MOSTNÍ ESTAKÁDA BUBNY

SPECIFIKA VÝSTAVBY PŘEDPJATÉ ŽELEZNIČNÍ KONSTRUKCE A SPECIÁLNÍ MONITORING BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

Jiří Lukeš, Jan Kubr, Petr Hanzal, Pavel Vaněk, Petr Beňo

Jedním z hlavních prvků nového železničního spojení Prahy s Kladnem a letištěm Václava Havla se stává nová železniční mostní estakáda o celkové délce téměř 600 m, která nahrazuje liniovou bariéru původní železnice rozdělující prostor pražských Holešovic.

1

Železniční most v km 0,900 – obecné informace a historické souvislosti

V minulosti vedla jednokolejná trať ze stanice Praha-Bubny směrem k Výstavišti Praha po ocelovém mostu v ulici Dukelských hrdinů a po tělese náspu. Nově bude dvoukolejná a elektrifikovaná trať vedena v 570 m dlouhém úseku po estakádě. Nový most, který na severním konci naváže na nástupiště zastávky Praha-Výstaviště, bude vedený v oblouku s proměnným převýšením. V podélném směru je estakáda rozdělena na devět samostatných dilatačních celků – dodatečně předepnutých spojitých nosníků o dvou, třech a čtyřech polích. Maximální délka jednoho dilatačního celku je 98 m.

V prostoru nové železniční mostní estakády se v místě ulice Dukelských hrdinů nacházel na začátku stavby původní příhradový železniční viadukt z tzv. Buštěhradské dráhy, který byl zbudován v souvislosti s konáním pražské Jubilejní zemské výstavy v roce 1891. Vlaky po něm jezdily více než 130 let. Svou nýtovanou konstrukcí je typickým příkladem drážního stavitelství přelomu 19. a 20. století. Viadukt je s Jubilejní výstavou spojen též osobou svého tvůrce a výrobce, neboť projektová dokumentace z června roku 1890 je podepsána jménem inženýra Františka Prášila a konstrukci vyrobila mostárna První českomoravské akciové továrny na stroje v Libni – tedy jako v případě Průmyslového paláce. S ohledem na historickou hodnotu tohoto mostního objektu bylo rozhodnuto o přesunu mostní konstrukce do prostoru bývalého depa Masarykova nádraží, kde se stane jednou z dominant budoucího Muzea železnice a elektrotechniky Národního technické muzea. Snesení mostní konstrukce bylo provedeno jeřábem LTM 1350 (obr. 2) a po přenesení na přistavený podvalník byla konstrukce převezena do prostor budoucí expozice muzea.

Nová železniční mostní estakáda umožní v místě původního železniční-

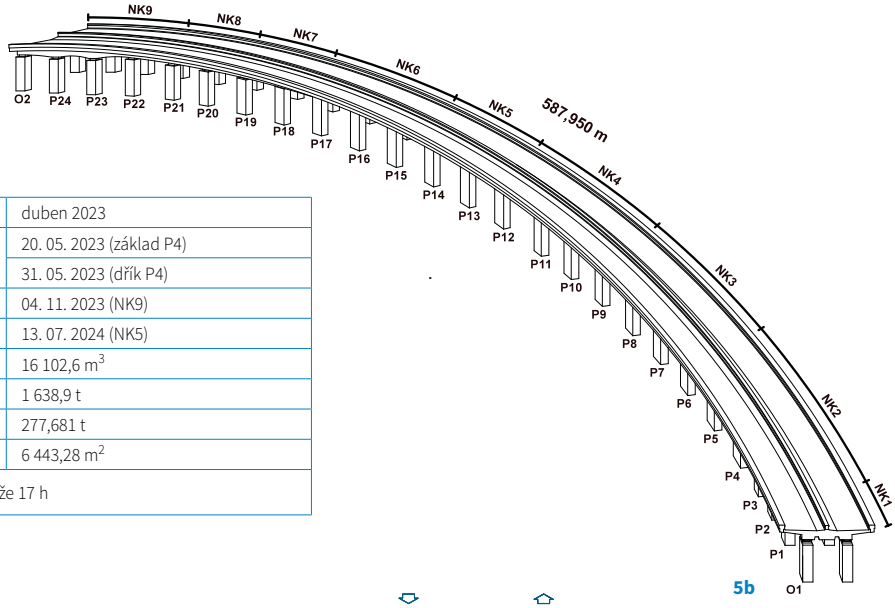
2a

2b

3

4

1 Mostní estakáda Bubny – železniční most v km 0,900 **2** Ocelový most přes ulici Dukelských hrdinů: a) původní stav, b) demontáž **3** Vizualizace mostní estakády **4** Vizualizace možného využití jednotlivých mostních polích formou komerčních vestaveb **5** a) Příčný řez estakádou – nosná konstrukce je desková, vylehčená krajními konzolami z dodatečně předpjatého betonu C35/45, b) axonometrie

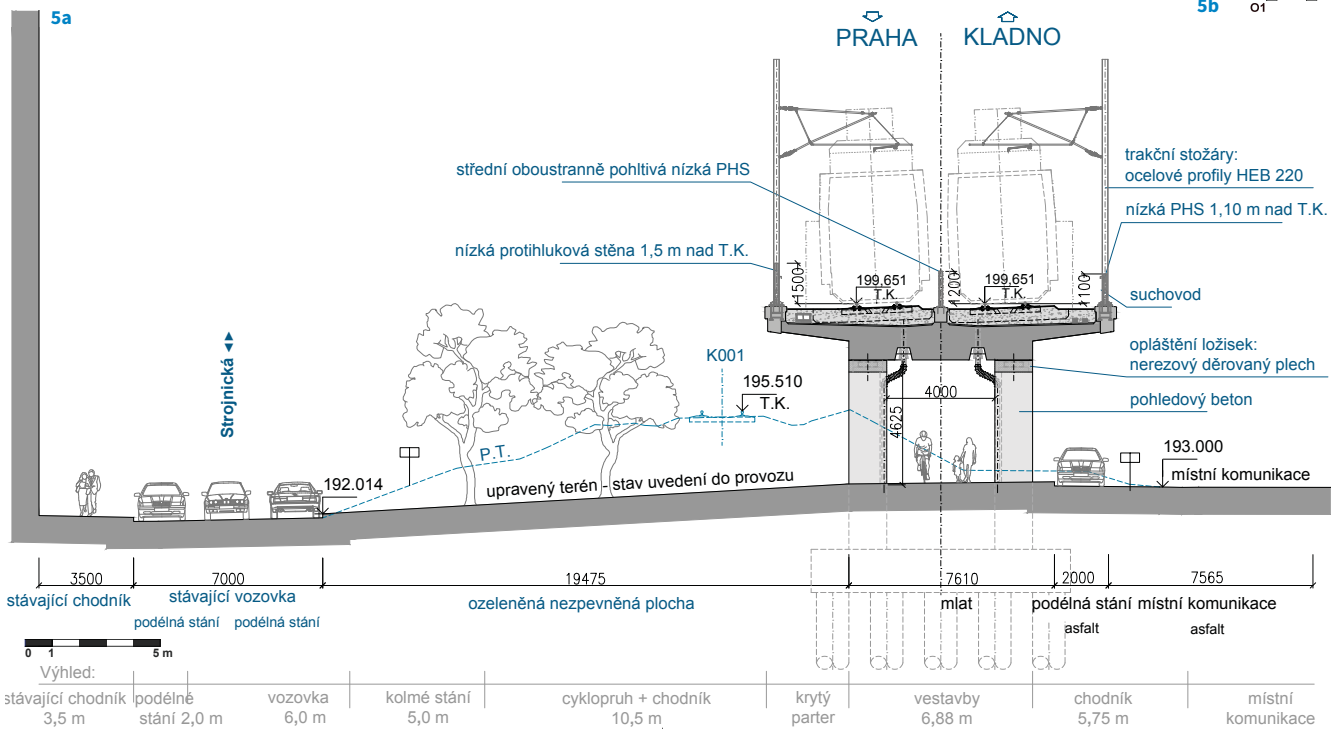


5b

Tab. 1 Estakáda v číslech

Průběh výstavby	zahájení prací	duben 2023
	betonáž prvního pilíře	20. 05. 2023 (základ P4)
		31. 05. 2023 (dřík P4)
	betonáž první nosné konstrukce	04. 11. 2023 (NK9)
	betonáž poslední nosné konstrukce	13. 07. 2024 (NK5)
Spotřeba materiálu	beton	16 102,6 m^3
	betonářská výztuž	1 638,9 t
	lana pro předpínání	277,681 t
	izolace mostovky	6 443,28 m^2
Největší objem betonáže (NK2)	1 184 m^3, 135 automixů, doba betonáže 17 h	

5a



6

7

ho náspu otevření daného území pro veřejnost. Dojde k odstranění původní bariéry náspu a do budoucna prostor pod estakádou umožnuje využití formou komerčních vestaveb v jednotlivých mostních polích a tím plánovaný rozvoj místní lokality.

SO 02-20-01 – Železniční mostní estakáda v km 0,900

Konstrukční řešení mostních objektů celého traťového úseku je jednotné. Nosná konstrukce nejdelší železniční estakády v km 0,900 je desková, vylehčená krajními konzolami z dodatečně předpjatého betonu C35/45. V místech křížení trati se stávajícími významnými komunikacemi – ulicí Dukelských hrdinů, ulicí Bubenská a plánovaným propojením Veletržní-Dělnická – jsou navrženy mosty o třech polích s náběhy. V místech křížení trati s plánovanou komunikací Nová Bubenská (dle platného územního plánu) je navržen most o čtyřech polích s náběhy. Ostatní přemostění je navrženo s konstrukcí konstantní výšky 1,3 m. Předpětí je realizováno dodatečné lanovým systémem se soudržností (lana uložena v izolovaných kanálcích) se senzory pro sledování napětí. Jedná se o celkově elektricky izolovaný systém, včetně izolace kotevní desky dle ČSN EN 1992-2 ve stupni ochrany PL3.

Pro uložení nosných konstrukcí estakády na spodní stavbu jsou navržena kalotová ložiska se zdvojenou dolní deskou odpovídající požadavkům ČSN EN 1337-1, ČSN EN 1337-2 a ČSN EN 1337-7. Konstrukce ložisek je navržena dle TP262 na předpokládanou dobu životnosti 50 let. Ložiska svými posuny umožní zkrácení konstrukce o 70 mm a prodloužení o 110 mm. Kluzné plochy jsou vyrobeny z UHMWPE (Ultra high molecular weight polyethylene).

Průběh výstavby

Po odtěžení stávajícího tělesa náspu byly zahájeny práce na spodní stavbě mostu. Most je založen na 313 velkoprůměrových pilotách o Ø 1,2 m, nejdelší piloty měří 12,5 m. Pro výstavbu základů bylo nutné provést štětovnicové nebo záporové jímky – použití bylo dle zastižené geologie. Práce na železobetonových konstrukcích základů a dříku byly zahájeny v květnu 2023. Spodní stavbu mostu tvoří opěry O1, O2 a pilíře P1 až P24. Osm pilířů je sdružených, společných pro dva samostatné dilatační celky. Pilíře jsou se dvěma dříky průřezu 2,5 × 1,4 m, u sdružených jsou zvětšeny na 3,5 × 1,4 m. Nosná konstrukce je uložena na každé podpěře na dvojici kalotových ložisek se zdvojenou dolní deskou.

Nosné konstrukce byly zrealizovány vyjma části NK9 (kde musel být zachován provoz TT v ulici Dukelských Hrdinů) na prostorové skruži (obr. 7). Z důvodu velkého tlaku ze strany objednatele na urychlení prací bylo postupováno od O1 a O9 směrem k NK5 současně, což přineslo také specifický postup předpínání závěrečné středové nosné konstrukce estakády.

V říjnu letošního roku byla dokončena betonáž posledních dilatačních celků říms a v současné době probíhá dokončování veškerého mostní vybavení jakým je zábradlí a protihlukové stěny. Zahájena byla také pokládka kolejového lože na již kompletně zaizolované nosné konstrukce.

8

9

10

11

12

6 Základ a dřík pilíře mostu v km 0,900 **7** Betonáž mostní konstrukce na prostorové skruži **8** V části NK9, kde musel být zachován tramvajový provoz, bylo nutné použít průjezdný ocelový ochranný rám **9** Spodní líc estakády byl vybedněn kompletně z hladké vícevrstvé překližky v souladu s požadavky na pohledový beton **10** Betonáž NK9 probíhala současně pomocí tří mobilních betonpump **11** Betonáž nosné konstrukce mostu v km 0,900 **12** Povrch mostovek byl upraven pomocí vibračních lišt **13** Osazené elektroizolační kanálky předpětí **14** Probíhající vakuová injektáž z čela nosné konstrukce **15** Předpínání závěrečné nosné konstrukce ve středu estakády **16** Pohled na čelo nosné konstrukce po předepnutí

13

Specifika předpínacího systému mostovek

V souladu se specifikací byl použitý plně elektricky izolovaný předpínací systém ve stupni protikorozní ochrany PL3, jehož použití poskytuje ochranu předpínací výztuže nejen před agresivními látkami, ale i proti účinkům bludných proudů. Dodavatelem kompletního předpínacího systému byla vybrána společnost VSL.

Elektrickou izolaci předpínacích kabelů umožňuje ucelený předpínací systém, jehož součástí jsou plastové kanálky se systémovým napojením na plastové trumpety a kotvy včetně izolačních podložek, s adekvátní mechanickou pevností vzhledem ke kontaktnímu napětí pod objímkami, a trvalé injektážní kryty.

Sledování předpínacích kabelů je součástí monitoringu nosné konstrukce. Spolu s měřením předpínací síly pomocí elastomagnetických snímačů Inset nainstalovaných na kabelové kanálky je monitorována i integrita zapouzdření předpínacích kabelů. Sledovaným parametrem je elektrický odpor mezi předpínacím kabelem a konstrukcí pomocí vodičů vyvedených z trvalých injektážních krytů.

Injektáž byla prováděna pomocí technologie vakuové injektáže (obr. 14). Tento postup, kdy je v kabelu nejdříve vytvořen podtlak v úrovni 850 mbar a následně vháněna injektážní malta, umožňuje u celozapouzdřených systémů PL2 a PL3 dokonalé vyplnění předpínacího kabelu. Současně při tomto postupu odpadá nutnost použití klasických odvzdušňovacích trubiček.

Zhotovitelem navržený postup výstavby současně směrem od obou opěr vyžadoval mimo jiné i koordinaci se zhotovitelem předpětí a projektantem tak, aby mohlo být předpínání poslední NK5 provedeno z velmi omezeného prostoru z důvodu již dokončených sousedících nosných konstrukcí (obr. 15 a 16). Dodavatel předpínacího systému proto použil pro napínání klínové napínací stolice, jimiž se s předpínacím lisem dostal nad úroveň konstrukce mostovky při mírně zvýšeném tření během napínání. Toto řešení umožnilo kompletně oboustranně předepnout i poslední nosnou konstrukci umístěnou uprostřed mostní estakády.

14

15

16

17a

17b

Speciální monitoring betonových konstrukcí

Kontrolní zkoušky vakuové injektáže

V rámci ověření spolehlivost a potvrzení pozitivního efektu použití vakuové injektáže kabelových kanálků provedl dodavatel předpětí sadu kontrolních zkoušek injektáže. Na závěr byly zainjektované kontrolní kabelové kanálky a rovněž kotvy rozebrány a rozřezány (obr. 17). Výsledky zkoušek prokázaly vhodnost použití vakuové injektáže a potvrdily její přínosy v realizaci.

Kontrola předpínací síly v lanech

Do každé nosné konstrukce byly umístěny magnetoelastické snímače pro měření předpínací síly (obr. 18). V rámci monitoringu při výstavbě bylo měřeno a zaznamenáno reálné napětí v kabelech. Byl vytvořen protokol, který bude rovněž součástí dokumentace skutečného provedení stavby. Na estakády bylo osazeno celkem 22 snímačů, které umožňují monitoring síly v předpínací výztuži a po uvedení mostu do provozu budou sloužit správci mostního objektu v rámci pravidelných prohlídek pro provádění kontrolních měření velikosti předpínací síly v lanech. Dodavatelem magnetoelastických snímačů je společnost INSET s.r.o.

Měření teploty betonových konstrukcí a návrh receptury betonové směsi

S ohledem na mocnost konstrukcí (masivní konstrukce) bylo zapotřebí prověřit, zda pro konkrétní recepturu betonu, dobu betonáže a uvažovaná technologická opatření nebude překročena maximální teplota ve vybetonované konstrukci. Dle TKP 17 je maximální přípustná teplota 70 °C a maximální gradient teplot mezi jádrem a povrchem konstrukce 20 °C.

Zhotovitel mostní estakády společnost Metrostav TBR, který se dané problematice dlouhodobě věnuje, navrhl ve spolupráci s dodavatelem betonové směsi TBG Metrostav optimální složení betonové směsi s použitím směsných struskoportlandských cementů CEM II a síranovzdorných cementů CEM III se sníženým vývinem hydratačního tepla. Jednotlivé betonové směsi byly předem zkoušeny na kontrolních vzorcích a byla také provedena softwarová simulace vývoje hydratačního tepla. Následně byla v každé betonované konstrukci prováděna měření teploty v jádru konstrukce a na povrchu. Tato měření byla prováděna pomocí předem osazených teplotních čidel napojených na

Použité podklady:

[1] *Projektová dokumentace: Modernizace trati Praha-Bubny (vč.) – Praha-Výstaviště (vč.).* METROPROJEKT a.s. 08/2021.

17 Zainjektované kontrolní kabelové kanálky a kotvy byly rozebrány a rozřezány pro ověření vhodnosti použití vakuové injektáže **18** Do každé nosné konstrukce byly umístěny magnetoelastické snímače pro měření předpínací síly **19** Vývody teplotních čidel do meteokrytů s dataloggery **20** Datalogger s online přenosem dat do cloudového uložiště **21** Dodatečné zateplení povrchu konstrukce **22** Průběh teplot v čidlech v jádru a u povrchů nosné konstrukce NK9 **23** Podhled estakády **24** Nosná konstrukce v září 2024

18

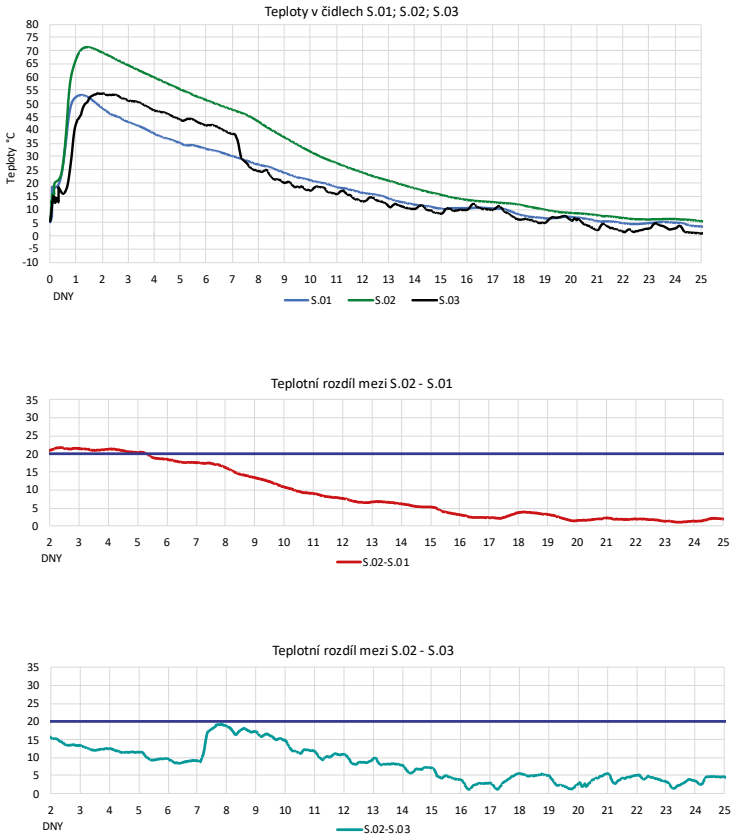
19

20

21

23

22



dataloggery s online přenosem dat do cloudového uložiště, což umožnilo nepřetržitý dohled a kontrolu nad teplotními změnami v konstrukci po její betonáži (obr. 19 a 20). Zaznamenaná data byla využita pro operativní opatření ve formě dodatečných zateplení povrchu konstrukcí (obr. 21) a úpravu složení betonových směsí zejména při betonáži v zimním období.

Shromážděná data jsou rovněž dalším důležitým podkladem pro návrh budoucích masivních konstrukcí a pro specifikaci požadavků na monitoring vývoje hydratačního tepla v průběhu realizace.

Závěr

Po dokončení estakády dojde k propojení obytné zástavby Holešovic s prostorem Výstaviště Praha a celé území bývalého železničního náspu bude otevřeno pro veřejnost. V budoucnu umožní jednotlivá mostní pole rovněž vybudovat podstavby pro komerční využití. Novým přemostěním ulice Bubenská a Dukelských hrdinů dojde k celkovému zlepšení dopravní obslužnosti. Nízké protihlukové stěny na estakádě navržené na základě hlukové studie včetně stěny mezi kolejemi výrazně snižují hlukové zatížení okolí.

Realizace monitoringu teplot, předpínací výztuže, vývody pro měření bludných proudů a následně i měřící zařízení osazená na bezstykové koleji umožní v budoucnu správci a projektantům podrobnou analýzu chování mostu. Měřená data byla využita již v průběhu realizace a přispěla k úspěšnému dokončení nosné konstrukce celého mostního objektu.

Cestující se poprvé po estakádě projedou v roce 2025 po dokončení veškerého mostního vybavení a provedení všech zatěžovacích zkoušek.

Fotografie a datové záznamy: realizační tým Metrostav TBR a.s.

24

Ing. Jiří Lukeš
Metrostav TBR a.s.
jiri.lukes@m-tbr.cz

Ing. Jan Kubr
Metrostav TBR a.s.
jan.kubr@m-tbr.cz

Ing. Petr Hanzal
Metrostav TBR a.s.
petr.hanzal@m-tbr.cz

Ing. Pavel Vaněk
VSL SYSTÉMY /CZ/, s.r.o.
pavel.vanek@vsl.com

Petr Beňo
VSL SYSTÉMY /CZ/, s.r.o.
petr.beno@vsl.com