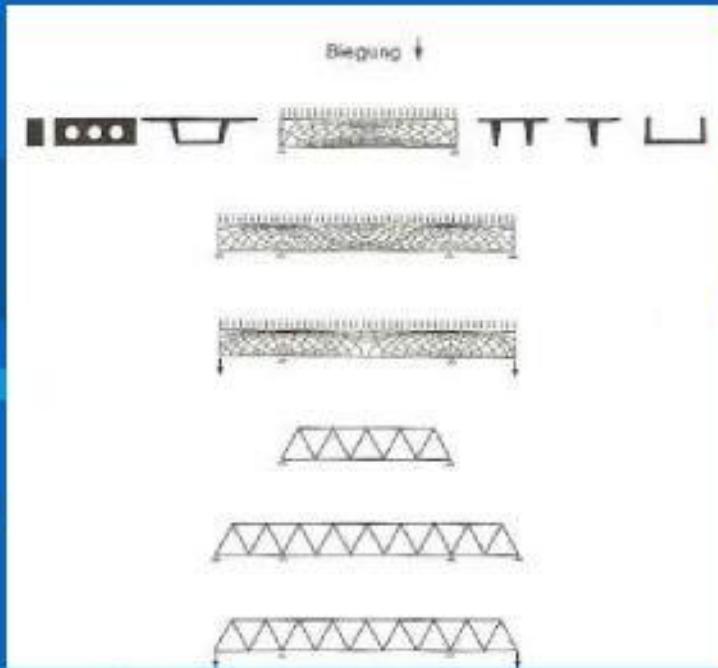
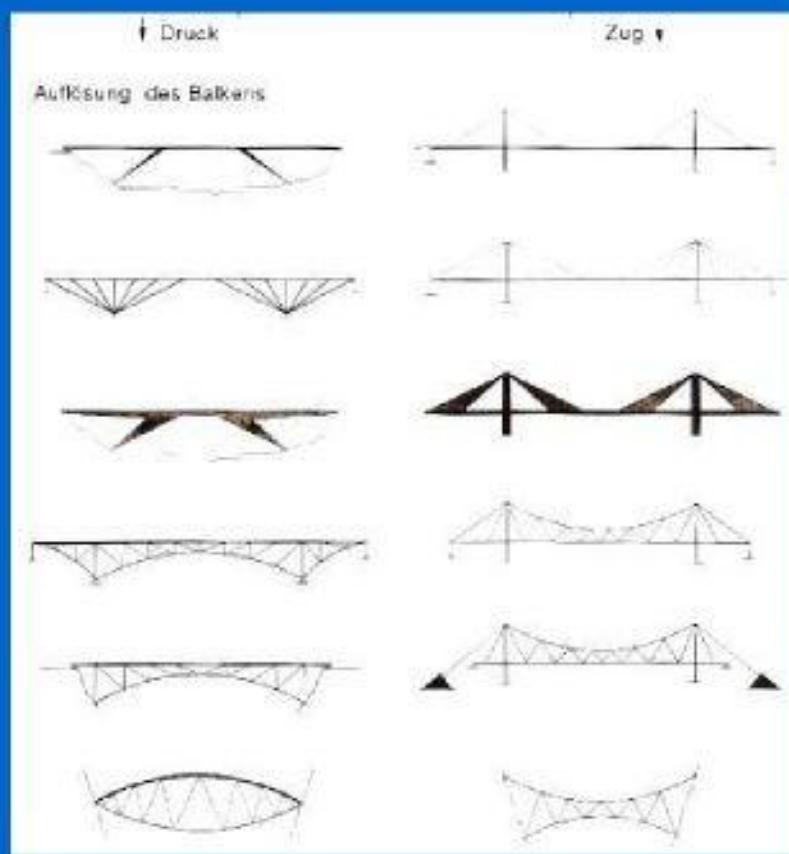
Pokud není pro lávky pro chodce požadován přímo model zatížení 4, lze po dohodě s investorem snížit doporučenou hodnotu q_{fk} následujícím způsobem:

$$q_{fk} = 2,0 + 120/(L + 30) \text{ [kN/m}^2\text{]},$$

kde L je zatěžovací délka [m] a současně platí:

$$2,5 \text{ [kN/m}^2\text{]} \leq q_{fk} \leq 5,0 \text{ [kN/m}^2\text{]}.$$

3. Statické systémy



4. Dynamické chování

Code / Standard	Limit values	
	Vertical	Horizontal
American Guide Spec.	< 3 Hz	
Eurocode 2 (ENV 1992-2)	1.6 Hz - 2.4 Hz	0.8 Hz – 1.2 Hz
DIN-Fachbericht 102	1.6 Hz - 2.4 Hz, 3.5 Hz - 4.5 Hz	
Eurocode 5 (ENV 1995-2)	< 5 Hz	< 2.5 Hz
SBA (former East Germany)	1.0 Hz – 3 Hz	
SIA 260 (Switzerland)	1.6 Hz – 4.5 Hz	< 1.3 transverse < 2.5 longitudinal
BS 5400 (Great Britain)	< 5 Hz	
Austroads (Australia)	1.5 Hz – 3 Hz	
Japanese Footbridge Design Code (1979)	1.5 Hz – 2.3 Hz	

Lehké a subtilní lávky jsou velmi citlivé
na dynamické účinky pohyblivého zatížení a větru.

Pokud je některá vlastní frekvence svislého kmitání nosné konstrukce lávky v
oblasti frekvencí 1,0 Hz až 4,0 Hz

a/nebo vlastní frekvence vodorovného kmitání hlavní nosné konstrukce lávky
v oblasti frekvencí 0,5 Hz až 2,0 Hz,
je nutné provést podrobnou analýzu dynamického chování lávky.

4. Dynamické chování

Analýza musí obsahovat výpočet vlastních frekvencí a tvaru kmitání lávky na vhodném výpočtovém modelu, odhad tlumení konstrukce, výpočet vynuceného kmitání lávky od skupiny chodců, proudu chodců, případně skupiny vandalů.

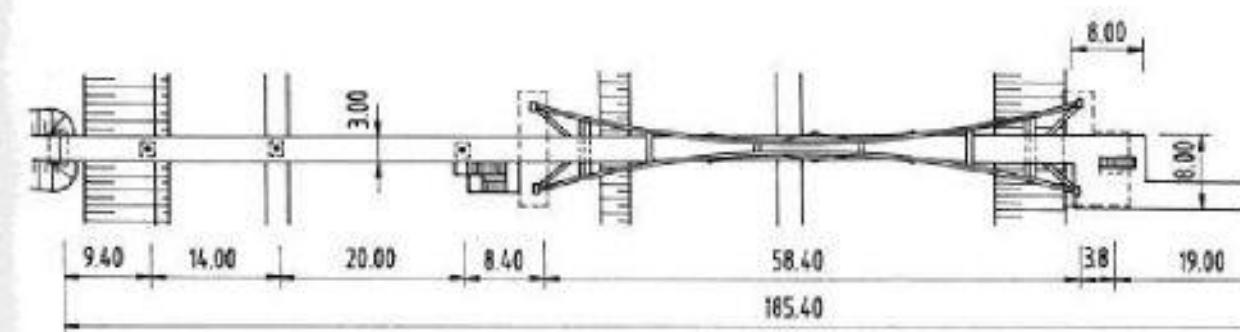
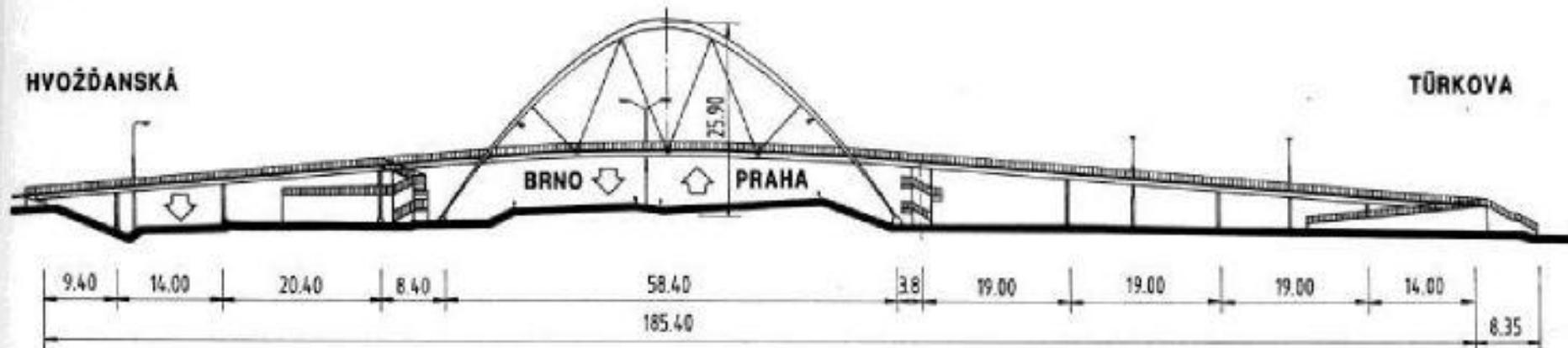
Vypočtené hodnoty odezvy lávky se porovnají s přípustnými hodnotami vibrací uvedenými v příloze A2 k EN 1990 (článek A.2.4.3.2), kde se stanovují kritéria pohody chodců prostřednictvím nejvýše přijatelných hodnot zrychlení kmitání libovolné části hlavní nosné konstrukce. Pro libovolnou část hlavní nosné konstrukce jsou doporučeny maximální hodnoty zrychlení kmitání (m/s^2):

- 0,7 pro svislá kmitání;
- 0,2 pro vodorovná kmitání od běžné dopravy;
- 0,4 pro vodorovné vibrace od výjimečného zatížení davem lidí.

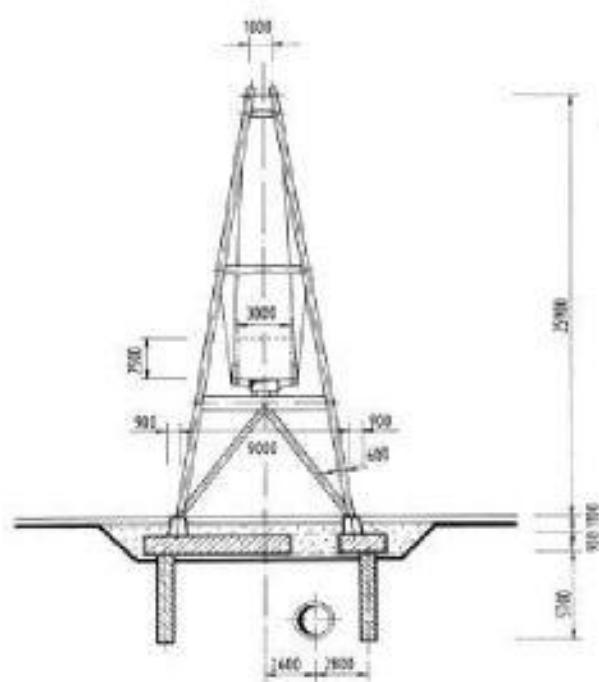
Doporučuje se konzultace se specialisty, případně dynamická zatěžovací zkouška. Pokud nelze dosáhnout přijatelného chování lávky konstrukčními úpravami, je možné na lávce navrhnut aktivní tlumiče kmitání.

- Lávka přes dálnici D1 v Praze 4 - Chodov





- celková délka: 185.4m
- rozpětí oblouku s 2 klouby: 58.4m, výška: 26m
- zavěšená mostovka, šikmé závěsy (TRØ70mm)

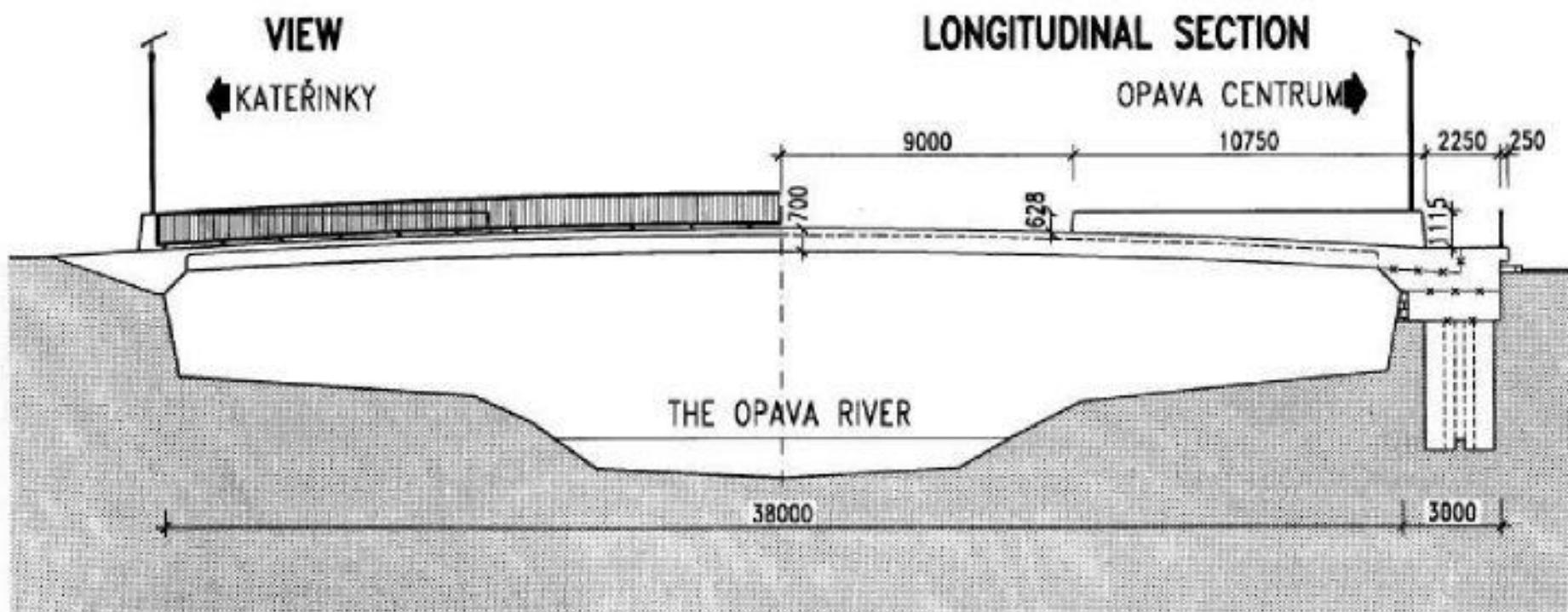




● noční osvětlení

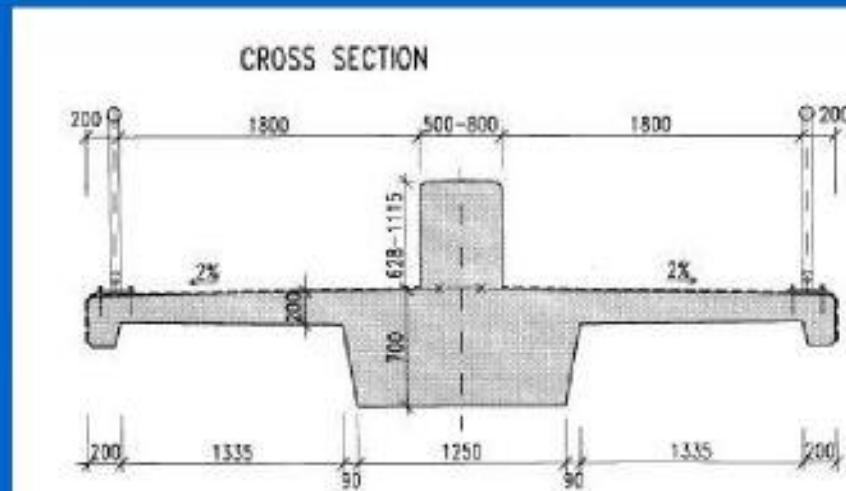


● Lávka
přes dálniční přivaděč
u Plzně - Ejpovice



Lávka v Černé ul. v Opavě

- předpjatý betonový rám
vetknutý do základů
- rozpětí 38 m
- extrémně štíhlá nosná konstrukce 1:54
- obloukové působení, střední žebro

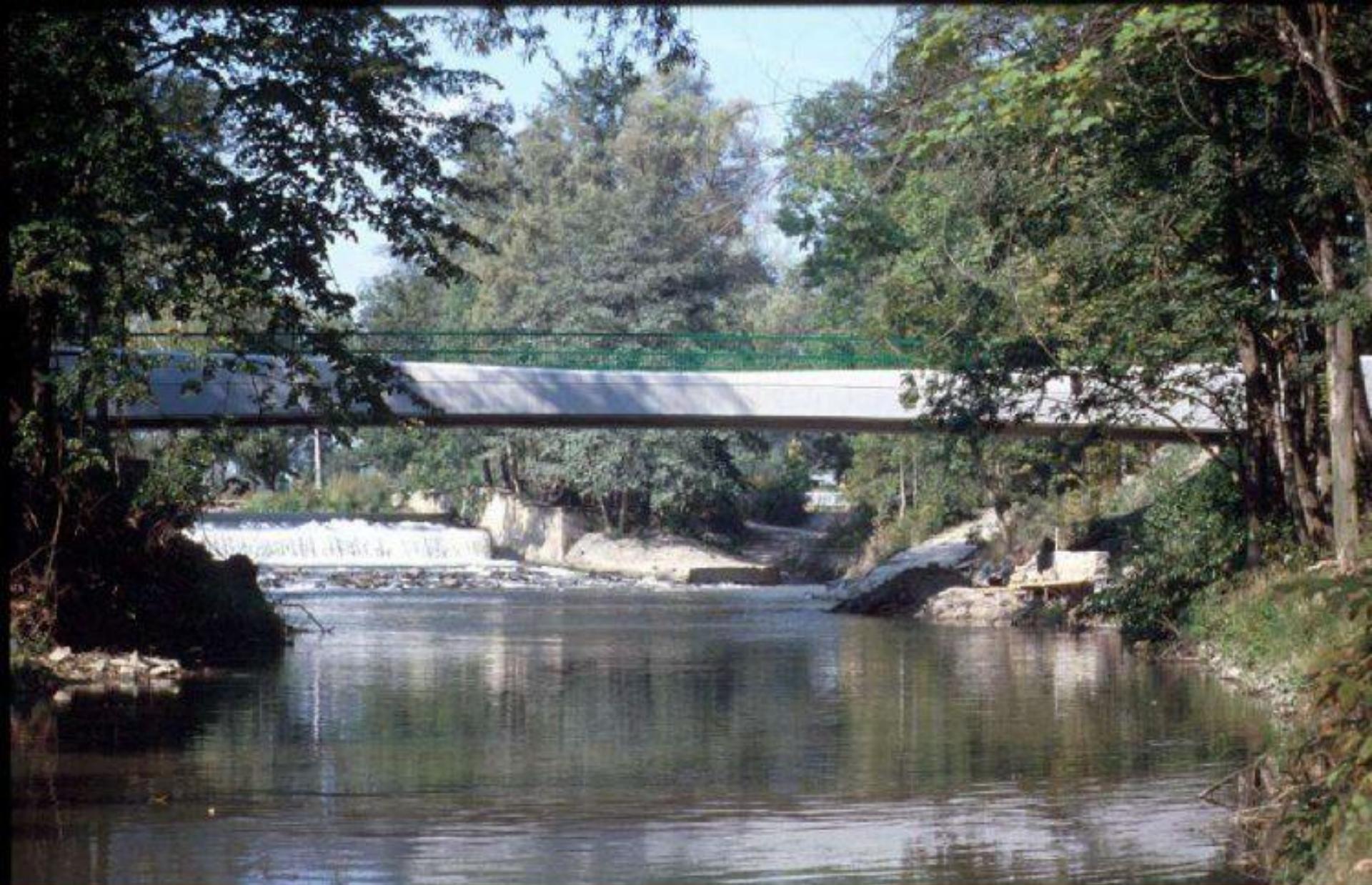




Lávka v Černé ul., Opava



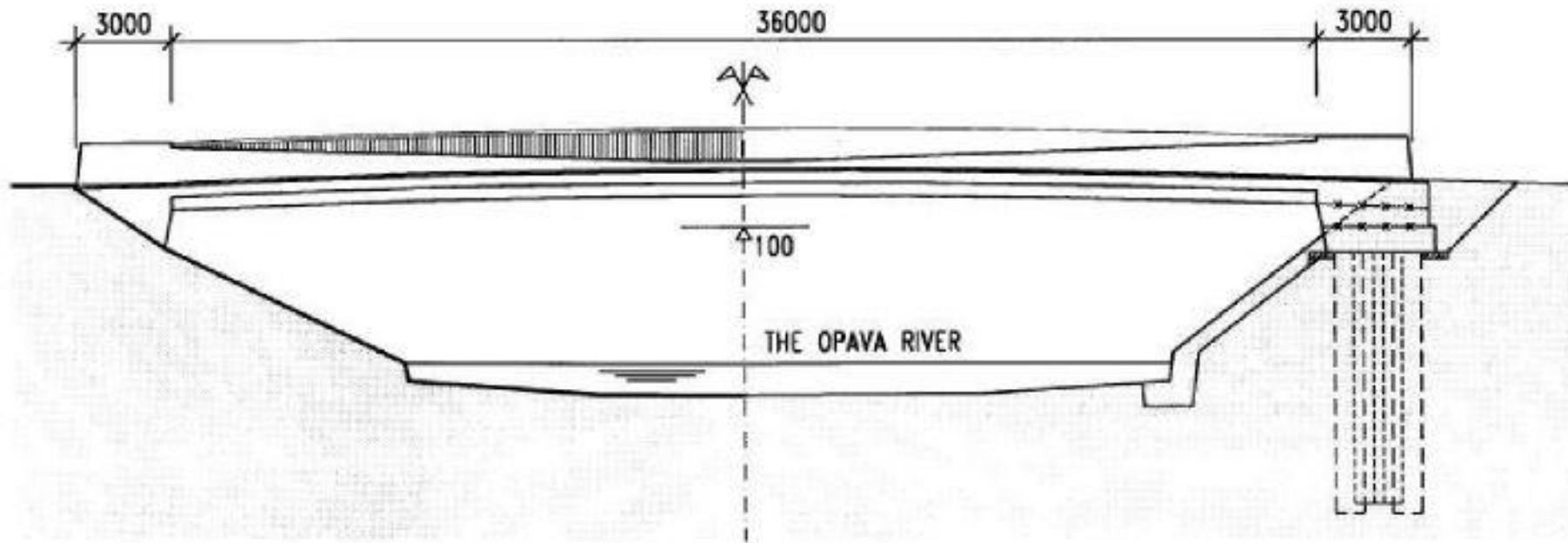
Lávka v Černé ul., Opava



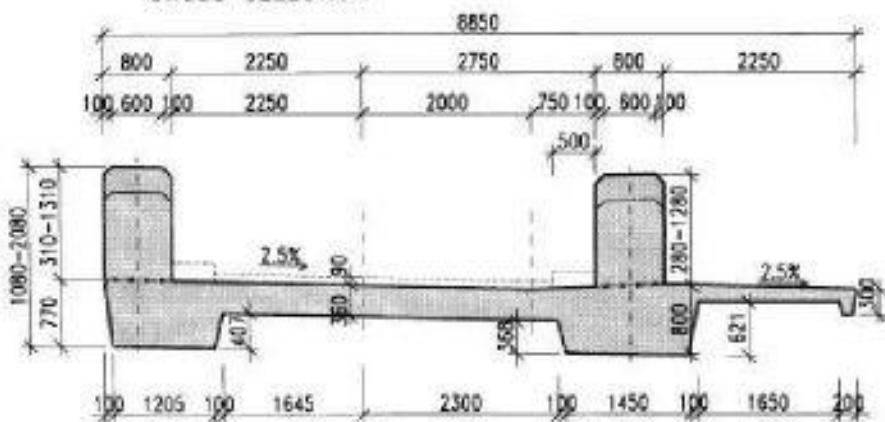
• Most Jaselská v Opavě

VIEW

LONGITUDINAL SELECTION



CROSS SELECTION



Most v Jaselské ul., Opava

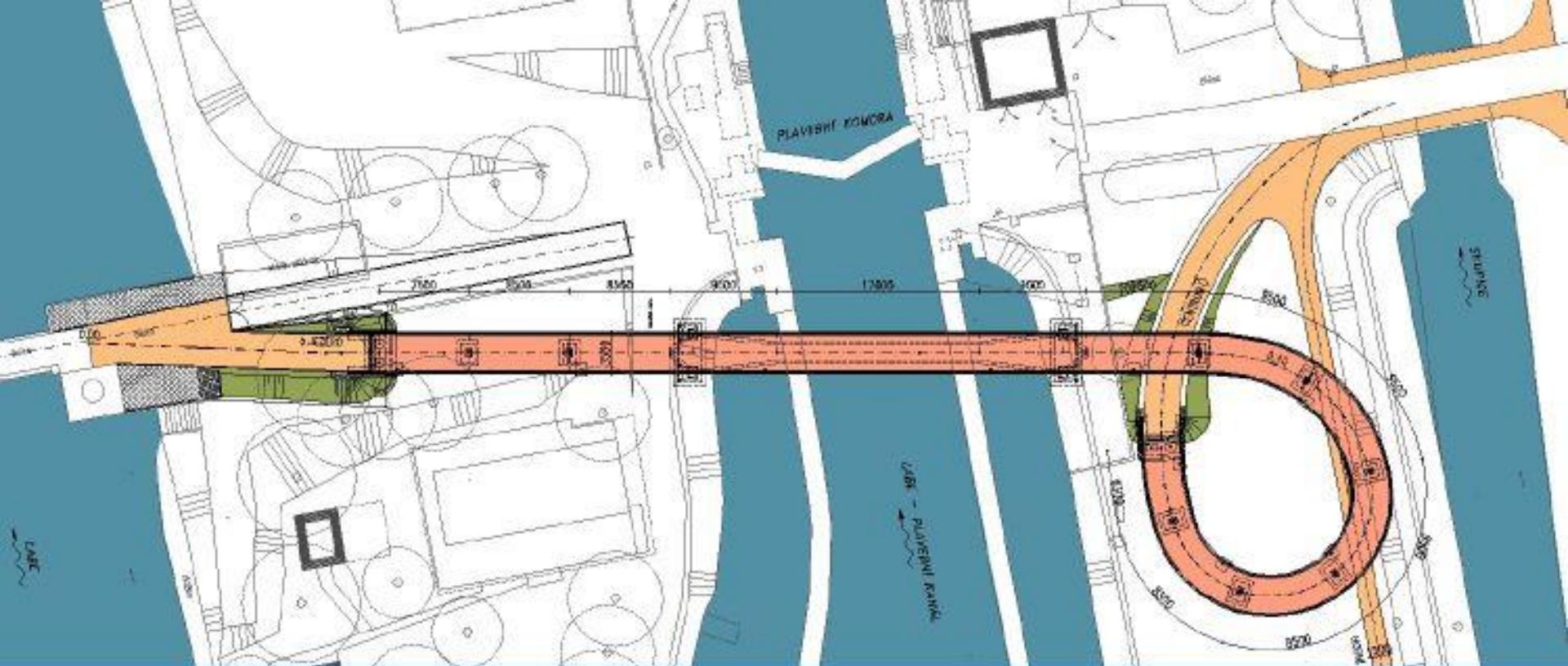
- předpjatý betonový rám
vetknutý do základů
 - rozpětí 36 m
 - velmi štíhlá nosná konstrukce
 - boční žebra proměnné výšky
 - zvláštní zábradlí



• Most Jaselská v Opavě



• Lávka u zdymadla v Poděbradech



Vedení trasy

- výška navigace 7 m
 - podélný spád 8.3 - 6.6%
 - šířka 3 m

Základní data o lávce

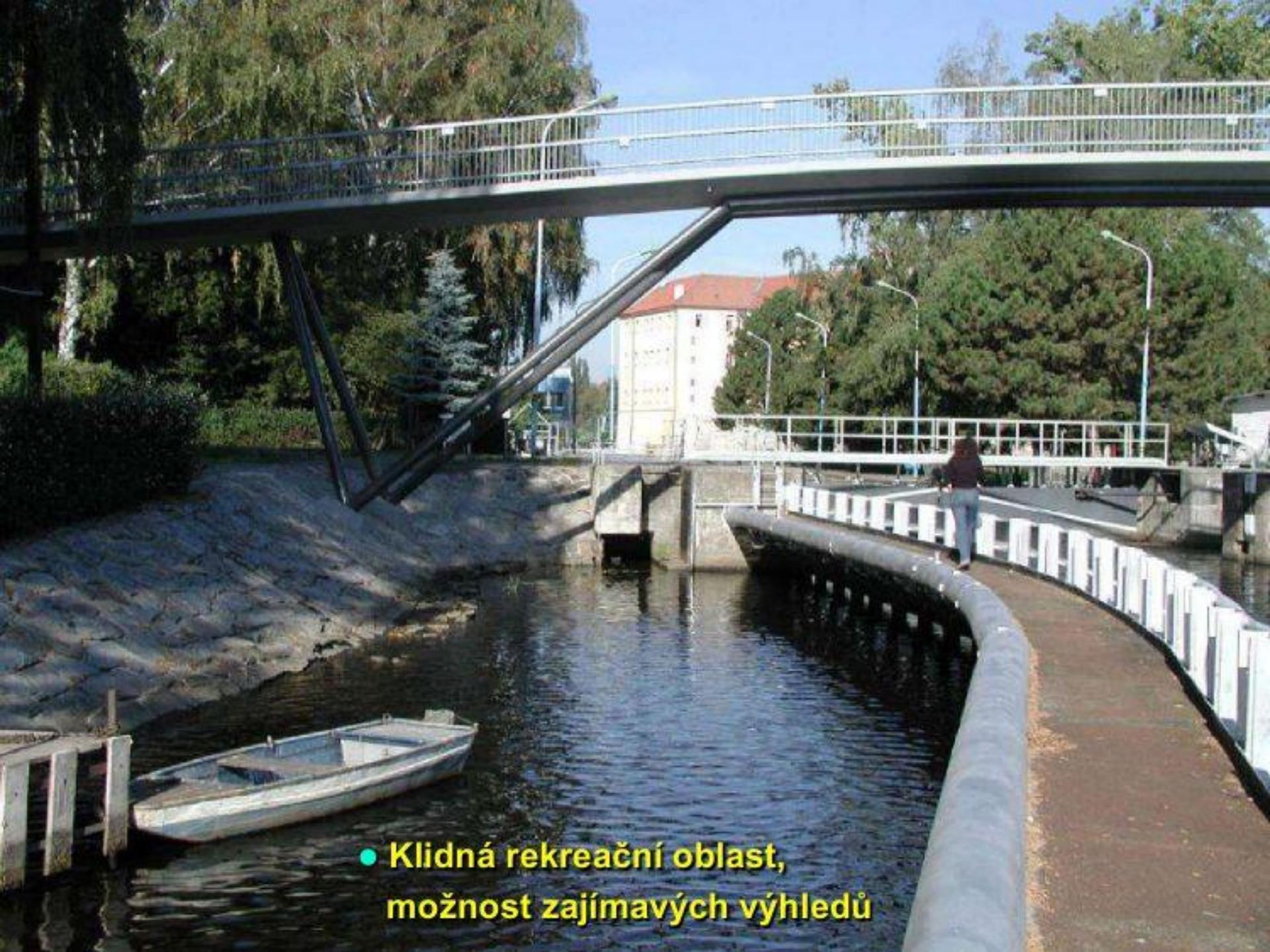
- celková délka 121.8 m - 13 polí
 - hlavní rozpětí 31 m
 - ostatní pole do 9.5 m
 - tloušťka mostovky 0.35 m



- Jednoduchost plynulých křivek na subtilních ocelových podporách



• Spirálová rampa na pravém břehu



- Klidná rekreační oblast,
možnost zajímavých výhledů

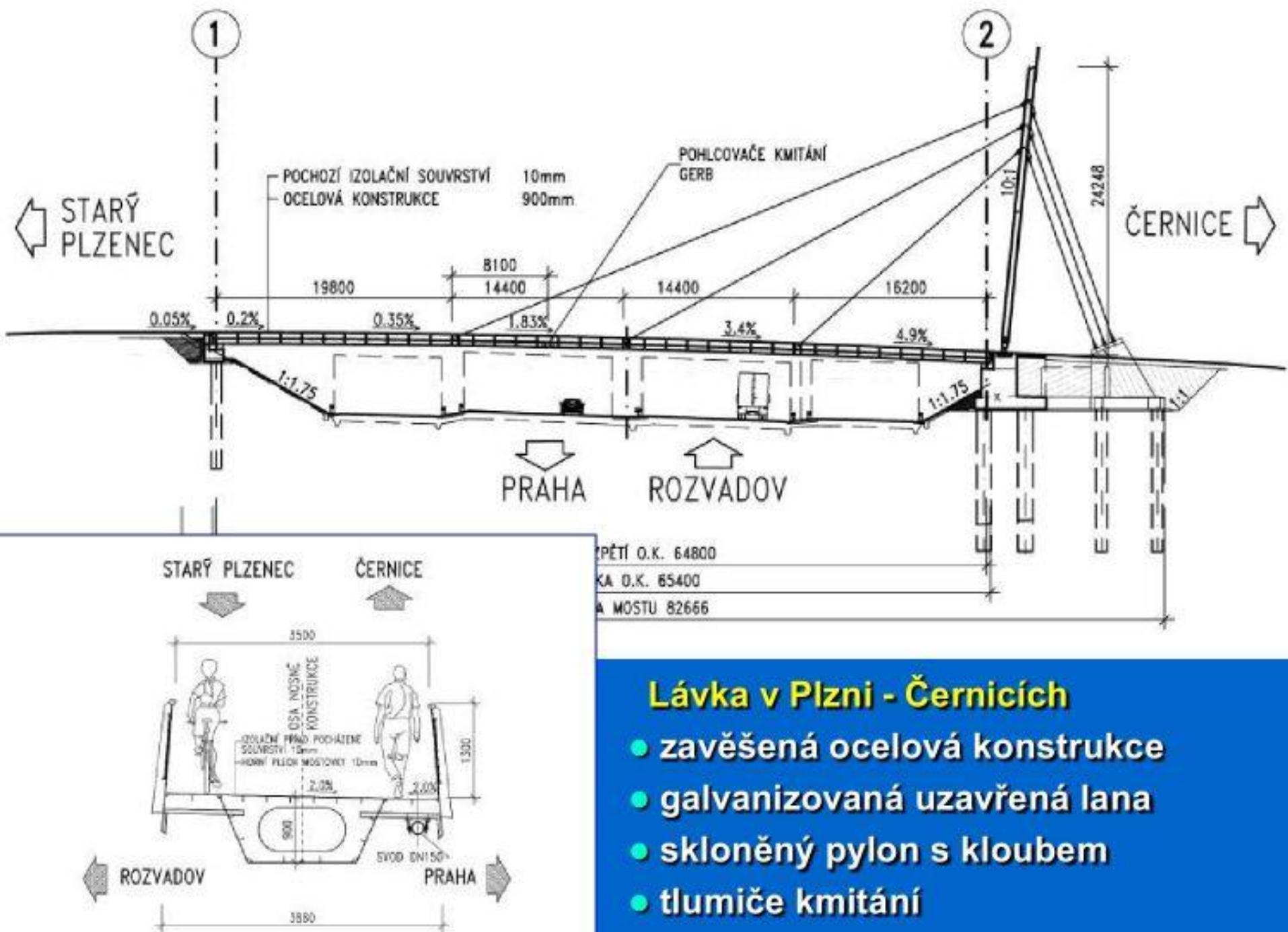


Charakteristika projektu

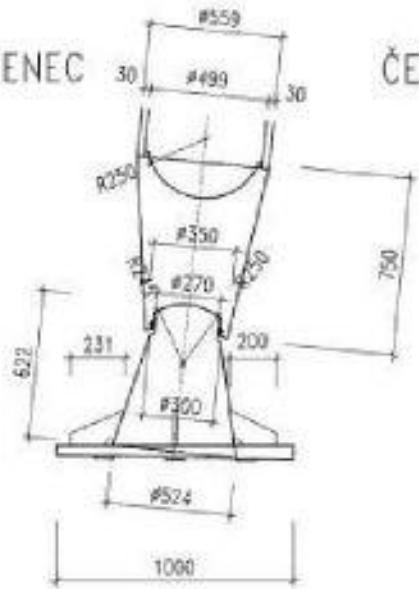
- Elegantní konstrukce: ekologicky životašchopná, technicky realizovatelná a ekonomicky přijatelná.
- Využívá charakteristické výhody konstrukčního betonu a oceli.
- Harmonie konstrukce, detailů a prostředí.
- Snadná a rychlá výstavba.
- Vysoká kvalita a minimální údržba.



● Zavěšená lávka v Plzni - Černicích

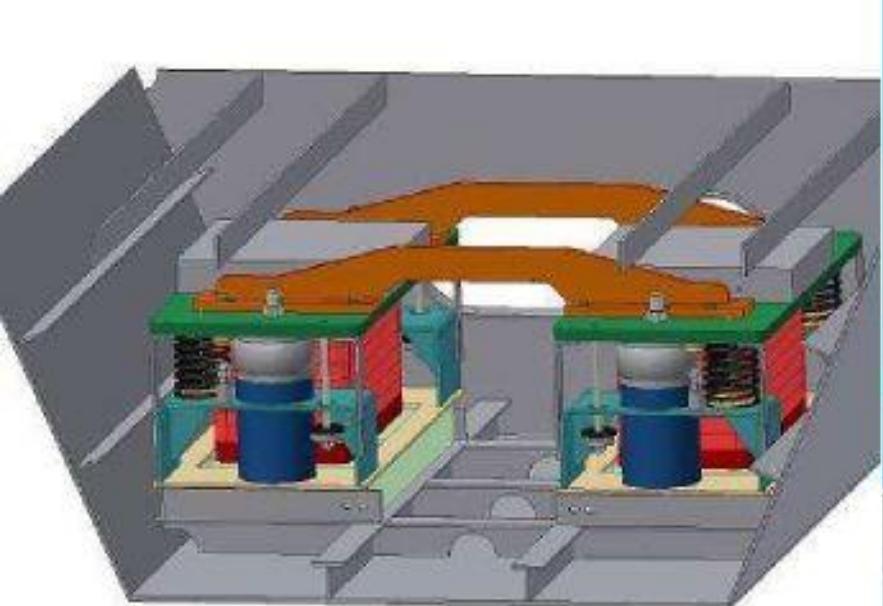


PLZENEC

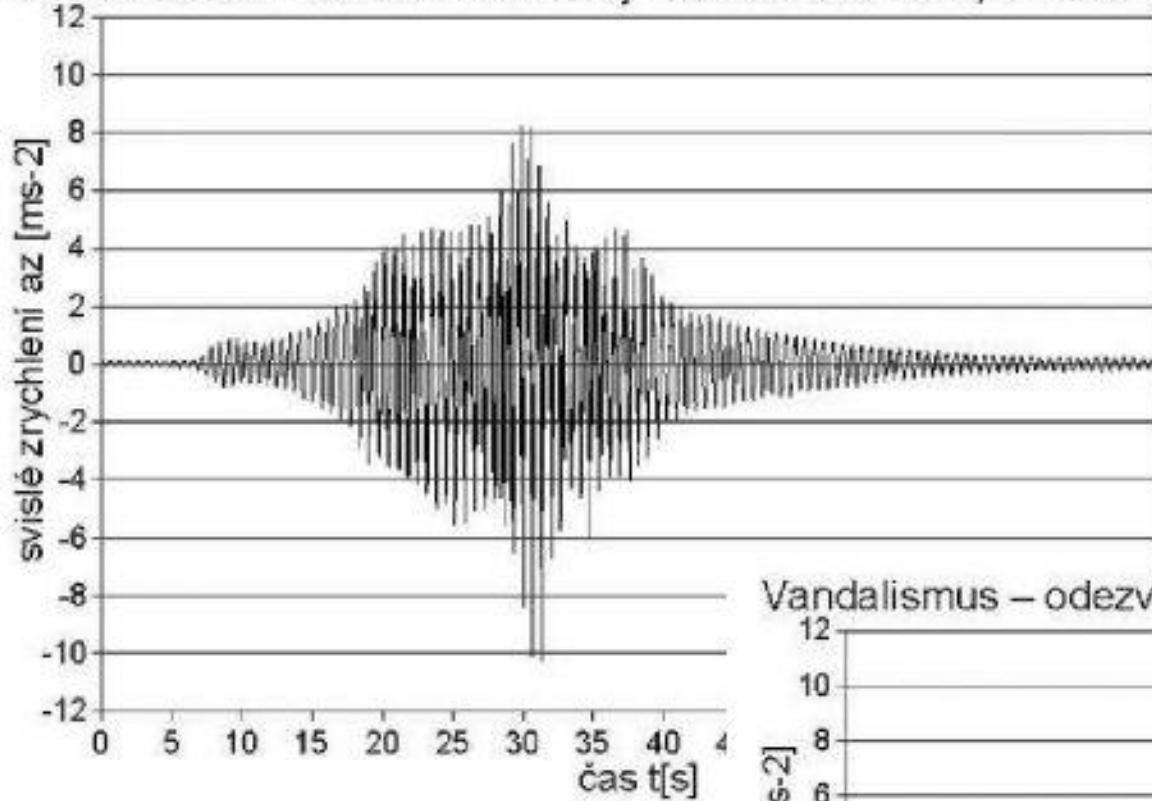


ČERNICE

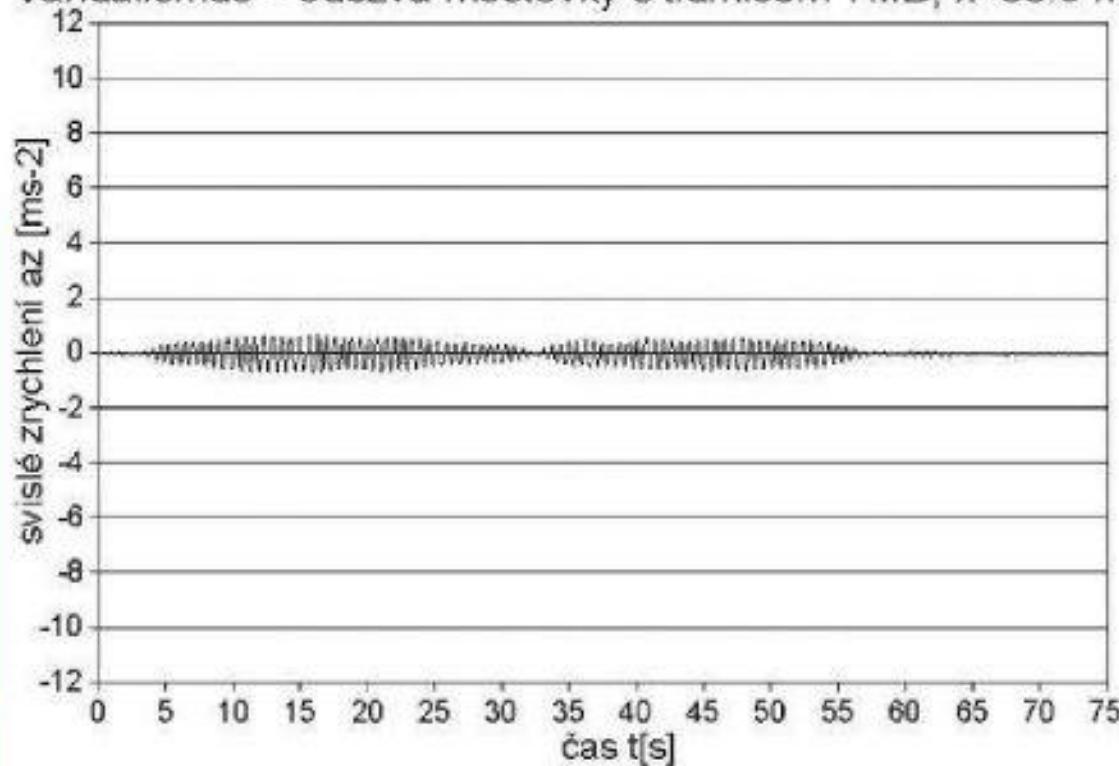


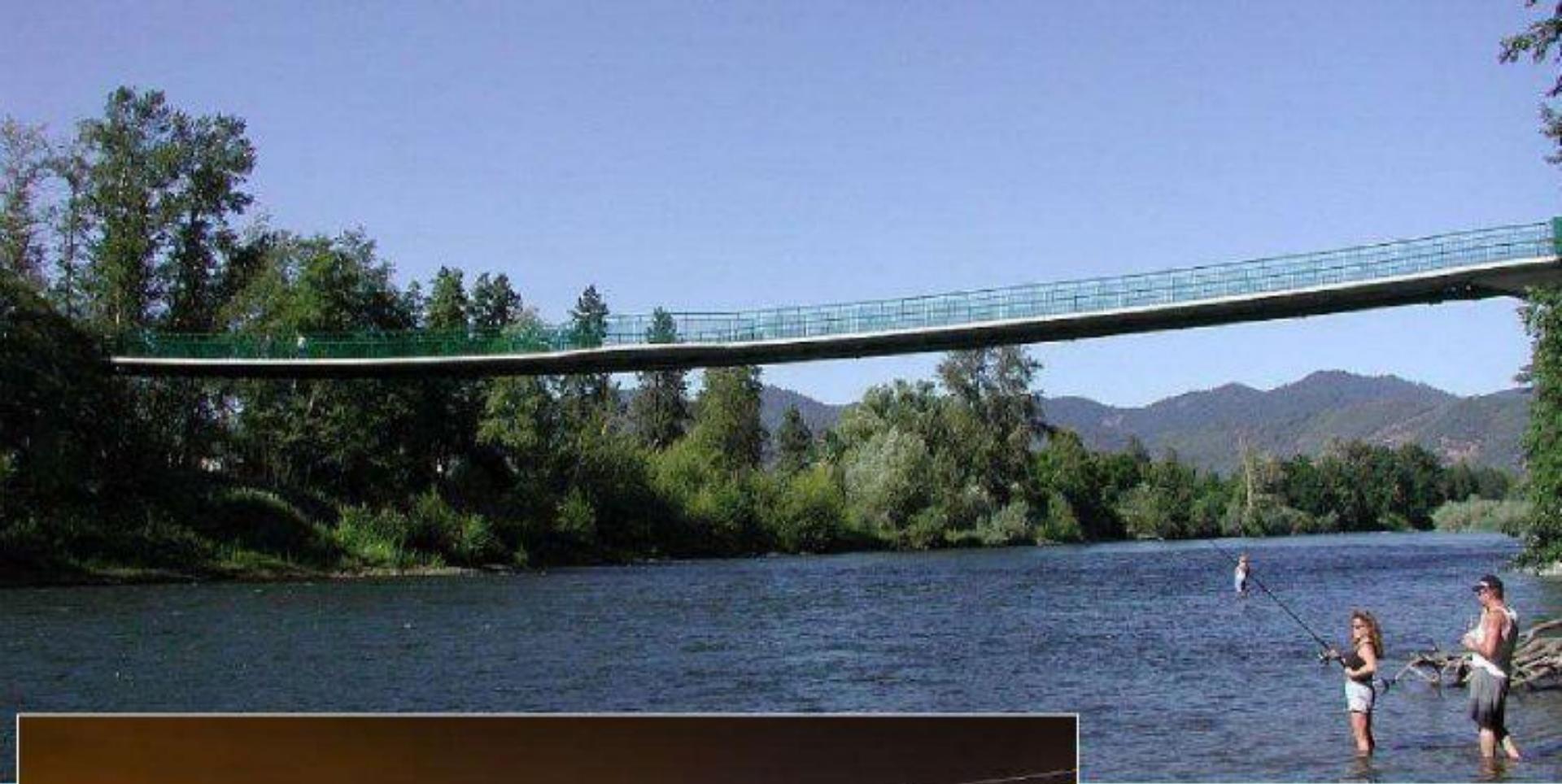


Vandalismus – odezva mostovky bez tlumiče TMD, $x=30.6$ m

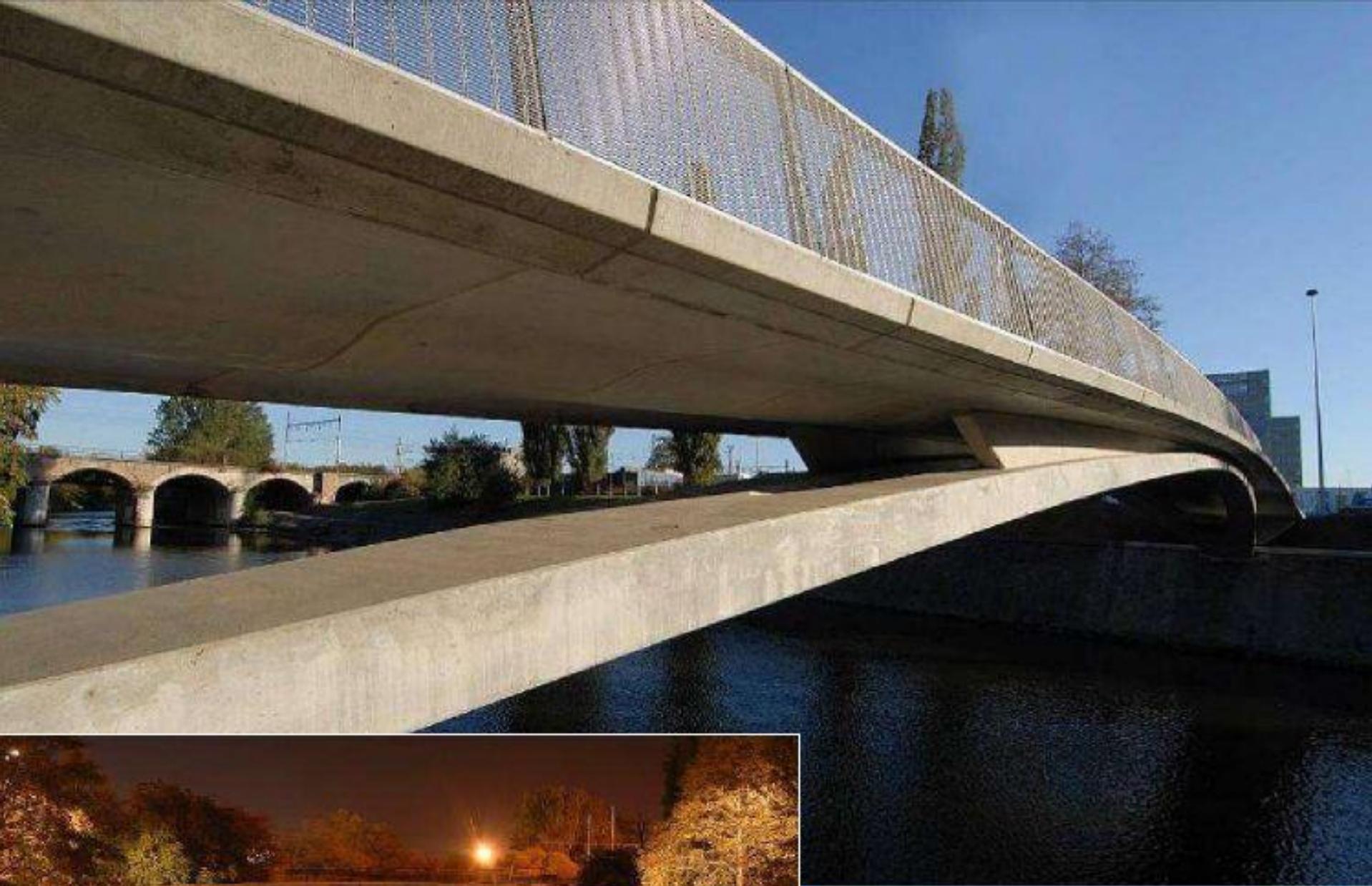


Vandalismus – odezva mostovky s tlumičem TMD, $x=30.6$ m





Lávky ve formě
předpjatého
visutého pásu



Lávka přes Svratku v Brně

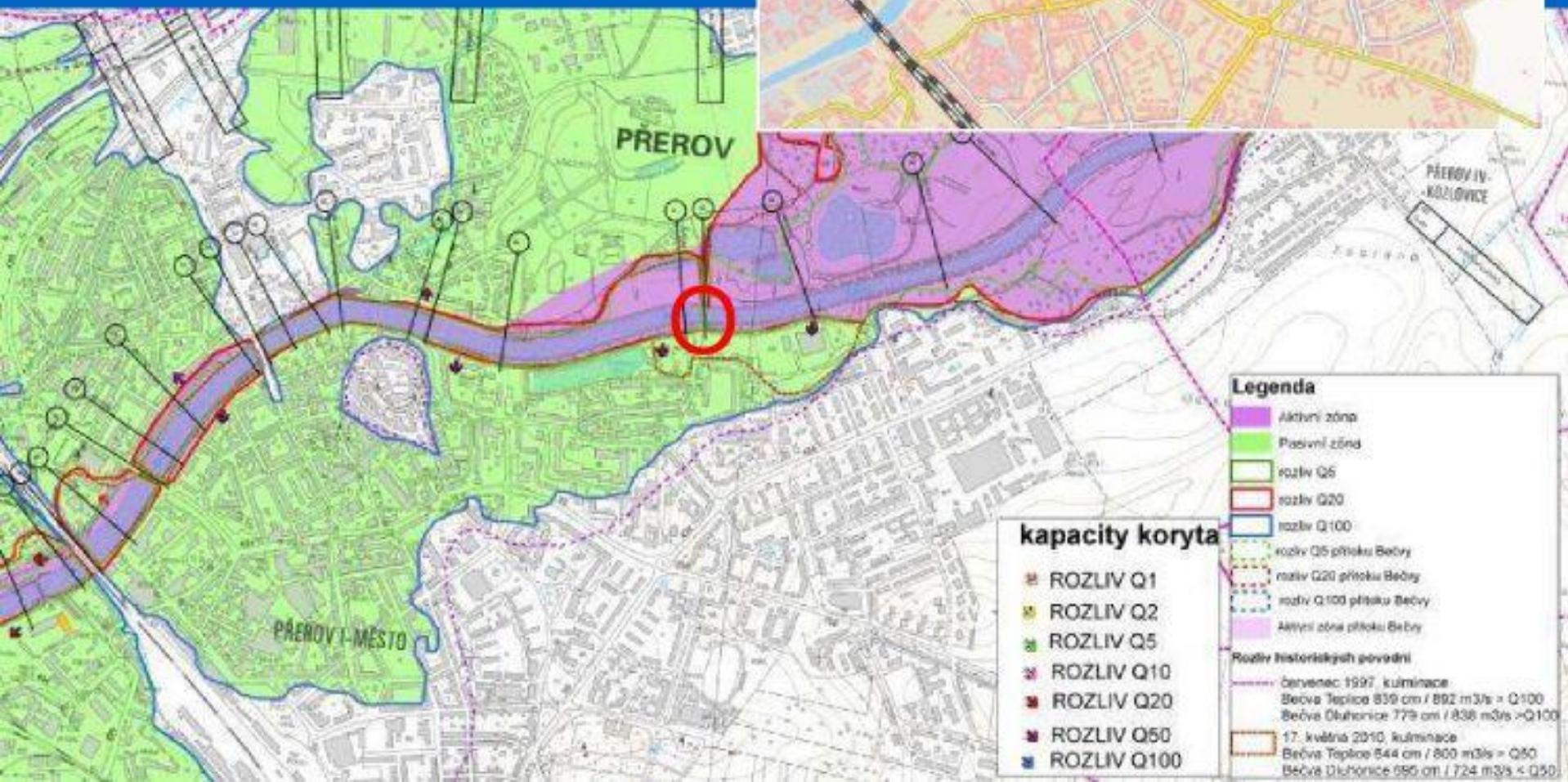


Lávka přes R35 U Olomouce



• Soutěž na lávku v Praze Holešovicích

Lávka přes Bečvu U Tenisu v Přerově



Lávka přes Bečvu

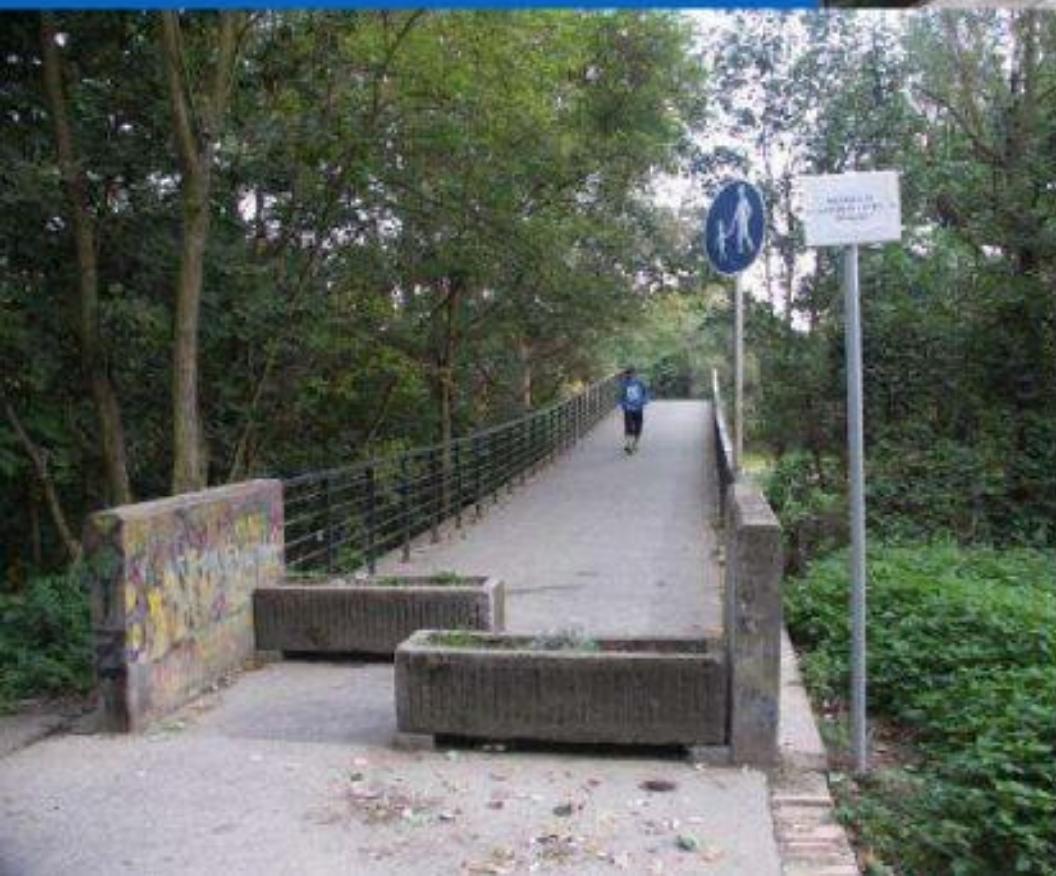
Povodeň 1997 ($>Q_{100}$) ▼ ►



Povodeň 2010 ($>Q_{50}$) ►

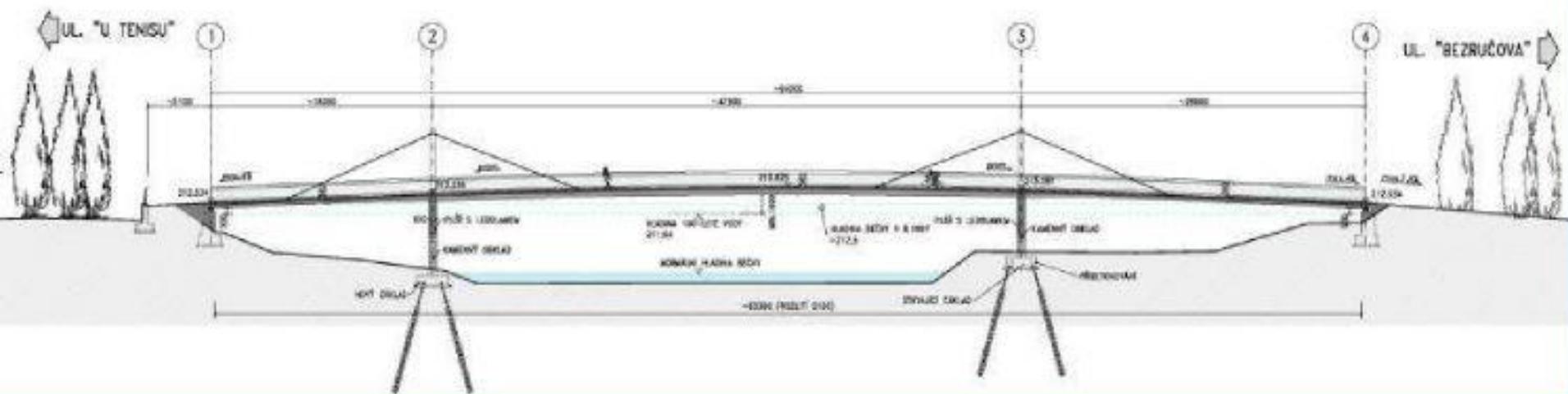


Lávka přes Bečvu současný stav

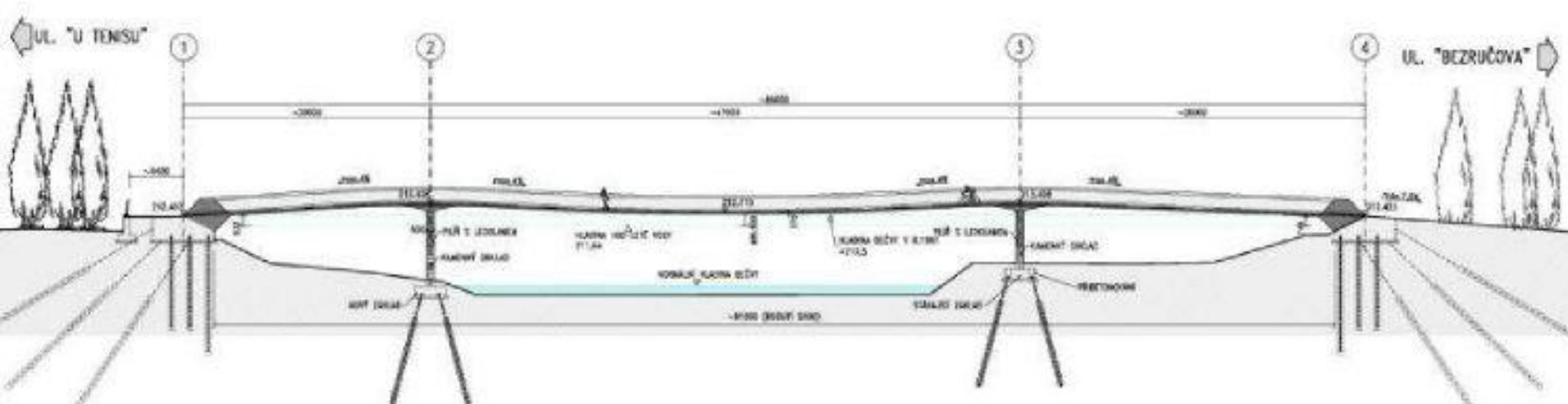


Lávka přes Bečvu – podélný řez (DÚR)

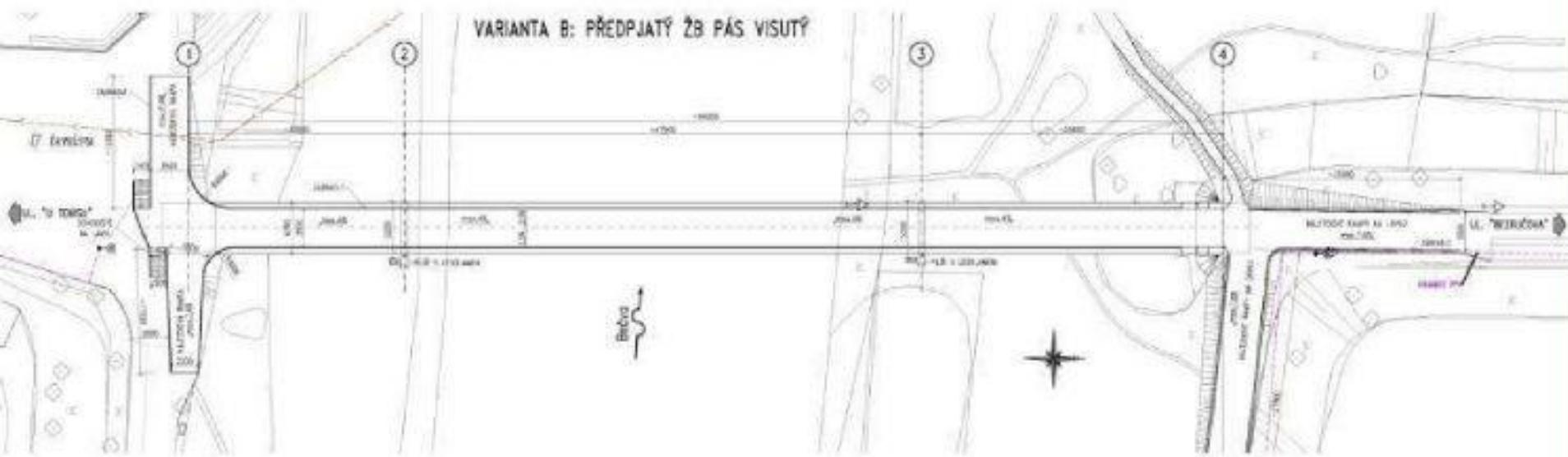
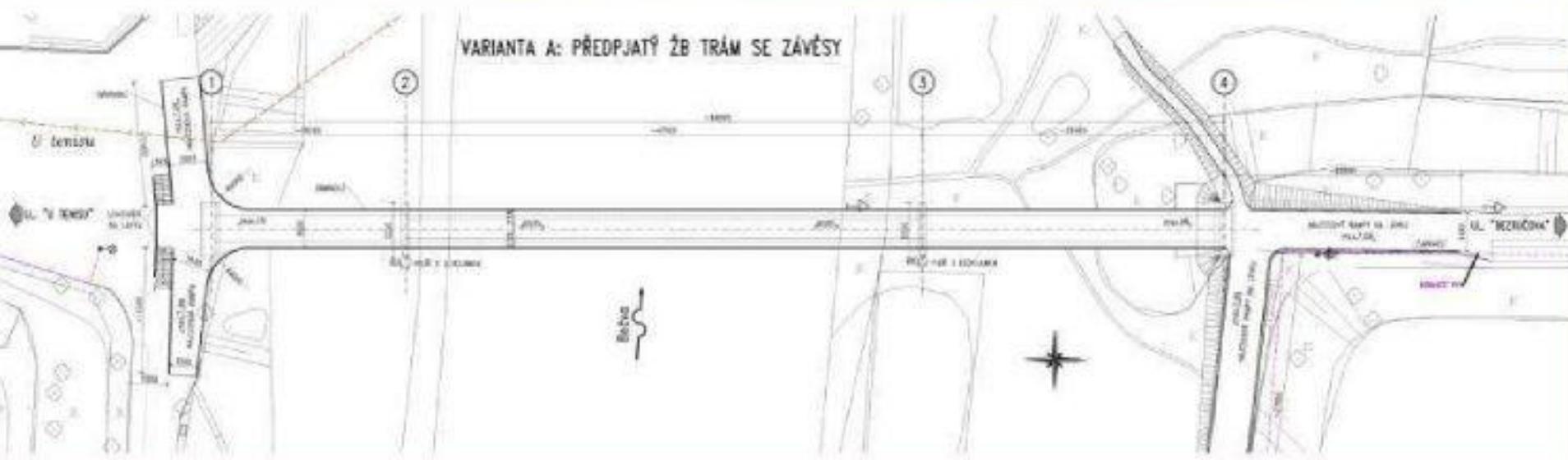
VARIANTA A: PŘEDPJATÝ ŽB TRÁM SE ZÁVĚSY



VARIANTA B: PŘEDPJATÝ ŽB PÁS VISUTÝ



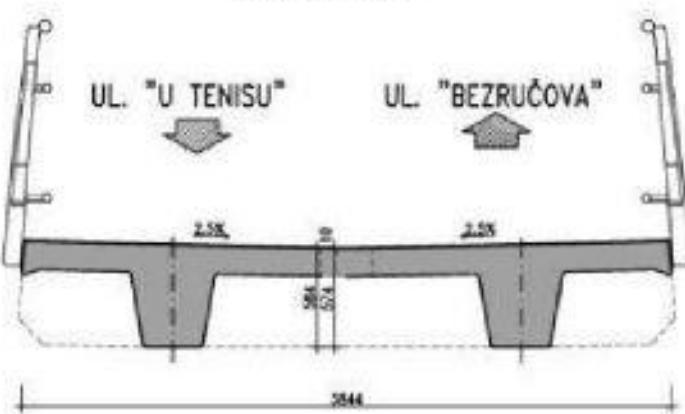
Lávka přes Bečvu – půdorys (DÚR)



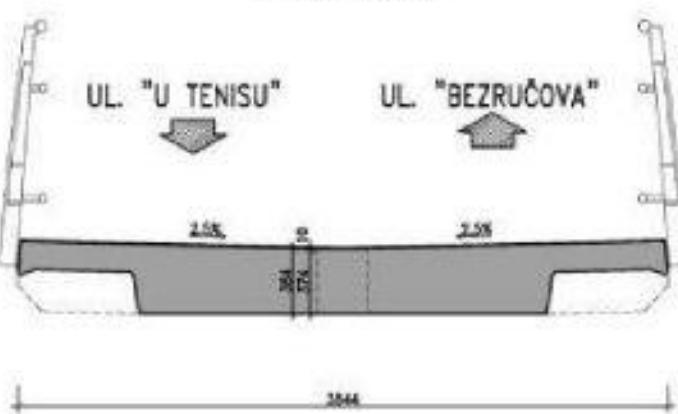
Lávka přes Bečvu – příčný řez (DÚR)

VARIANTA A: PŘEDPJATÝ ŽB TRÁM SE ZÁVĚSY

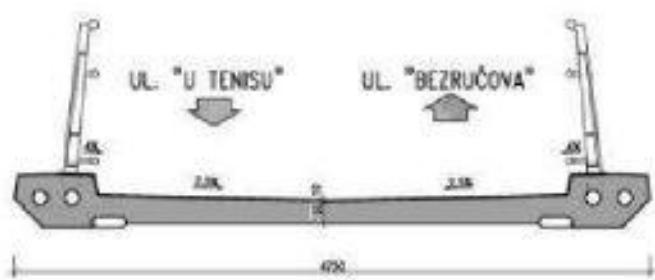
STŘEDNÍ POLE



KRAJNÍ POLE



VARIANTA B: PŘEDPJATÝ ŽB PÁS VISUTÝ



Lávka přes Bečvu – vizualizace



Lávka přes Bečvu – vizualizace



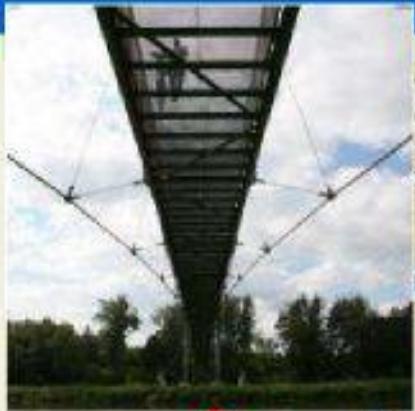
Lávka přes Bečvu – vizualizace



Lávka přes Bečvu – vizualizace



Lávka přes Labe – situace



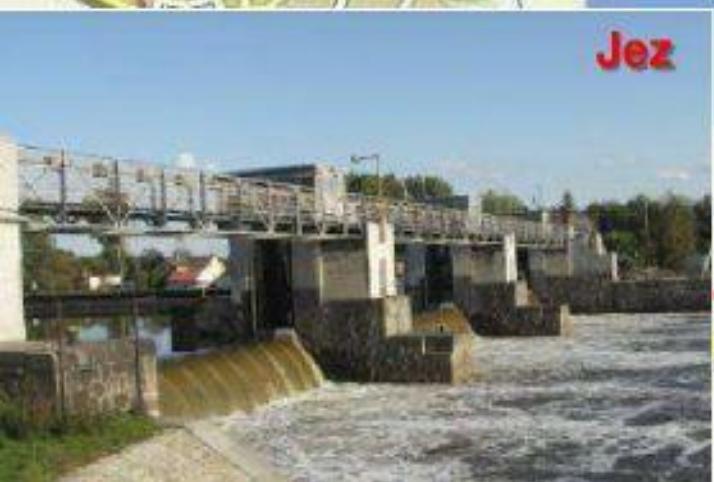
Lávka Kárany



Grádo



Lávka



Jez



Čelákovice

0 300 600 900 1200 m



Radnice

Lávka přes Labe – vyhledávací studie 06/2004



Dokumentace pro územní rozhodnutí 12/2004

Varianta zavěšená (vybraná k realizaci):

- jednodušší výměna závěsů
- menší tahové reakce na opěry
- menší dynamické účinky $a = 0,14 \text{ m/s}^2$

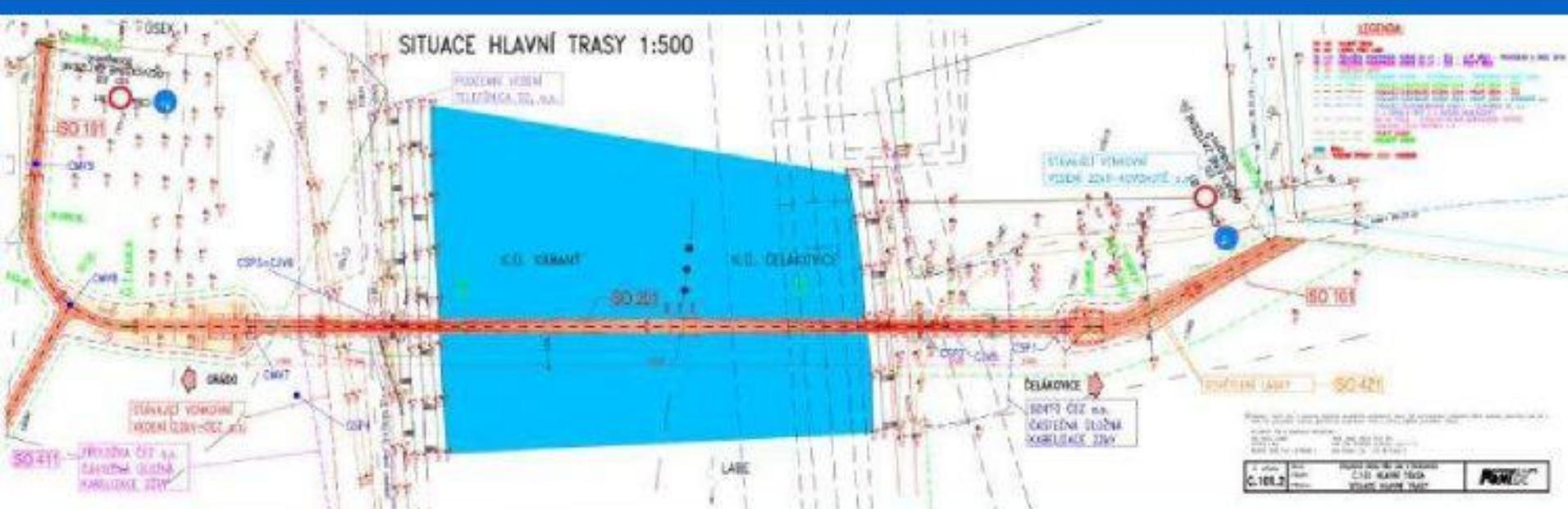
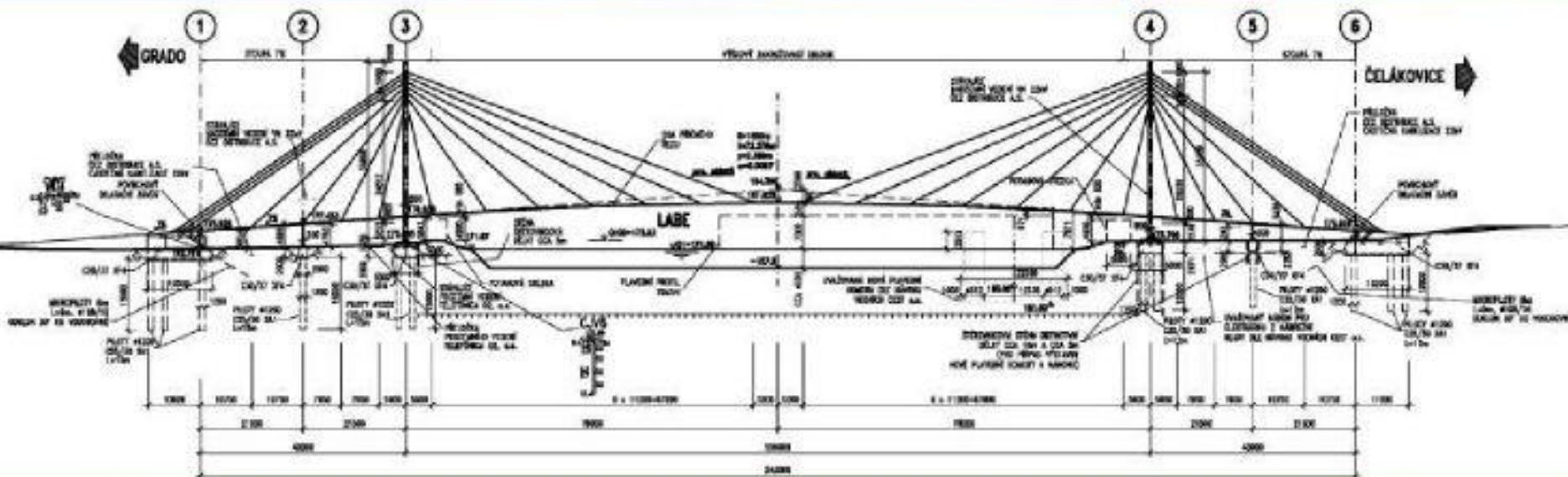
Varianta visutá:

- nižší pylony
- možnost montáže visutým jeřábem
- dynamické účinky $a = 0,23 \text{ m/s}^2$

Lávka přes Labe – podélný řez a půdorys

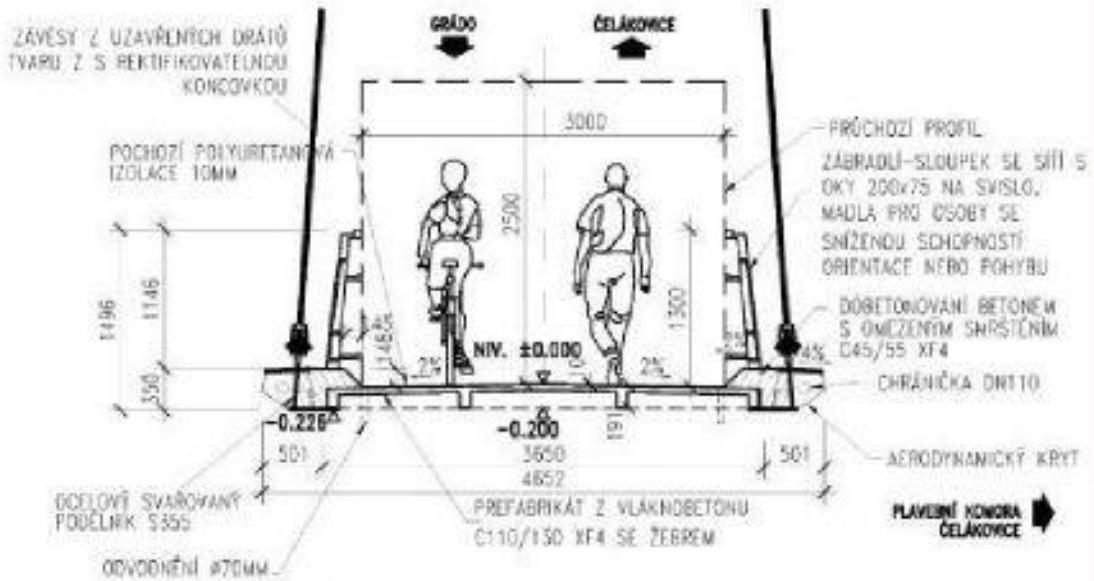
09/2007 – Dokumentace pro stavební povolení

02/2009 – Zadávací dokumentace stavby (ZDS)

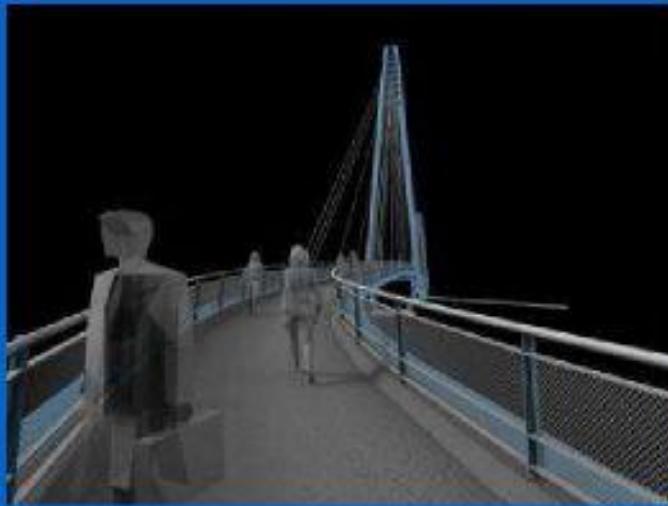


Lávka přes Labe – příčný řez a vizualizace
02/2012 – Aktualizace DSP a ZDS, vydání stavebního povolení

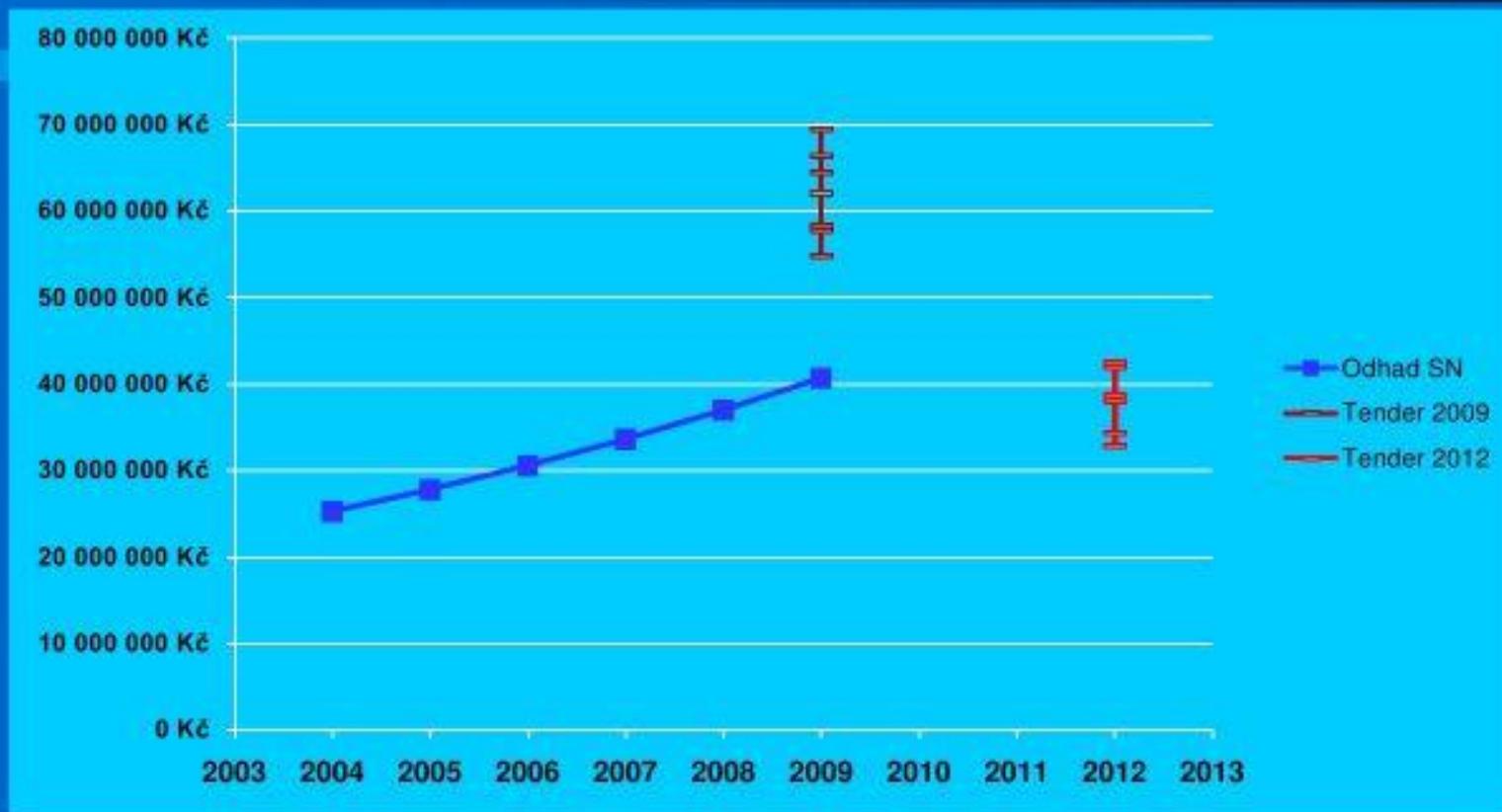
PŘÍČNÝ ŘEZ V POLI 1:50
V MÍSTĚ ZÁVĚSŮ



1. Hlavní pole > 150 m, průchozí šířka 3,0 m
 2. Zatížení 300 kg/m² a jediné vozidlo 3,5 t
 3. Bezbariérový přístup (vyhl. 369/2001 Sb)
 4. Stavební náklady < 40 mil. Kč bez DPH
 5. Rychlá výstavba



Lávka přes Labe – investiční náklady (bez DPH)



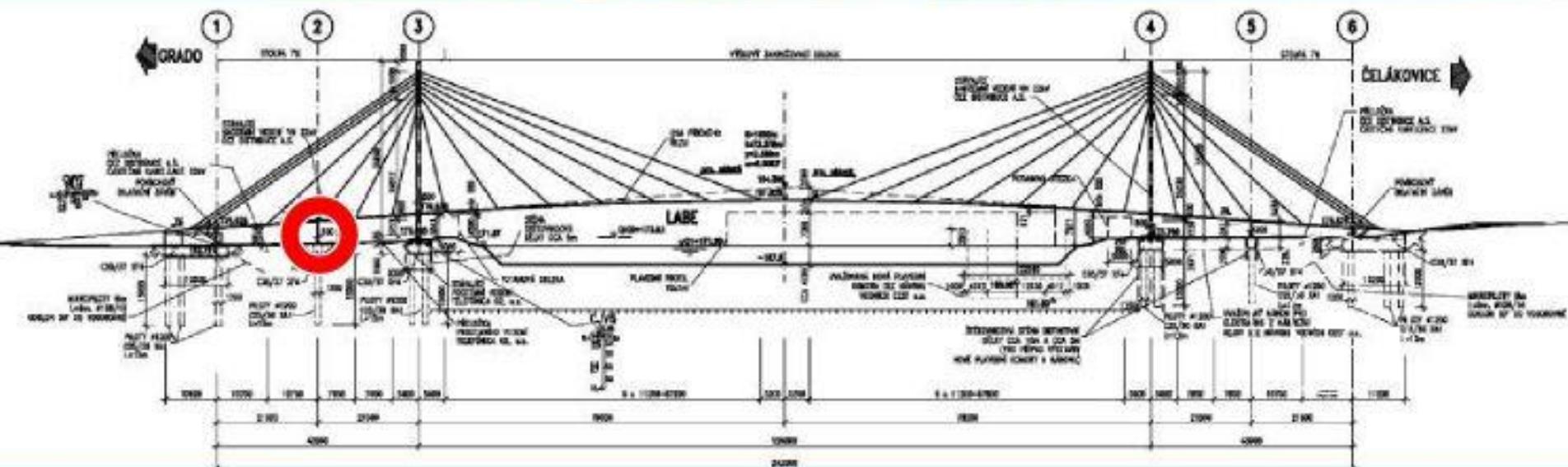
1. Odhad investičních nákladů v období 2004 – 2009: 25,25 --> 40,67 mil. Kč (růst 10%/rok)
2. Tender 2009: kontrolní rozpočet (URS) 47,57 mil. Kč, nabídky 54,87 – 69,53 mil. Kč
3. Tender 2012: kontrolní rozpočet (URS) 46,35 mil. Kč, odhad IN 39,40 mil. Kč
nabídky 32,89 – 42,49 mil. Kč
skutečnost 33,87 mil. Kč

Lávka přes Labe – úpravy navržené zhotoviteli

04/2012 – 2. tender na zhotovitele stavby

30.7.2012 – Předání staveniště (bez přeložky VN 22kV)

25.10.2012 – Schválení změny RM Čelákovice



1. Příčiny:

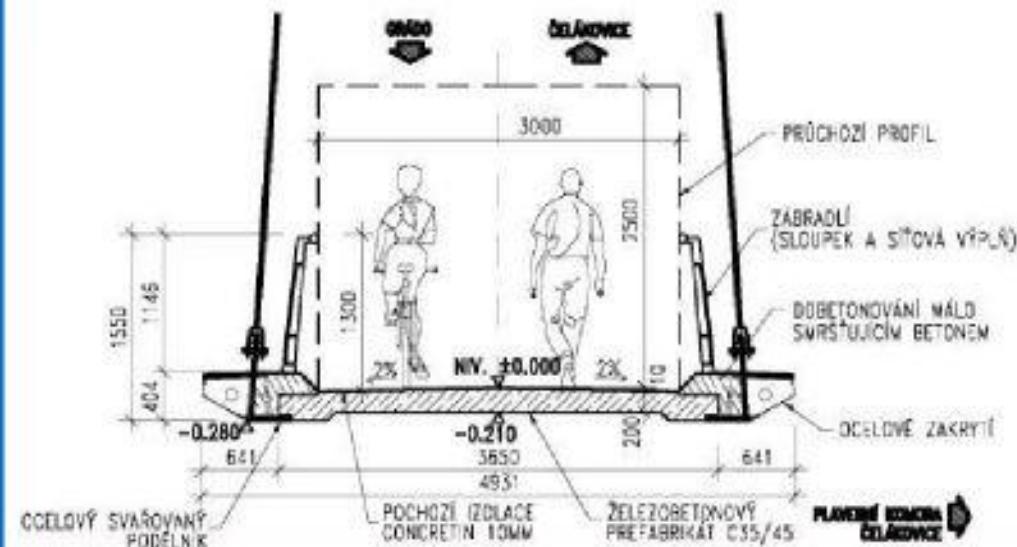
- Přeložka kabelu ČEZ VN 22 kV (SO 411)
- Rekonstrukce jezu a tlak na dodržení harmonogramu

2. Opatření:

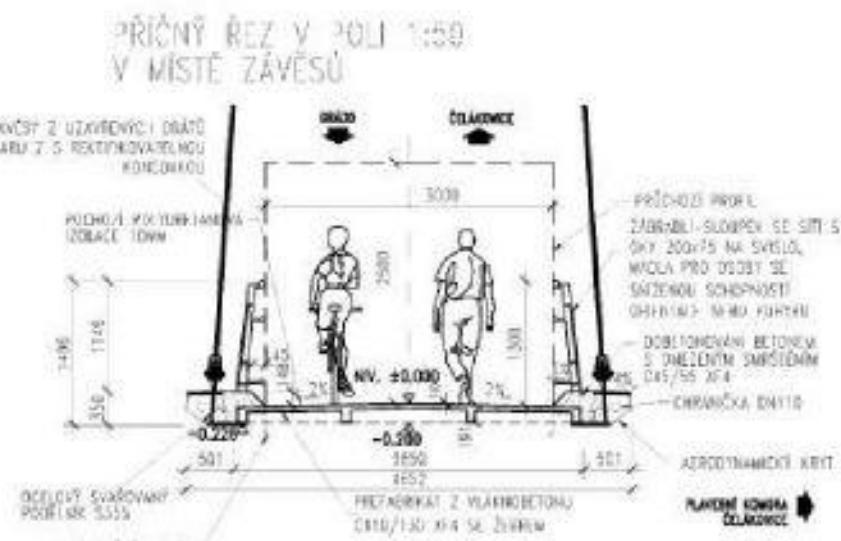
- Změna příčného řezu ocelového pylonu
- Zrušení tahových kyvných stojek v krajiných polích
- Úprava mostovky – změna poměru mezi OK a BK
- Zjednodušení spodní stavby



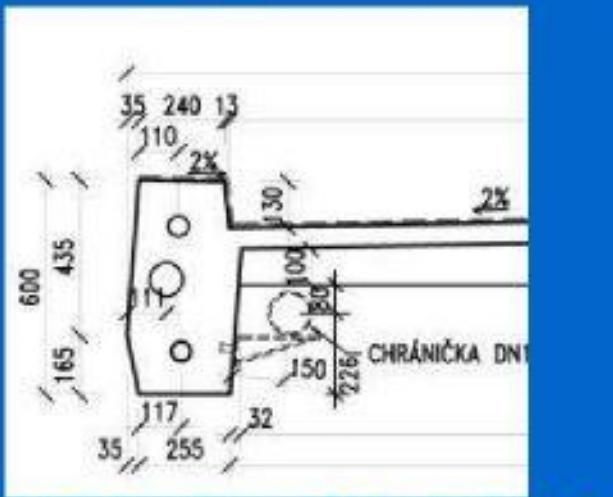
Lávka přes Labe – vývoj příčného řezu lávky



► 2009: ZDS pro 1. Tender

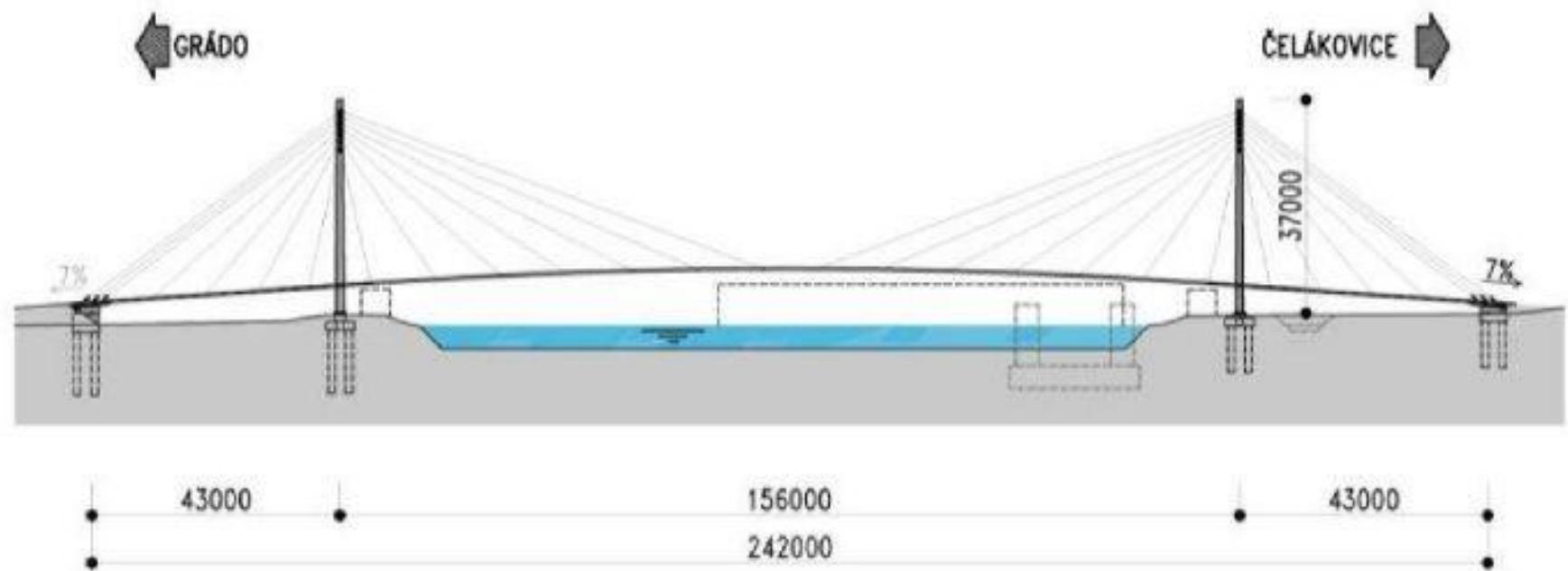


▲ 2012: ZDS pro 2. Tender

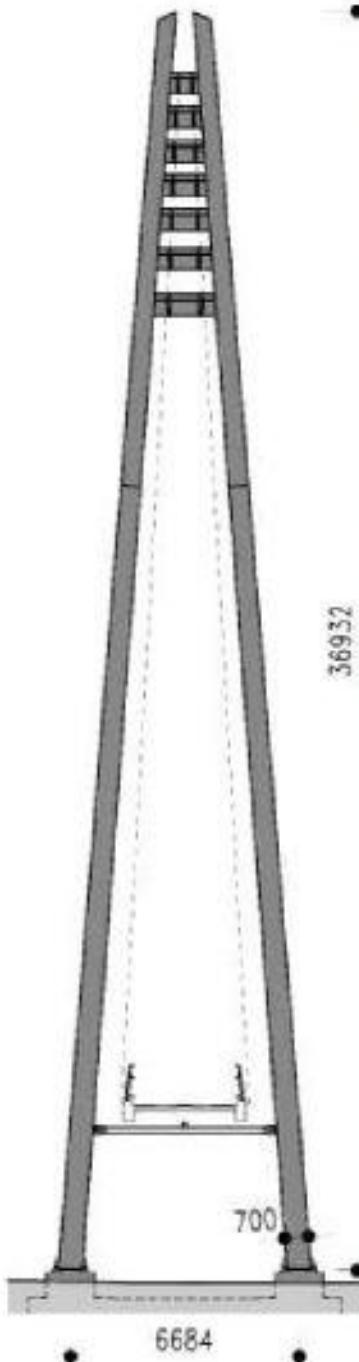
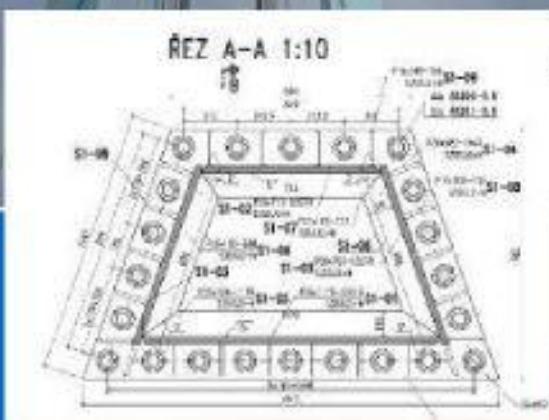


2012: Optimalizace během RDS ►
segmentová technologie

Lávka přes Labe – podélný řez a vizualizace (RDS)



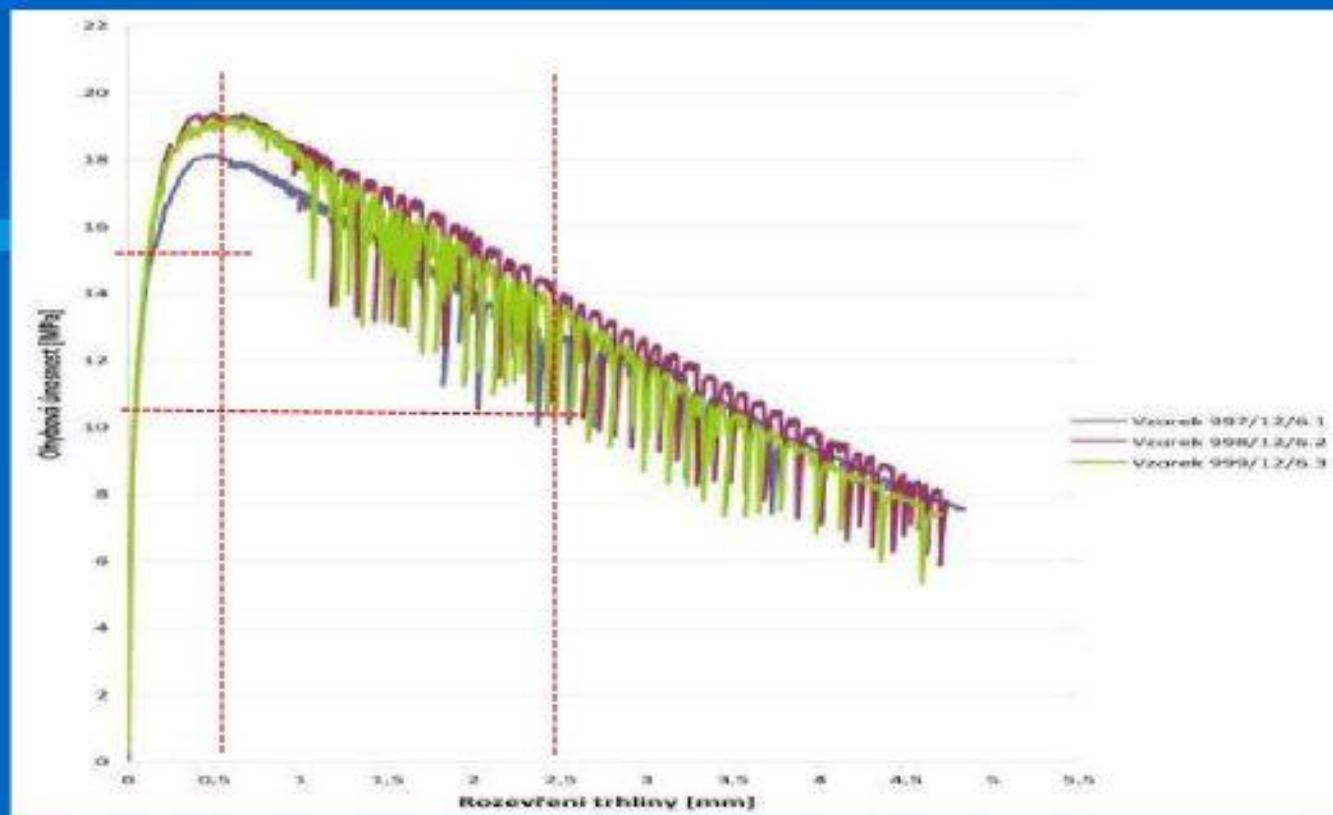
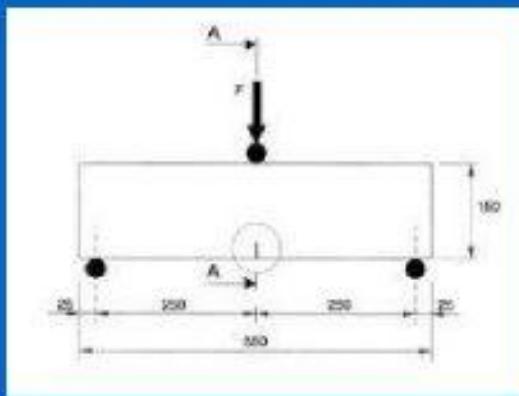
Ocelový pylon ~37m



Lávka přes Labe – materiály

Beton C110/130
(realita C130/150)

Zkoušky betonu:
ČSN EN 14651+A1



UHPC = ultra vysokohodnotný beton (Ultra High Performance Concrete)

$f_{ck} = 110 \text{ MPa}$... charakteristická válcová pevnost

$f_{ck,cube} = 130 \text{ MPa}$... charakteristická krychelná pevnost

$f_{R1k} = 15 \text{ MPa}$... zbytková pevnost v tahu za ohybu CMOD₁ = 0,5

$f_{R3k} = 10,5 \text{ MPa}$... zbytková pevnost v tahu za ohybu CMOD₃ = 2,5

Min. obsah rovnoměrně rozptýlených drátků: 120 kg v m³, tj. 1,5 % objemu.

Lávka přes Labe – materiály

Uzavřené závěsy Redaelli Ø20 až Ø36 mm

Char. pevnost v tahu $R_{pu,k} \geq 1440 \text{ MPa}$ (EN 12385-10)

Dovolené namáhání: $\sigma_{pd} = 0,5 R_{pu,k} = 720 \text{ MPa}$

Únavové rozkmity:

$\Delta\sigma = 100 \text{ MPa}$ pro $N = 2 \times 10^6$

$\Delta\sigma = 150 \text{ MPa}$ pro $N = 5 \times 10^5$

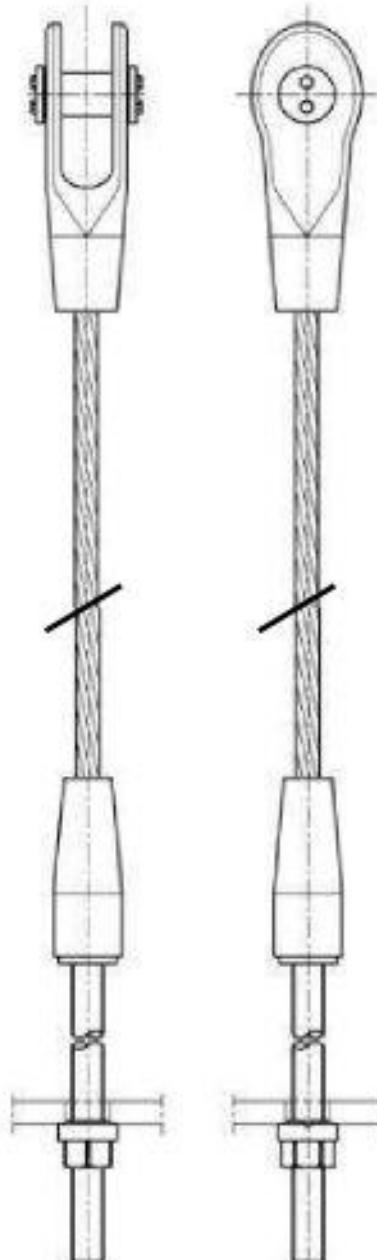
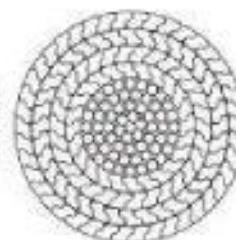
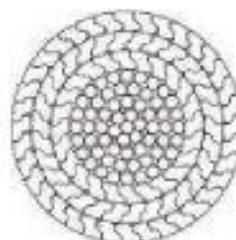
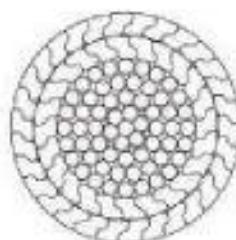
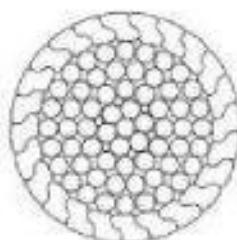
$\Delta\sigma = 220 \text{ MPa}$ pro $N = 1 \times 10^5$

Délková tolerance $\pm 5 \text{ mm}$

Možnost rektifikace $\pm 150 \text{ mm}$

Protikorozní ochrana: galvanizace (EN 10264, tř.A)

Možnost výměny závěsu



Statická zatěžovací zkouška



Návrhové zatížení:
1 vozidlo 3,5 t nebo
rovnoramenné zat. q_{fk} 3 kN/m²

Zkušební zatížení:
8 vozidel po 3,5 t
(účinnost cca 70%)

Teoretický průhyb: 211 mm

Pružný průhyb: 189 mm
Trvalý průhyb: 12 mm
Celkový průhyb: 201 mm

Dynamická zkouška

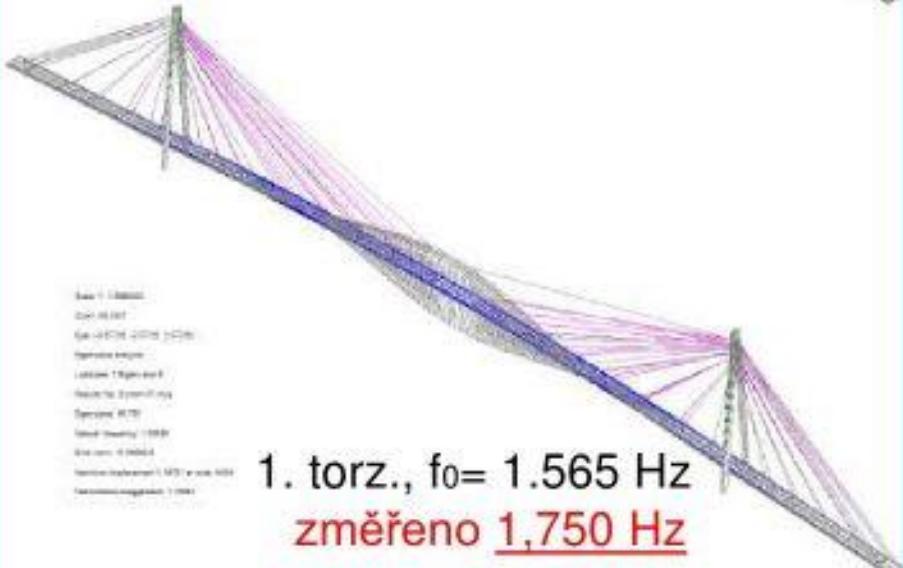


Stav 1 / 100000
Síla: 8000 N
Kmitice: 1000 Hz
Dynamika: 1000 Hz
Lze použít: 1000 Hz
Náklad: 10000 N
Dynamika: 1000 Hz
Výkon: 1000 W
Maximální výkon: 1000 W
Dynamické napětí: 1000 V

Výpočet:

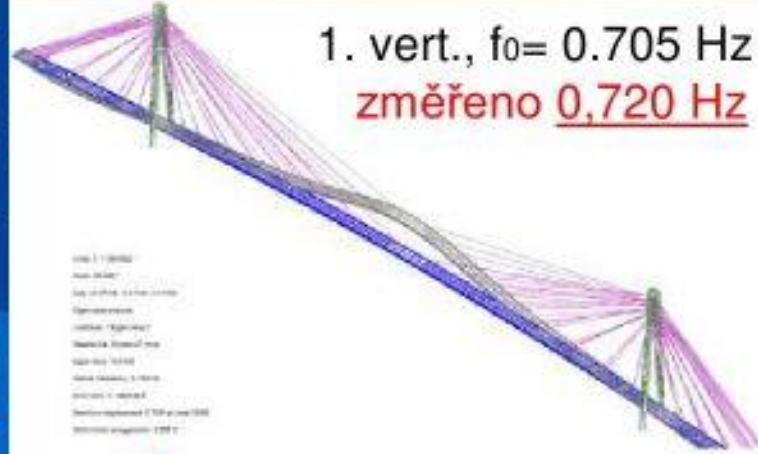
1. hor., $f_0 = 0.574 \text{ Hz}$
změřeno 0,580 Hz

1. torz., $f_0 = 1.565 \text{ Hz}$
změřeno 1,750 Hz



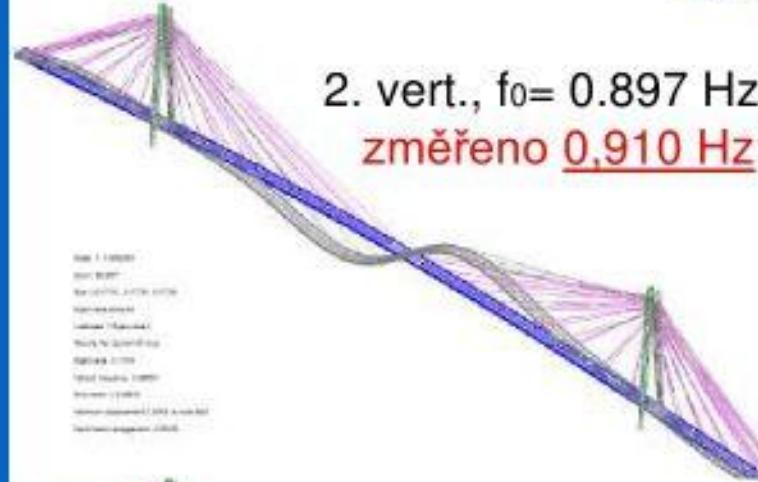
Stav 1 / 100000
Síla: 8000 N
Kmitice: 1000 Hz
Dynamika: 1000 Hz
Lze použít: 1000 Hz
Náklad: 10000 N
Dynamika: 1000 Hz
Výkon: 1000 W
Maximální výkon: 1000 W
Dynamické napětí: 1000 V

1. vert., $f_0 = 0.705 \text{ Hz}$
změřeno 0,720 Hz



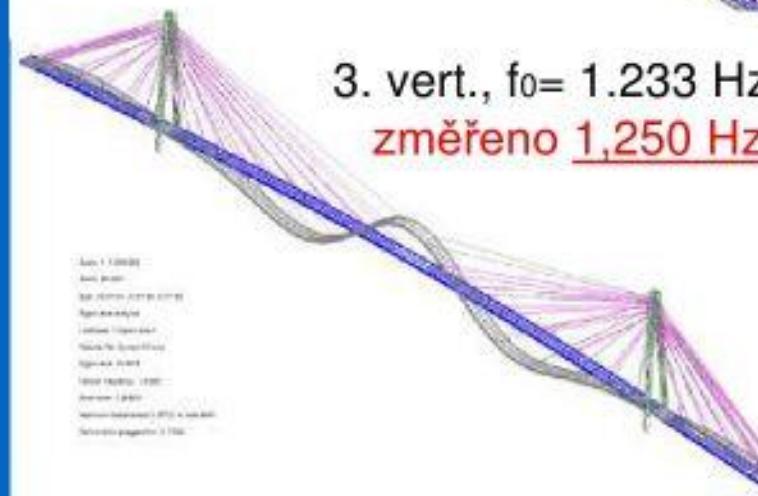
Stav 1 / 100000
Síla: 8000 N
Kmitice: 1000 Hz
Dynamika: 1000 Hz
Lze použít: 1000 Hz
Náklad: 10000 N
Dynamika: 1000 Hz
Výkon: 1000 W
Maximální výkon: 1000 W
Dynamické napětí: 1000 V

2. vert., $f_0 = 0.897 \text{ Hz}$
změřeno 0,910 Hz



Stav 1 / 100000
Síla: 8000 N
Kmitice: 1000 Hz
Dynamika: 1000 Hz
Lze použít: 1000 Hz
Náklad: 10000 N
Dynamika: 1000 Hz
Výkon: 1000 W
Maximální výkon: 1000 W
Dynamické napětí: 1000 V

3. vert., $f_0 = 1.233 \text{ Hz}$
změřeno 1,250 Hz



Stav 1 / 100000
Síla: 8000 N
Kmitice: 1000 Hz
Dynamika: 1000 Hz
Lze použít: 1000 Hz
Náklad: 10000 N
Dynamika: 1000 Hz
Výkon: 1000 W
Maximální výkon: 1000 W
Dynamické napětí: 1000 V



16.11.2013

Montáž letmo – poslední segment

26.11.2013



17.4.2014



Uvedení do provozu 30.4.2014

Lávka přes Labe výhledová situace





Letecký pohled



Lávka v Čelákovicích - závěr

1. Zavěšená lávka v Čelákovicích má největší pole v ČR pro tento typ konstrukce
2. Lávka v Čelákovicích je první realizací z UHPC v České republice
3. UHPC C130/150 byl vyvinut Metrostavem & TBG z místních materiálů
4. Návrh je založen na rozsáhlém výzkumu, vývoji a zkouškách
5. Technologie UHPC je velmi náročná na dodržení rovnoměrné kvality
6. Vlastnosti materiálu a konstrukčních prvků překonaly očekávání
7. Materiál je značně dražší než běžný beton, ale u lehkých konstrukcí o velkém rozpětí je to kompenzováno úsporami na závěsech, pylonech a zakládání
8. Trvanlivost je vynikající, předpokládaná životnost 120 let s minimální údržbou

Experimenty a zkoušky prvků z UHPC byly provedeny za podpory grantů
MPO ČR č.FR-TI3/531 a CESTI WP3 – mosty.



Slavnostní otevření 21.6.2014

Otázky ?

Děkuji za pozornost ! Milan Kalný

