

MOSTY Z PŘEDPJATÉHO BETONU NA ŽELEZNICI V ČR

Milan Holý, Jiří Kolísko, David Čítek, Stanislav Řeháček, Pavel Ryjáček

Na železničních tratích v České republice se ve správě Správy železnic, s. o., nachází celkem 167 předpjatých betonových mostů. Nosné konstrukce těchto mostů jsou různých typů. V článku je prezentováno rozdělení předpjatých železničních mostů dle typu nosné konstrukce, podrobněji jsou představeny historicky nejčastěji používané typy předpjatých nosných konstrukcí a v neposlední řadě jsou také shrnuty jejich nejčastější poruchy.



1

PRESTRESSED CONCRETE RAILWAY BRIDGES IN THE CZECH REPUBLIC

There are a total of 167 prestressed reinforced concrete bridges in the railway lines of the Czech Republic. The load-bearing structures of these bridges are of different types. In this paper, the prestressed railway bridges are identified according to the type of the load-bearing structure. Historically the most frequently used types of prestressed bridge superstructures are then presented in detail and their most frequent failures are also identified.

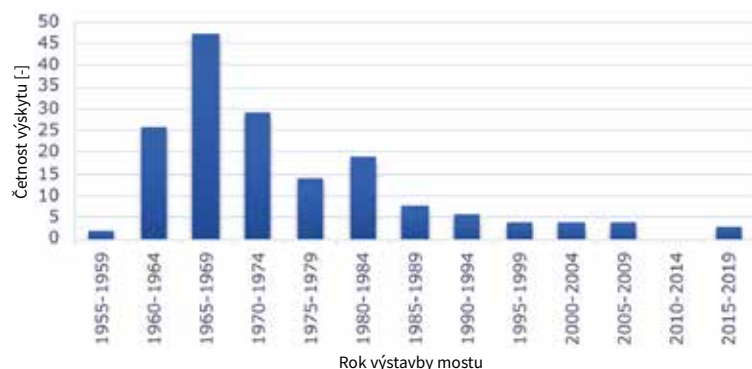
Tento článek vychází z projektu Správy železnic, s. o., (dále SŽ) s názvem Diagnostika a přepočty mostů s předpjatou nosnou konstrukcí. V první fázi projektu provedli zaměstnanci SŽ mostní prohlídky u všech předpjatých mostů v síti SŽ, tzn. u celkem 167 mostů (pozn.: údaj z roku 2019). Ve druhé fázi projektu bylo 63 vybraných mostů podrobně prověřeno diagnostickým průzkumem a statickým posouzením (přepočtem). Výběr mostů pro podrobnější analýzu byl determinován jejich aktuálním stavebním stavem i záměrem podrobně prověřit co možno největší množství různých typů konstrukcí z předpjatého betonu historicky použitých na železnici v ČR. Vyhodnocení projektu bylo podrobně provedeno v knize [1], která obsahuje zevrubný teoretický úvod k předpjatému betonu, historický vývoj předpjatých železničních mostů, jejich typologii a souhrny z vyhodnocení provedených diagnostických průzkumů a přepočtů zatížitelnosti.

Předpjatý beton se stal po druhé světové válce dominantní stavební technologií pro nosné konstrukce mostů.

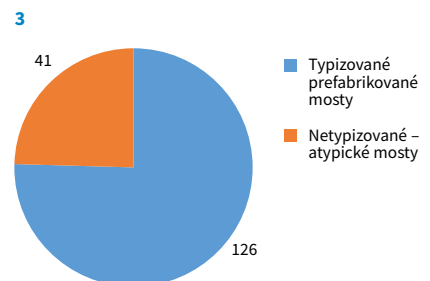
Nosné konstrukce mostů z předpjatého betonu mají v porovnání s mostními konstrukcemi z jiných materiálů (např. z prostého betonu či z oceli) výhody spočívající především ve vysoké tuhosti konstrukce, příznivých vlastnostech z hlediska dynamické odezvy konstrukce a nízké hlučnosti. Konstrukce z předpjatého betonu mají při správném návrhu a kvalitním provedení nízké nároky na údržbu, často se vyznačují i poměrně nízkými pořizovacími náklady. Na tomto místě je potřeba zmínit i nevýhody, mezi něž patří vyšší hmotnost konstrukce a související nároky na založení, vyšší požadavky na přepravu materiálů či přepravu a montáž prefabrikovaných dílců a nemožnost přímé vizuální kontroly stavu předpínací výztuže. U běžných typů konstrukcí se technologie předpjatého betonu využívá většinou spíše pro menší až střední rozpětí.

Vývoj předpjatých železničních mostů

Po úspěšné aplikaci technologie předpjatého betonu



2



3

1 Estakáda Rokytka v Praze (ilustrační foto) 2 Počet železničních mostů z předpjatého betonu postavených v letech 1955 až 2019 3 Počty předpjatých železničních mostů z typizovaných a atypických systémů v ČR (stav k roku 2019)

1 Rokytka Bridge in Prague (illustration photo) 2 Number of prestressed railway bridges built in the Czech Republic from 1955 to 2019 3 Numbers of prestressed railway bridges made using standardised and atypical systems in the Czech Republic (as of 2019)

u silničních mostů středních rozpětí přišly ke slovu i mosty železniční, kde se předpjatý beton uplatnil ve vhodných úpravách i pro mosty malých rozpětí [1], [2]. K rozvoji předpjatého betonu na železničních mostech v poválečném období v celé Evropě přispěl nejen obecný nedostatek konstrukční oceli, ale především podstata samotné technologie, kdy předpětí vytváří tlakovou rezervu v betonu, která při dynamickém namáhání železničním provozem vylučuje tahová napětí a tím omezuje únavové jevy v mostní konstrukci. Oproti dříve používaným ocelovým mostům s prvkovou mostovkou snižuje hmotnější předpjatá železobetonová nosná konstrukce v kombinaci s průběžným šterkovým kolejovým ložem otřesy a hlukovou zátěž.

Předpjaté mosty na železnici se v ČR začaly navrhovat v padesátých letech 20. století. První předpjatý železniční most byl postaven v roce 1954 a nacházel se v Praze přes ulici Křížíkova, nyní je již přestavěn a nahrazen jinou konstrukcí. V současné době je nejstarším mostem v síti SŽ most u Dlouhé Třebové z roku 1956.

V šedesátých letech 20. století se začala rozvíjet jednotná koncepce typizace nosných konstrukcí železničních mostů, která podpořila rozvoj využívání předpjaté technologie. Typizace vyplynula z požadavku stavět rychle, ekonomicky a se sníženou pracností a znamená unifikaci ve výstavbě, která je zaměřena na opakovatelné použití. Z obr. 2 je patrné, že mostů s nosnou konstrukcí z předpjatého betonu bylo postaveno nejvíce právě po zavedení typizace, a to mezi lety 1960 a 1984. Poté je již patrný klesající trend v počtu postavených mostů z předpjatého betonu.

Typologie předpjatých mostů v síti SŽ

Předpjaté mosty obecně lze dělit na jednotlivé typy podle různých kritérií, např. podle způsobu výroby. V případě předpjatých mostů na železnici zcela převažují prefabrikované nosníky, tzn. nosníky vyrobené ve formě mimo svoji finální polohu. Monolitické mosty, které jsou vyrobeny ve finální poloze přímo na stavbě, tvoří méně než 5 % ze všech předpjatých mostů v síti SŽ.

Dle statického působení se předpjaté mosty nejčastěji navrhovaly jako prostě uložená pole, v menší míře byly používány rámové konstrukce či spojitě nosníky. Nejčas-

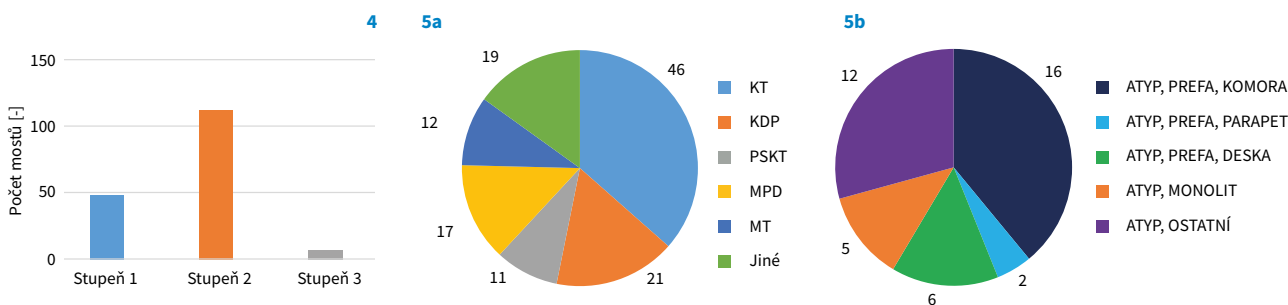
těji využívaným typem nosné konstrukce byly pod každou kolejí dva dilatačně oddělené nespolepůsobící komorové nosníky. Na předpjatých mostech v síti SŽ byly také aplikovány různé další průřezy: jednokomorové konstrukce pod jednou či dvěma kolejemi, parapetní nosníky, nosníky průřezu písmene I, T nebo obdélníku či deskové konstrukce vylehčené i nevylehčené dutinami.

Ve většině případů byly mosty předpínány dodatečně na stavbě, což umožnilo použití zvedaných kabelů a výrobu nosníků z menších (kratších) dílců, které se snadněji transportovaly a snadněji se s nimi manipulovalo. Méně využívané předem předpjaté nosníky, které se předpínaly přímo ve výrobě, využívaly přímá předpínací lana a bylo nutno je vyrábět již ve finální délce.

Předpjaté mosty je z hlediska správy a údržby výhodné rozdělit na mosty z typizovaných systémů a mosty netylizované (atypické). Celkem 125 ze 167 železničních předpjatých mostů je tvořeno z typizovaných prefabrikovaných nosníků, 41 z netylizovaných konstrukčních systémů a 1 most o více polích je tvořen jak typizovanými, tak netylizovanými nosníky (obr. 3). Z hlediska stavebního stavu se potom mosty na železnici dělí podle třístupňové stupnice (obr. 4).

U typizovaných systémů je zpravidla k dispozici dostatečný soubor vstupních informací o nosné konstrukci potřebný pro kontrolu a přepočítání konstrukce (ačkoliv na základě zjištění diagnostických průzkumů byly v některých případech konstrukce provedeny s určitými odchylkami). U atypických konstrukcí se potom ne vždy podařilo dohledat potřebné podklady, což vyžadovalo výrazně větší rozsah diagnostického průzkumu.

Pro potřeby správy a diagnostiky byly předpjaté železniční mosty rozděleny do jednotlivých skupin, jak je patrné z obr. 5: typové systémy podle zavedených označení (zpravidla počáteční písmena celého názvu) a atypické konstrukce podle způsobu výroby a průřezu nosné konstrukce. Mezi nejčastěji používané typizované nosníky patří nosníky typu KT, KDP, MPD, PSKT a MT. Nejčastěji používanými netylizovanými (atypickými) nosníky byly prefabrikované nosníky komorového průřezu, mosty z těchto nosníků byly většinou postaveny ještě před vydáním typového podkladu pro nosníky KT (1967).



4 Aktuální konstrukční stav předpjatých železničních mostů k roku 2019 podle třístupňové stupnice: stupeň 1 – vyžaduje pouze běžnou údržbu, stupeň 2 – vyžaduje opravu nad rámec běžné údržby, stupeň 3 – vyžaduje stavební zásah 5 Zastoupení jednotlivých typů předpjatých železničních mostů: a) typizované systémy, b) atypické mosty

4 Current structural condition of the prestressed railway bridges in 2019 according to a three-level scale: level 1 – requires only a routine maintenance, level 2 – requires repairs beyond the scope of a routine maintenance, level 3 – requires a specific construction repair 5 Frequency of the individual types of prestressed railway bridges: a) standardised precast systems, b) atypical structures

Nejčastěji používané typové systémy

V této kapitole jsou popsány nejčastěji používané typové systémy a jejich typické poruchy.

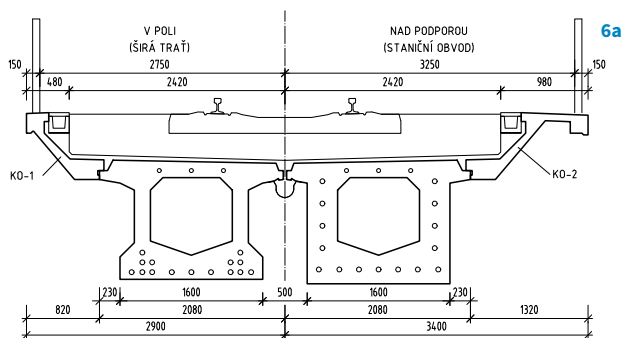
Nosníky KT (komorový trám)

Nosníky KT (obr. 6) jsou typizované dodatečně předpjaté komorové nosníky vylehčené profilovaným otvorem délky 18, 21 či 24 m pro rozpětí 17, 20 a 23 m. Nosníky byly vyráběny z betonu zn. 500 (C35/45) a byly běžně skládány (sepnuty) ze tří dílů, příp. i z většího počtu menších dílů. Spojení dílů mohlo být provedeno ve výrobě i na staveništi, spáry byly předtím vyplněny betonem zn. 400 (C28/35). K předepnutí byly použity kabely z 22 až 24 ks patentovaného drátu \varnothing P7 mm. Pro všechna rozpětí je jediným proměnným rozměrem výška prvku, která byla 1,15 m, 1,35 m a 1,55 m.

Typická konstrukce byla tvořena dvěma navzájem nespojenými komorovými nosníky. Na boky konstrukce byly šroubovým spojem připojeny prefabrikované železobetonové konzoly z betonu zn. 250 (C16/20). Kolejové lože mělo minimální výšku 0,5 m, most byl odvodněn dostředným sklonem 2 ‰ a voda byla odváděna k opěrám pomocí podvěšeného žlabu mezi nosníky.

Typické poruchy jsou způsobené zatékáním na nosnou konstrukci skrz podélnou spáru mezi nosníky a spárami prefabrikovaných říms v kombinaci s malým krytím betonářské výztuže. Projevují se zejména vápennými výluhy, prokreslenou a korodující betonářskou výztuží a v další fázi odtržením betonové krycí vrstvy (což znamená riziko pro provoz na komunikaci pod mostem). Velký problém představují prefabrikované římsy, resp. jejich kotvení, které v případě porušené hydroizolace koroduje a není volně přístupné ke kontrole, protože je skryto pod štěrkovým ložem. Častá je také porucha hydroizolace v místě dilatační

Typický příčný řez mostu z nosníku KT
- nosník KT-21



6a



6b

spáry nad konci nosníků, kde může zatékat na kotvy předpínacích kabelů, což může následně vést ke korozi nejen kotev samotných, ale i předpínacích lan. Vysoké riziko koroze předpínacích lan hrozí zejména v případě, kdy jsou kabelové kanálky špatně zainjektované. Obecně u nosníků s uzavřenými dutinami někdy dochází vlivem porušené izolace k zatékání a hromadění vody uvnitř komor, komory nosníků by proto měly být opatřeny odvodňovacími otvory na spodním líci. Tyto otvory mohou sloužit pro opětovnou namátkovou endoskopickou kontrolu vnitřních prostor komor a dutin bez dalšího invazivního narušení nosné konstrukce.

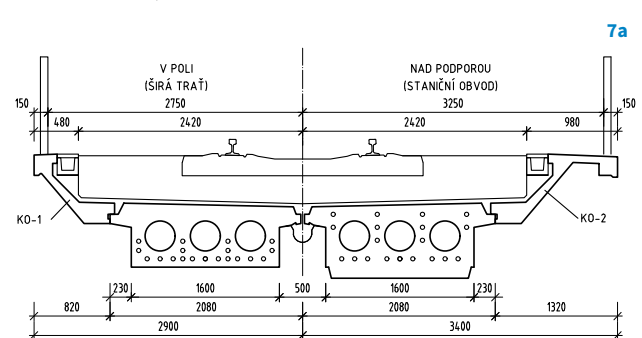
Nosníky KDP (komorová deska předpjatá)

Nosníky KDP (obr. 7) jsou typizované předpjaté deskové nosníky z betonu zn. 500 (C35/45). Pro rozpětí 4,8 až 10,5 m byly opatřeny vylehčujícími podélnými otvory kruhového průřezu \varnothing 0,2 až 0,35 m. Prvky délky 4,8 až 9 m byly předem předpjaty vložkami spletenými ze tří patentovaných drátů \varnothing P3 mm. Nosníky pro rozpětí 12 až 15 m byly vylehčeny profilovaným otvorem. Prvky byly dodatečně předpjaty kabely z patentovaného drátu 12 \varnothing P7 mm. Konstrukční výška nosníků KDP 12 byla 0,8 m, konstrukční výška nosníků KDP 15 byla 1 m. Nosníky mohly být vyrobeny vcelku nebo mohly být podélně sepnuty ze tří dílů.

Typická konstrukce byla tvořena v příčném řezu dvěma navzájem nespojenými nosníky KDP. Skladebná šířka byla vždy 2,1 m. Na boky konstrukce byly šroubovým spojem připojeny prefabrikované železobetonové konzoly.

Typické poruchy systému KDP jsou obdobné jako u nosníků KT a plynou zejména z konstrukčního řešení prefabrikovaných říms a dvojice nepropojených nosníků s odvodněním vedeným mezi nosníky.

Typický příčný řez mostu z nosníku KDP pro rozpětí 4,8-10,5 m
- nosník KDP-10,5



7a



7b

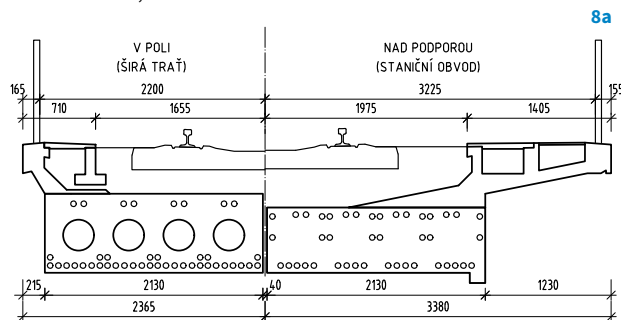
Nosníky MPD (mostní předpjatá deska)

Železniční deskové mosty z dodatečně předpjatého betonu zn. 600 (C45/55) z nosníků MPD (obr. 8) o světlosti 8 až 14 m (modul 1 m) byly vyvinuty v roce 1958. Navrhovaly se všude tam, kde bylo nutné postavit mosty s minimální stavební výškou s kolejovým ložem. Pro širokou trať (tj. úsek trati ohraničený na každé straně bud' stanicí, dopravnou nebo koncem dráhy – pozn. red.), posunovací obvod a staniční obvod byly používány různé délky vyložení konzol. Postup výstavby mostu spočíval v skládání nosných prvků a betonáži příslušné chodníkové konzoly, nosná konstrukce se v příčném řezu skládá vždy ze dvou prefabrikovaných prvků pod jednou kolejí.

Prvky se vyráběly ve výrobních prefabrikátů bud' v jednom kuse, nebo ze tří dílů. Jako předpjatá výztuž se používaly patentované dráty Ø 4,5 mm. Výška průřezu je po délce nosníků rozdílná, největší výška je uprostřed pole a lineárně se mění směrem k opěrám, nosníky jsou odvodněny od středu pole směrem k opěrám.

Typické poruchy systému MPD souvisejí s odvedením vody z kolejového lože k opěrám, kde potom zpravidla dochází u dilatační spáry k zatékání na kotvy předpínací výztuže, což představuje zvýšené riziko poškození této výztuže. V důsledku malého krytí betonářské výztuže nosníků také často dochází k její korozi a odpadávání krycí vrstvy betonu.

Typický příčný řez mostu z nosníku MPD jednokolejná trať - nosník MPD-13,3



8a



8b

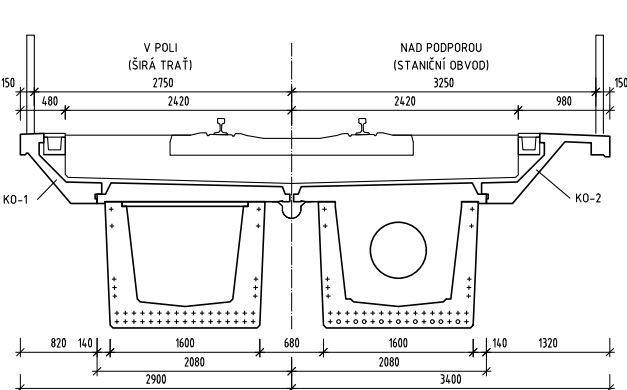
Nosníky PSKT (předpjatý spřažený komorový trám)

Nosníky PSKT (obr. 9) jsou konstrukce vytvořené spřažením předem předpjatého korýtkového nosníku s horní monolitickou železobetonovou deskou. Nosníky měly celkovou skladebnou délku 13,5 m, 15 m (oba typy se spřahující deskou výšky 1 m), 18 m, 21 m (oba typy se spřahující deskou výšky 1,55 m), 24 m (se spřahující deskou výšky 1,7 m), 27 m a 30 m (oba typy se spřahující deskou výšky 2,5 m). Nosníky mají vždy rozpětí o 1 m kratší, než je jejich skladebná délka, a jednotnou šířku spřahující desky 2,06 m. Spodní část nosníku je vyrobena z betonu zn. 500 (C35/45) a je předem předepnuta přímými dvojlankovými jednotkami 2x Lp 15,5 mm. Dodatečně – ještě ve výrobě – byla vybetonována horní spřažená deska s povrchem v příčném sklonu 2 %. Pod jednou kolejí se používaly dva vzájemně nepropojené nosníky.

Typické poruchy systému PSKT jsou obdobné jako u předchozích systémů a plynou zejména z konstrukčního řešení prefabrikovaných říms a dvojice nepropojených nosníků s odvodněním vedeným mezi nosníky.

Výhodou tohoto systému oproti předchozím je skutečnost, že nosníky jsou předem předpjaté a nemají příčné spáry ani kabelové kanálky, předpínací výztuž je tak lépe chráněna.

Typický příčný řez mostu z nosníku PSKT - nosník PSKT-21



9

Literatura:

- [1] RYJÁČEK, P., DEJMEK, T., KRAMOLIŠ, F., ŠAFÁŘ, R., HOLÝ, M., KOMANEC, P., DRAHORÁD, M., KOLÍSKO, J., ČÍTEK, D., ŘEHÁČEK, S. *Železniční mosty s předpjatou nosnou konstrukcí v síti Správy železnic*. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2022. ISBN 978-80-01-06923-3.
- [2] ŠAFÁŘ, R. *Hodnocení technického stavu železničních mostů z předpjatého betonu*. Habilitační práce. ČVUT v Praze, 2017.

6 Nosník KT: a) typický příčný řez mostem z nosníků KT, b) typická degradace betonu a lokální koroze betonářské výztuže na vnitřní straně nosníků vyvolaná zatékáním na nosnou konstrukci **7** Nosník KDP: a) typický příčný řez mostem z nosníků KDP pro rozpětí 4,8 až 10,5 m, b) typické zatékání na nosné konstrukci v oblasti spár mezi segmenty prefabrikovaných konzol pro kolejové lože a v oblasti dilatační spáry u opěry **8** Nosník MPD: a) typický příčný řez mostu z nosníků MPD, b) typická koroze v důsledku malého krytí betonářské výztuže **9** Typický příčný řez mostu z nosníků PSKT

6 KT beam: a) a typical cross-section of a bridge made of KT beams, b) a typical deterioration of the concrete and the local corrosion of reinforcement caused by a leakage of water between the beams **7** KDP beam: a) typical cross-section of a bridge made of KDP beams for spans of 4.8–10.5 m, b) a typical leakage of water into the structure in the area of joints between the segments of the prefabricated brackets for the track bed and in the area of an expansion joint at an abutment **8** MPD beam: a) a typical cross-section of a bridge made of MPD beams, b) a typical case of a corrosion of reinforcement caused by an inadequate cover of the concrete reinforcement **9** A typical cross-section of a bridge made of PSKT beams

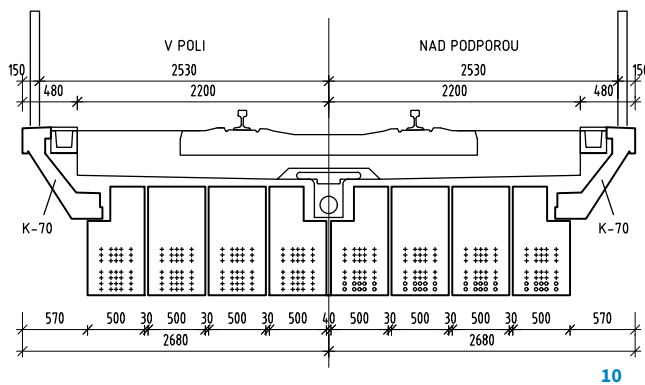
Nosníky MT-AB (mostní trám)

Prefabrikované předem předpjaté nosníky typu Armabeton MT (obr. 10) byly navrženy z betonu zn. 500 (C35/45) a byly předpjaty přímými lany profilu L 12,5 mm. Předpínací lana byla umístěna v sedmi vrstvách (po 5 ks), první vrstva (odspodu) byla vždy separována do vzdálenosti 2,2 m od konců nosníku, druhá vrstva byla separována do vzdálenosti 1,5 m od konců nosníku. Skupiny nosníků byly příčně sepnuty ocelovými tyčemi průměrů 32 mm.

Typické poruchy tohoto systému jsou v zásadě obdobné jako u předchozích systémů. V tomto případě navíc prvky příčného sepětí korodují, a to zejména jejich kotvení, které je nejvíce vystaveno zatékání.

Výhodou tohoto systému je skutečnost, že nosníky jsou předem předpjaté v podélném směru a nemají příčné spáry ani kabelové kanálky.

Typický příčný řez mostu z nosníku MT-AB
- nosník MT-15



10 Typický příčný řez mostu z nosníků MT-AB

11 Estakáda Rokytka v Praze – zatékání dilatace

10 A typical cross-section of a bridge made of MT-AB beams

11 Rokytka Bridge in Prague – leakage of water at movement joints



Závěr

V rámci rozsáhlého projektu Správy železnic, s. o., proběhla podrobná kontrola stávajících předpjatých mostních konstrukcí pomocí diagnostických průzkumů a statických přepočtů. V tomto článku byla pojednána typologie předpjatých mostů na železnici v ČR. Historicky nejčastěji používané typy předpjatých nosných konstrukcí byly podrobněji představeny a byly shrnuty také jejich typické poruchy.

Většina stávajících železničních mostů z předpjatého betonu v ČR je v provozu již několik desítek let, většinou přibližně 40 až 50 let. Na těchto konstrukcích se obvykle projevují poruchy především v systému vodotěsné izolace a v překrytí dilatačních spár (podélných i příčných), čímž je způsobeno zatékání do konstrukcí, které vede k lokální degradaci betonu, či k lokální korozi betonářské výztuže (související také s malým krytím betonářské výztuže), či k poškození předpínací výztuže (zejména v kotevních oblastech), nebo k poruchám ostatních částí mostu, zejména kotvení prefabrikovaných konzol žlabu pro kolejové lože k nosné konstrukci.

Na kontrolovaných mostních konstrukcích je v důsledku jejich užívání již nutno provést potřebné opravy, avšak v naprosté většině případů nebyly zjištěny poruchy, které by zásadním způsobem ovlivňovaly odolnost a spolehlivost těchto konstrukcí. Na základě řady přepočtů bylo ověřeno, že při stáří předpjatých konstrukcí přibližně 40 až 50 let již proběhla naprostá většina ztrát předpětí a do doby předpokládaného konce životnosti mostu se již účinky předpětí (při zachování stávajícího stavu mostu) podstatně nezmění.

Na základě výše uvedených skutečností lze očekávat, že za předpokladu provádění odpovídající údržby a nezbytných oprav (zejména opravy hydroizolace a poruch způsobených zatékáním do konstrukce) je u většiny stávajících předpjatých železničních mostů reálné dosažení předpokládané, tj. přibližně stoleté životnosti.

Tento článek vychází z projektu Správy železnic, s. o., s názvem Diagnostika a přepočty mostů s předpjatou nosnou konstrukcí.

Na závěrečném vyhodnocení projektu se podílely Fakulta stavební ČVUT v Praze, Kloknerův ústav ČVUT v Praze a společnosti Pontex, spol. s r.o., a Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.



Ing. Milan Holý, Ph.D.
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
milan.holy@cvut.cz



prof. Ing. Jiří Kolisko, Ph.D.
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
jiri.kolisko@cvut.cz



Ing. David Čítek, Ph.D.
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
david.citek@cvut.cz



Ing. Stanislav Řeháček, Ph.D.
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
stanislav.rehacek@cvut.cz



prof. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.
Fakulta stavební ČVUT v Praze
pavel.ryjacek@fsv.cvut.cz