



Obr. 4 Na obrázku jsou zobrazeny zatečené podélné spáry s krápníky mostu složeného z prefabrikovaných předpjatých nosníků (v tomto případě jde o prefabrikáty typu MPN „Fousáče“).



Obr. 5 Vápenité krápníky uvnitř předpjatého komorového nosníku v místě zatékání (příčná spára).

ZATÉKÁNÍ V PODÉLNÉ SPÁŘE MEZI PREFABRIKOVANÝMI DÍLCI

Příčinou této závady je zatékání vody zejména skrze nefunkční izolační systém. Příčinou zatékání vody do nosné konstrukce může být porušený nebo zcela nefunkční izolační systém, nevhodně řešené detaily napojení konstrukčních celků (např. římsy, mostní závěry) nebo odvodňovacích systémů. V některých případech může být příčinou i porucha vodovodu, který most převádí přes překážku.

Do nosné konstrukce sestavené z tyčových předpjatých prefabrikátů (např. typ I) s dobetonovanou podélnou spárou se dostávají chemické sloučeniny rozpuštěné ve vodě, beton ztrácí pasivační ochrannou schopnost a tím vzniká zvýšené riziko koroze předpínací výztuže.



Obr. 6 Na obrázku je zobrazen typický projev závady – viditelně zatečená podélná spára (změna zabarvení dobetonávky spáry). Závada je často doprovázena výluhy, povlaky i krápníky. Závadu lze pozorovat u mostů z tyčových prefabrikovaných nosníků (nejčastěji typ KA, I).



Obr. 7 Viditelně zatečená podélná spára mostu z tyčových předpjatých prefabrikátů. V případě, kdy je most opatřen nátěrem, lze pozorovat odlupující se vrstvy nátěru podélné spáry a také stopy (světlé mapy) po zatékání.

ZATÉKÁNÍ V PŘÍČNÉ SPÁŘE MEZI DÍLCI

Příčinou této závady je dlouhodobé zatékání do nosné konstrukce spolu s nedokonalým provedením příčné pracovní spáry. Příčinou trvalého zatékání agresivního roztoku nasyceného kyselinami a solemi (a jinými chemickými sloučeninami např. v důsledku nevhodné údržby v zimních měsících) do nosné konstrukce je zejména porušený nebo zcela nefunkční izolační systém, nevhodně vyřešené detaily napojení konstrukčních celků (římsy, mostní závěry, odvodňovače apod.).

Do nosné konstrukce sestavené z tyčových předpjatých prefabrikátů (např. typ KA, I) s příčnými spárami se vlivem dlouhodobého zatékání dostávají chemické sloučeniny rozpuštěné ve vodě, které v místě napojení (v příčné spáře) jednotlivých prefabrikátů zvyšují riziko inicializace koroze předpínací výztuže. Riziko je zvýšeno vlivem propojovacích trubiček v příčné spáře, které často omezovaly průchodnost pro injektážní maltu (hlavně v případě

dobetonovaných spár). V případě lepených spár (např. RETENOLEM) je riziko neprůchodnosti kanálku menší.



Obr. 8 Na obrázku je zobrazena zatečená příčná spára mostu složeného z tyčových prefabrikátů (v ČR nejčastěji typ KA a I). V okolí spáry jsou viditelné mapy po zatékání, vápenité povlaky a také korozivní výluhy (hnědé skvrny na povrchu betonu).



Obr. 9 Schématický náčrt skvrn po zatékání, které se objevují v okolí příčných spár prefabrikovaných tyčových nosníků.

ZATÉKÁNÍ SKRZE MOSTNÍ ZÁVĚR NEBO DILATAČNÍ SPÁRU

Příčinou závady je neudržovaný, poškozený (např. porušené těsnění) či nefunkční mostní závěr (dilatační spára), skrze který dochází k zatékání a proudění vody do dobetonávky oblasti čel nosné konstrukce, ve které jsou umístěny kotvy předpínacího systému.

Agresivní sloučeniny obsažené ve vodě, které se dlouhodobě dostávají do oblasti dobetonávky kotevní oblasti beton rozrušují, ochranná funkce dobetonávky postupně slábne. Voda s agresivními sloučeninami, která se dostane do kontaktu s kotvami předpínacího systému, inicializuje korozivní proces předpínacího systému. Dílčími nekvalitami může voda zatéct až do kabelových kanálků.



Obr. 10 Na obrázku jsou zřetelně vidět vlhká místa (tmavé zbarvení povrchu) v oblasti uložení prefabrikovaných nosníků.



Obr. 11 Na fotografii je zachycena silně zatečená dobetonávka kotevní oblasti skrze dilatační spáru (na obrázku levý nosník). Dochází již k odpadu betonu a oddělování dobetonované části trhlinou od čela nosníku.

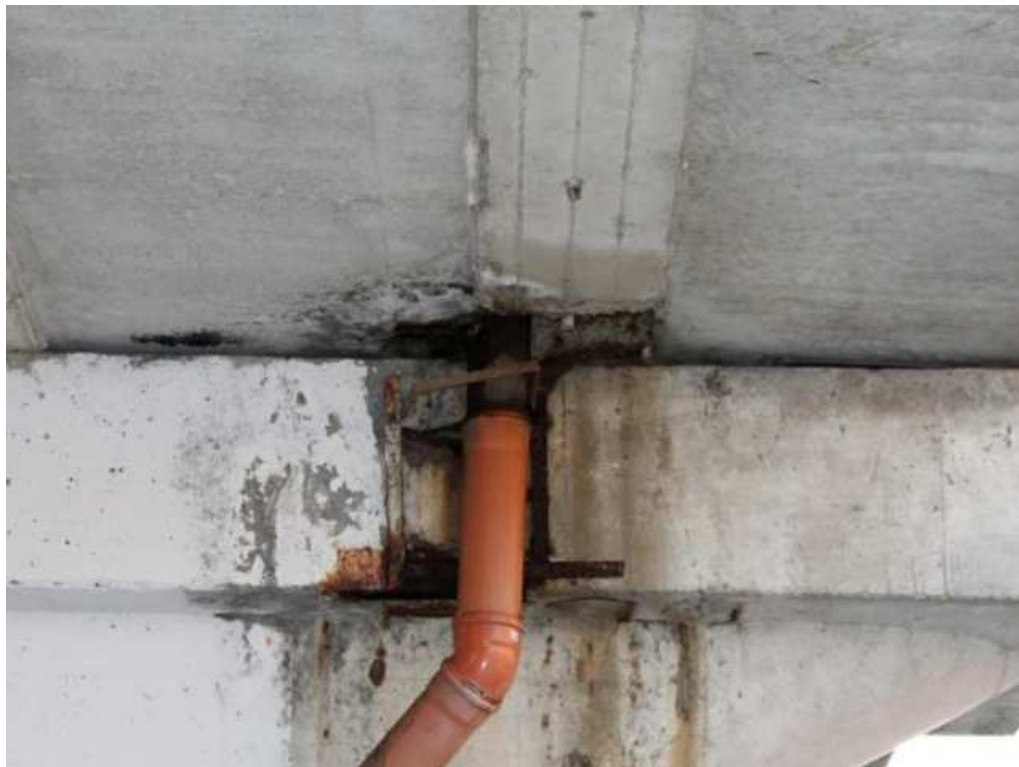


Obr. 12 Silně poškozená nosná konstrukce složená z prefabrikátů v oblasti uložení vlivem zatékání skrze dilatační spáru mostního závěru.

ZATÉKÁNÍ V OKOLÍ TRUBNÍCH ODVODŇOVAČŮ

Nefunkční izolační systém vozovky, špatně vyřešené odvodnění mostovky, přerušené trubní vedení nebo nevhodně provedený detail prostupu odvodňovače a vyspádování nosné konstrukce k trubnímu odvodňovači má za následek zatékání vody do nosné konstrukce v okolí odvodňovacího systému.

Dlouhodobé působení vody s agresivními rozpuštěnými látkami má z následek zvýšení rizika koroze předpínací výztuže v okolí této závady.



Obr. 13 Zatékání v okolí trubního odvodňovače, který je umístěn z části v podélné spáře mezi prefabrikovanými nosníky a z části zasahuje i do prefabrikovaného nosníku. Nesvedená voda má přístup k betonu nosníku, který svým působením rozrušuje.

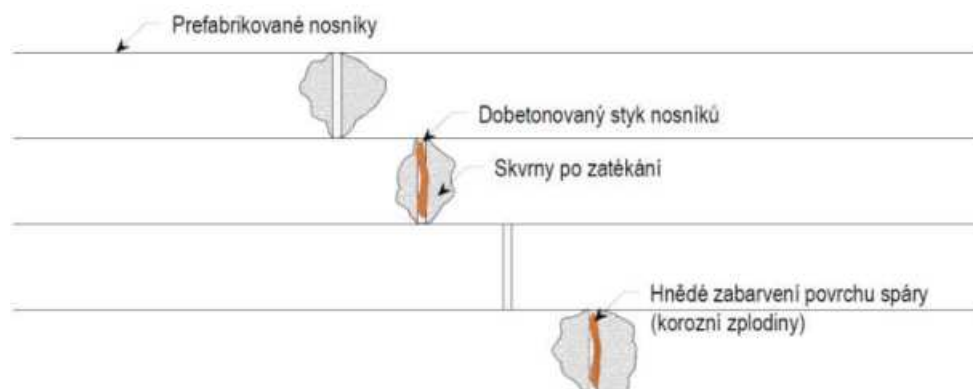


Obr. 14 Zatékání v okolí trubního odvodnění nosné konstrukce v podélné spáře mezi prefabrikovanými tyčovými nosníky, které je doprovázeno tvorbou povlaků a výluhy.

VYTÉKAJÍCÍ KOROZNÍ ZPLODINY

Příčinou této závady je nefunkční systém odvodnění nosné konstrukce doprovázené trvalým vnikem vody a vytékáním na vnější povrch konstrukce a současně probíhající koroze výztuže (předpínací i betonářské).

Postupující koroze výztuže, pokles předpínací síly, zvětšování deformace (průhyb nosné konstrukce).



Obr. 15 Schématický náčrt skvrn po zatékání, které se objevují v okolí příčných spár prefabrikovaných tyčových nosníků. Hnědou barvou jsou naznačeny vytékající korozivní zplodiny v příčné spáře (často u prefabrikovaných nosníků typu KA).



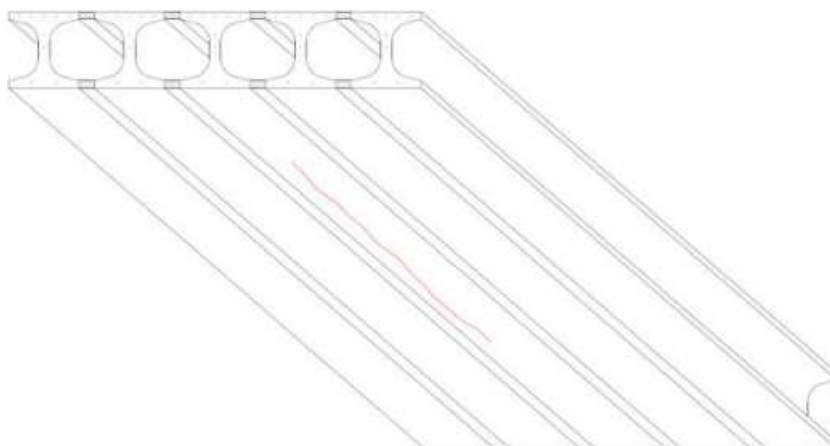
Obr. 16 Pohled na místo s vytékajícími korozními zplodinami (hnědé až oranžové zbarvení).

2.2 Soubor závad – trhliny

PODÉLNÁ TRHLINA V BETONU

Podélná trhlina v betonu vzniká v důsledku příčného ohybu, který vyvolá při spodním příčné tahy v konstrukci. U předpínacích kabelů s tenkou betonovou krycí ochrannou vrstvou mohou tyto příčné tahy způsobit vznik podélných trhlin.

Trhlina v betonu umožňuje vnik vzdušné vlhkosti do dutin a struktury betonu, ten ztrácí svoji ochrannou funkci a tím se zvyšuje riziko koroze předpínací výztuže.



Obr. 17 Schematický náčrt podélné trhliny na spodním líci konstrukce z předpjatých prefabrikovaných nosníků typu I.

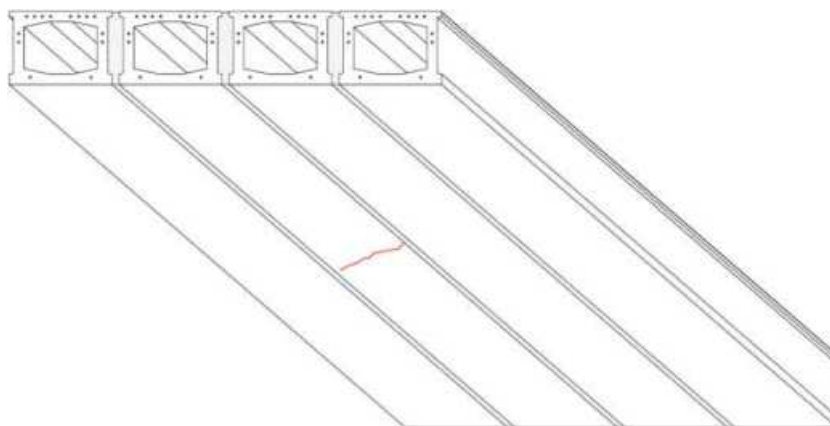


Obr. 18 Podélné trhliny na spodním líci nosníku typu KA.

PŘÍČNÁ TRHLINA V BETONU

Příčinou vzniku příčných trhlin v betonu nosné konstrukce může být dlouhodobé přetěžování mostu či pokles předpínací síly pravděpodobně z důvodu koroze předpínací výztuže.

Trhlina v betonu umožňuje vnik vzdušné vlhkosti do dutin a struktury betonu, ten ztrácí svoji ochrannou funkci a tím se zvyšuje riziko koroze předpínací výztuže.



Obr. 19 Schematický náčrt příčné trhliny na spodním líci konstrukce z předpjatých prefabrikovaných nosníků typu KA.

PŘÍČNÁ TRHLINA V DOBETONÁVCE MEZI DÍLCI

Příčinou otevírání příčných spár (trhliny v dobetonované nebo lepené příčné spáře) je pokles předpínací síly pravděpodobně z důvodu probíhající koroze průběžné předpínací výztuže.

Trhlina v betonu umožňuje vnik vzdušné vlhkosti do dutin a struktury betonu k předpínací výztuži, kde probíhá korozivní proces. Neodhalí-li se tato závada včas, může v krajním případě dojít až ke kolapsu celé konstrukce. Pokles předpínací síly je zpravidla doprovázen dalšími přetvárnými projevy konstrukce.



Obr. 20 Příčná trhlina mezi segmenty.



Obr. 21 Pohled na příčnou trhlinu v dobetonované spáře mezi předpjatými segmenty typu DS-L.

ŠIKMÁ TRHLINA NA BOČNÍM LÍCI BETONU

Příčné tahy v místě oslabení průřezu kabelovým kanálkem spolu s nedostatečným vyztužením této oblasti pro zachycení příčných sil jsou příčinou vzniku šikmých trhlin podél zvedaného kabelového kanálku.

Trhlina v betonu umožňuje vnik vzdušné vlhkosti do dutin a struktury betonu, ten ztrácí svoji ochrannou funkci a tím se zvyšuje riziko koroze předpínací výztuže.



Obr. 22 Šikmá trhlina tloušťky cca 0,1 mm podél zvedaného předpínacího kabelu ve stojně prefabrikovaného nosníku typu I-73.



Obr. 23 Šikmá trhlina na bočním líci předpjatého mostu



Obr. 24 Šikmá trhlina tloušťky cca 1 mm podél zvedaného předpínacího kabelu ve stojně předpjatého nosníku typu T.

ŠIKMÁ TRHLINA S VÝLUHY SOLÍ NA BOČNÍM LÍCI BETONU

Příčinou této závady je mrazové rozpínání vody v nezainjektovaném kanálku, které má za následek vznik příčných tahů, které se v místě oslabení průřezu můžou projevit šikmou trhlinou na bočních lících betonu podél kabelového kanálku. Tato příčina vzniku trhlin je doprovázena typickými výluhy vysrážených solí, které vznikají po délce trhliny.

Trhlina v betonu umožňuje vnik vzdušné vlhkosti do dutin a struktury betonu, ten ztrácí svoji ochrannou funkci a tím se zvyšuje riziko koroze předpínací výztuže.



Obr. 25 Pohled na šikmou trhlinu podél zvedaného kabelu s výluhy na bočním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu T.



Obr. 26 Pohled na šikmou trhlinu podél zvedaného kabelu s výluhy na bočním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu T.

PODÉLNÁ TRHLINA S VÝLUHY SOLÍ NA SPODNÍM LÍCI BETONU

Příčinou této závady je mrazové rozpínání vody v nezainjektovaném kanálku, které má za následek vznik příčných tahů, které se v místě oslabení průřezu můžou projevit podélnou trhlinou na spodním líci betonu podél kabelového kanálku. Tato příčina vzniku trhlin je doprovázena typickými výluhy vysrážených solí, které vznikají po délce trhliny. V případě dutin mostů složených z tyčových prefabrikátů nebo komorových mostů může být příčinou rozpínání ledu v trvale zaplavených dutinách.

Trhlina v betonu umožňuje vnik vzdušné vlhkosti do dutin a struktury betonu, ten ztrácí svoji ochrannou funkci a tím se zvyšuje riziko koroze předpínací výztuže.



Obr. 27 Pohled na podélnou trhlinu podél trajektorie předpínací výztuže s výluhy na spodním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu T.



Obr. 28 Pohled na podélnou trhlinu podél trajektorie předpínací výztuže s výluhy na spodním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu T.



Obr. 29 Pohled na podélnou trhlinu podél trajektorie předpínací výztuže (nezainjektovaný kanálek) s výluhy na spodním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu KA.

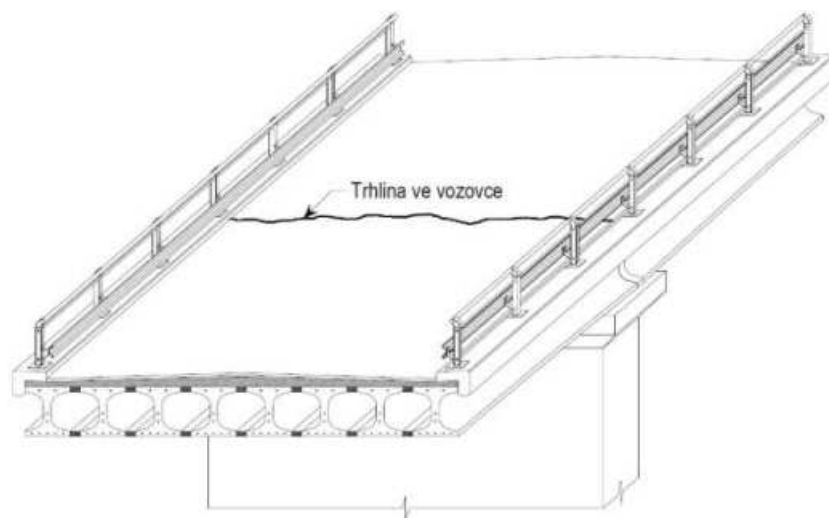
PŘÍČNÁ TRHLINA VE VOZOVCE NAD PODPĚRAMI/OPĚRAMI

Příčinou zatékání vody do oblasti dobetonávky kotevní oblasti jsou příčné trhliny ve vozovce v místech nad čely předpínacího systému. Možné příčiny vzniku těchto trhlin jsou popsány v TP 82 Katalog poruch netuhých vozovek (2010): nízká teplota povrchu ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), nebo rychlý pokles teploty, nevhodné nebo zestárnuté pojivo. První trhlina vznikne při jakémkoliv zeslabení profilu asfaltových vrstev (např. pracovní spárou v asfaltových vrstvách, zeslabení vrstev atd.). Trhlina roste do hloubky, pak vznikne široká a olamující se trhlina nebo se zastaví na spojení asfaltových vrstev, pak vznikají přidružené trhliny jako mozaikové a rozvětvené.

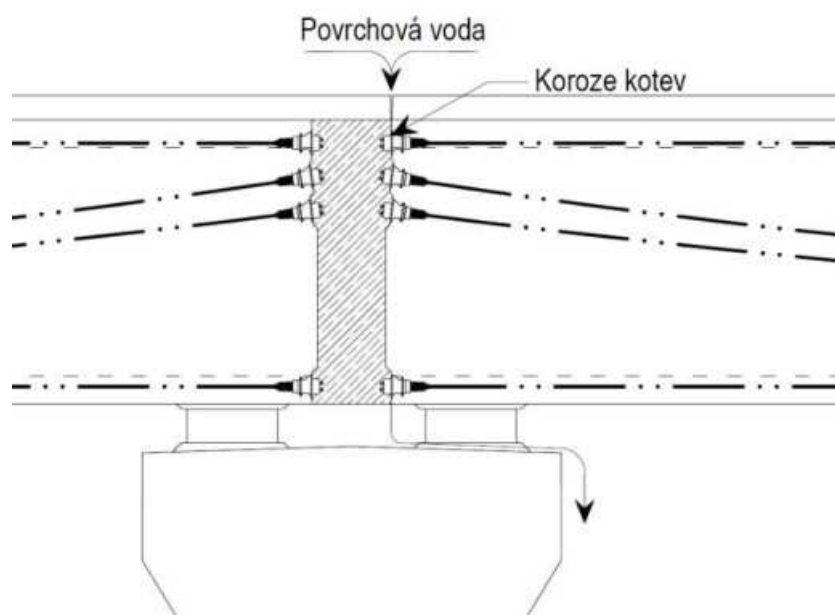
Příčnou trhlinou ve vozovce skrze porušený izolační systém (zejména nad podpěrami či opěrami) je umožněno proudění vody do oblasti čel nosné konstrukce, kde jsou umístěny kotvy předpínacího systému. Agresivní sloučeniny obsažené ve vodě, které se dlouhodobě dostávají do oblasti dobetonávky kotevní oblasti, beton rozrušují, ochranná funkce dobetonávky postupně slábne. Voda s agresivními sloučeninami, která se dostane do kontaktu s kotvami předpínacího systému, inicializuje korozivní proces předpínacího systému.



Obr. 30 Pohled na širokou příčnou trhlinu ve vozovce mostovky nad opěrou mostu.



Obr. 31 Schematický náčrt široké příčné trhliny ve vozovce mostovky. Typická oblast pro vznik této závady je v místech nad pilíři.



Obr. 32 Schématický náčrt rozvoje závady. Voda se skrze trhlínu dostává k dobetonávce kotevní oblasti. Beton je vodou rozrušován a tím postupně ztrácí svoji ochrannou funkci. Voda, která se dostane až ke kotvám inicializuje korozivní proces předpínacího systému.



Obr. 33 Příčné trhliny ve vozovce nad středním pilířem mostu.

SÍŤ TRHLIN V OBLASTI VEDENÍ KABELOVÉHO KANÁLKU U SPODNÍHO LÍCE

Příčné tahy v místě oslabení průřezu kabelovým kanálkem spolu s nedostatečným vyztužením této oblasti pro zachycení příčných sil jsou příčinou vzniku sítě trhlin podél kabelového kanálku při spodním líci nosné konstrukce.

Sítě trhlin v betonu umožňuje vnik vzdušné vlhkosti do dutin a struktury betonu, ten ztrácí svoji ochrannou funkci a tím se zvyšuje riziko koroze předpínací výztuže.



Obr. 34 Síť trhlin na bočním líci prefabrikovaného nosníku cca 6–10 cm od spodního líce betonu, u kterého je vedena předpínací výztuž.

SVISLÁ TRHLINA VE STĚNOVÉ PODPĚŘE (STOJCE)

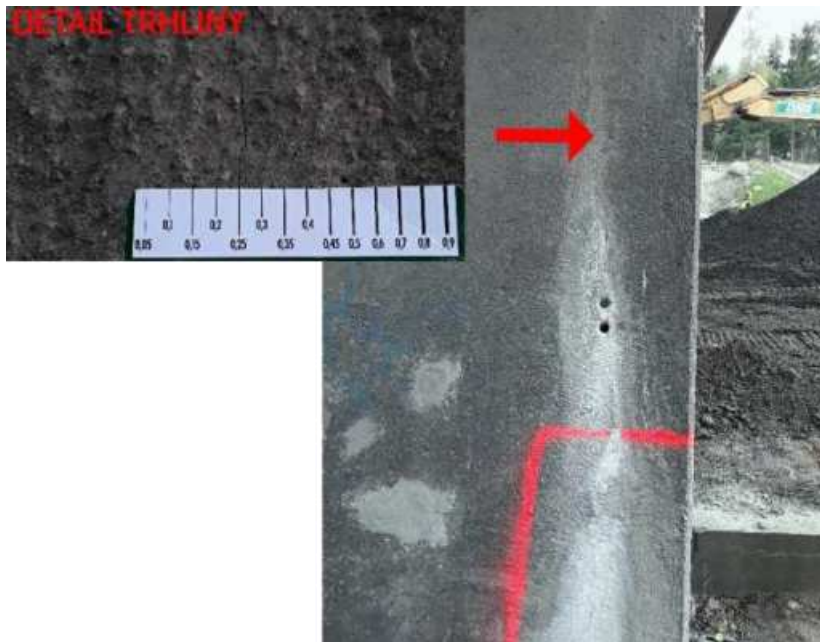
Příčina vzniku této trhliny může být následující:

- působící radiální síly od předpínacího systému uloženého ve stěnové podpěře společně s probíhajícími reologickými jevy v průběhu tvrdnutí betonu mohou mít za následek vznik svislé trhliny podél předpínacího kabelu (statická příčina vzniku trhliny);
- probíhající koroze výztuže (předpínací i betonářské), během které dochází k nabývání objemu výztuže, vnáší do prvku přídatná napětí. Toto přídatné napětí může mít za následek vznik trhliny.

Do svislé trhliny vniká vzdušná vlhkost, aerosol a agresivní rozpuštěné látky v něm apod. Tímto způsobem se zvyšuje riziko koroze uložené předpínací výztuže v prvku. V případě již probíhající koroze se bude stav předpínací výztuže nadále zhoršovat až dojde k jejímu přerušení.



Obr. 35 Svislá trhlina ve stěnové podpěře mostní konstrukce



Obr. 36 Na obrázku je zobrazen čelní pohled na stěnovou podpěru a detail měření šířky trhliny příložným trhlinoměrem (šířka trhliny 0,25 mm). Na obrázku jsou také vidět provedené sondážní vrtů k předpínací výztuži v místě trhliny. Pomocí sondážních vrtů lze určit příčinu vzniku trhliny.

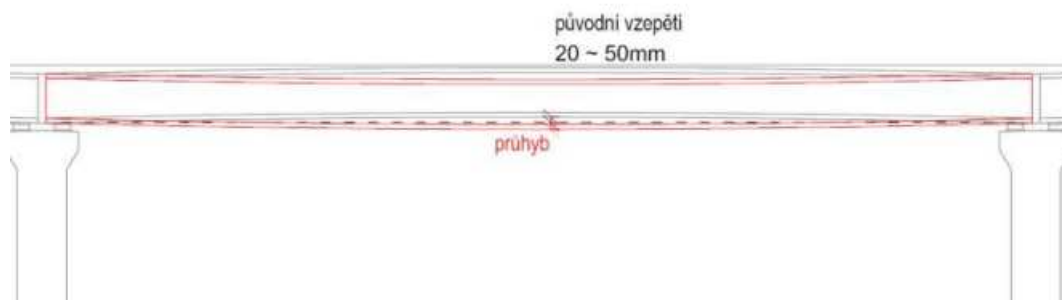


Obr. 37 Schematický náčrt působících radiálních sil ve stojce a vznik trhliny ze statických příčin.

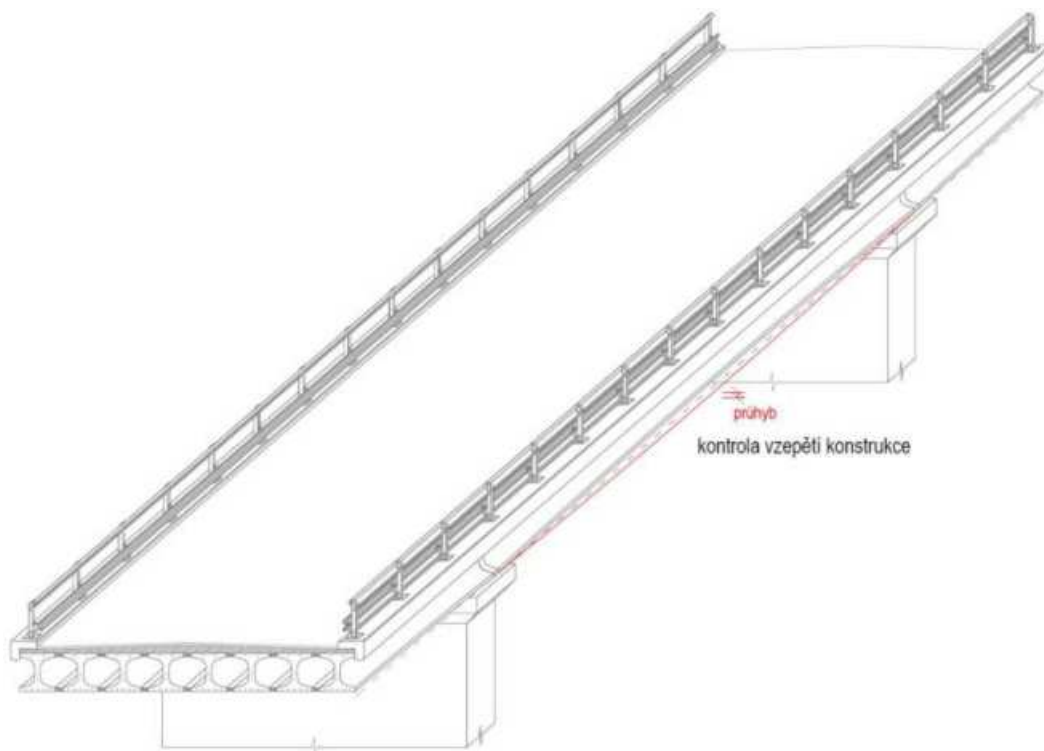
2.3 Soubor závad – deformace

PRŮHYB NOSNÉ KONSTRUKCE (ZTRÁTA VZEPĚTÍ)

Oslabení či porušení předpínacího systému má za následek pokles předpínací síly (pravděpodobně z důvodů korozivního procesu předpínací výztuže). Vnější projevem je ztráta vzepětí nosné konstrukce (u mostů s rozpětím větším než 20 m obvykle v rozmezí 20–50 mm) a nárůst průhybu. Postupné narůstání deformace varuje, že dochází k poklesu předpínací síly v nosné konstrukci a může vést až ke kolapsu konstrukce.



Obr. 38 Schematický náčrt závady. Při poklesu předpínací síly, pravděpodobně z důvodu koroze, dochází k narůstání průhybu nosné konstrukce. Zde zobrazeno na nosné konstrukci složené z tyčových prefabrikovaných nosníků typu I (I-67, I-73).



Obr. 39 Schematický náčrt závady. Při poklesu předpínací síly, pravděpodobně z důvodu koroze, dochází k narůstání průhybu nosné konstrukce. Zde zobrazeno na nosné konstrukci složené z tyčových prefabrikovaných nosníků typu I (I-67, I-73).



Obr. 40 Průhyb mostu složeného z předpjatých nosníků.

2.4 Soubor závad – rozpad betonu

ROZPAD BETONU DOBETONÁVKY KOTEVNÍ OBLASTI

Příčinou odpadnutí dobetonávky kotevní oblasti je zpravidla tzv. mrazový rozpad betonu. V důsledku dlouhodobého zatékání skrze nefunkční mostní závěry do oblasti kotev je v těchto místech beton rozrušován opakovanými mrazovými cykly, kdy dochází k mrazovému namáhání a postupnému rozpadu povrchových vrstev betonu vlivem tlaku způsobeném rozpínáním zmražené vody v kapilárách a pórech betonu.

Při dlouhodobém působení vody na beton dochází k hloubkovému narušení struktury betonu v kotevní oblasti a k jeho odpadu. Odhalené kotvy jsou poté vystaveny vlhkosti, která inicializuje korozivní proces.



Obr. 41 Pohled na odhalené kotvy po odpadu dobetonávky kotevní oblasti u prefabrikovaných nosníků typu I (nejčastěji I-67, I-73). Kotvy jsou zasaženy korozí.



Obr. 42 Pohled na úložný práh mostu s odpadanou dobetonávkou kotevní oblasti.



Obr. 43 Rozpad betonu dobetonávky kotev.

ODPADNUTÍ, SEPARACE A ODPRÝSKÁNÍ POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU

Odpadnutí a narušení struktury povrchových vrstev betonu je zapříčiněno nárůstem příčných tahů v důsledku korozivního nabývání objemu betonářské výztuže. Ochranná (krycí) vrstva betonu předpínací výztuže je tímto způsobem postupně zmenšována a narůstá riziko koroze předpínací výztuže.

Postupná ztráta ochranné schopnosti betonu a zvýšené riziko koroze předpínací výztuže.



Obr. 44 Pohled na odpadanou betonovou krycí vrstvu na obnaženou betonářskou výztuž předpjatého tyčového prefabrikátu typu I (nejčastěji I-67, I-73).



Obr. 45 Pohled na odpadnou betonovou krycí vrstvu a na obnaženou betonářskou výztuž předpjatého tyčového prefabrikátu typu I (nejčastěji I-67, I-73).

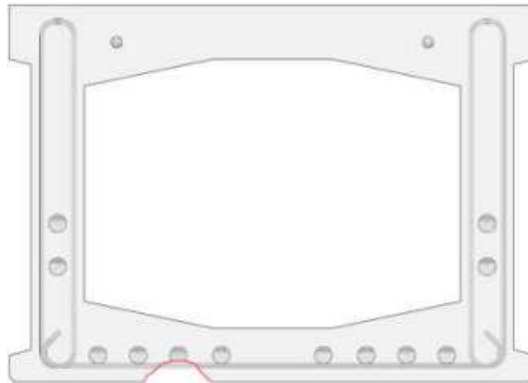


Obr. 46 Separace krycí vrstvy nosníku typu I.

ODTRŽENÍ BETONOVÉ KRYCÍ VRSTVY KANÁLKU

Narušení a odtržení struktury povrchových vrstev betonu je zapříčiněno nárůstem příčných tahů v důsledku korozivního nabývání objemu betonářské výztuže či předpínací výztuže. Ochranná (krycí) vrstva betonu (s malou mocností), předpínací výztuže je tímto způsobem postupně zmenšována či je odtržena úplně.

Pokračující oslabování betonové krycí vrstvy kanálku předpínací výztuže a rozvoj korozivního procesu předpínací výztuže.



Obr. 47 Obrázek schematicky zobrazuje odtržení betonové krycí vrstvy až ke kanálku předpínací výztuže u předpjatého prefabrikovaného nosníku KA.



Obr. 48 Obnažené předpínací kabely při spodním líci.



Obr. 49 Separace krycí vrstvy kabelového kanálku a jeho obnažení.



Obr. 50 Odhalené kabelové kanálky u spodního líce prefabrikovaného nosníku.

2.5 Soubor závad – zaplavení

ZAPLAVENÉ DUTINY PŘEDPJATÝCH PREFABRIKOVANÝCH NOSNÍKŮ

Příčinou zaplavení dutin mezi prefabrikovanými nosníky (typ I) nebo dutin prefabrikovaných nosníků (typ KA) je porucha odvodňovacího systému a absence chybějících odvodňovacích/odvzdušňovacích trubiček dutin mezi prefabrikáty či dutin prefabrikátů.

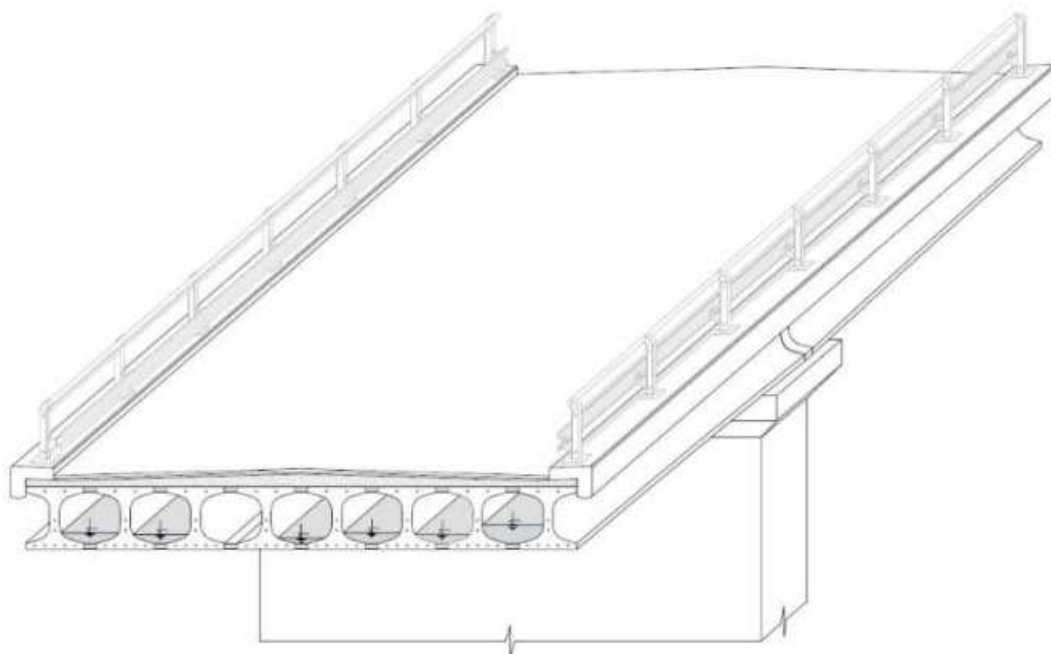
Agresivní chemické sloučeniny obsažené ve vodě, které se postupně dostávají do betonu, mohou způsobit korozi předpínací výztuže.



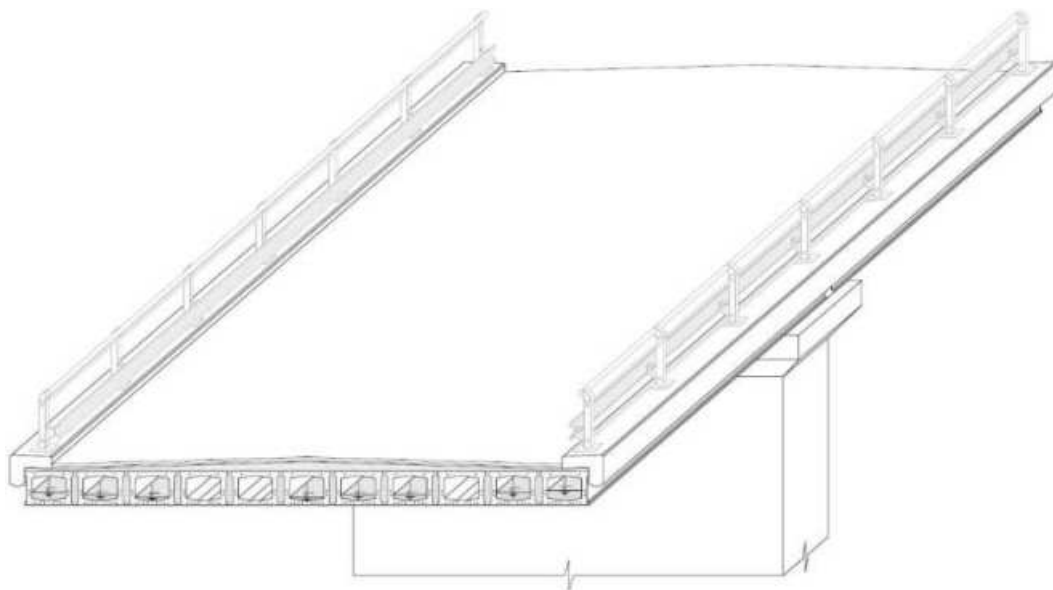
Obr. 51 Pohled do zaplavené dutiny nosníku typu KA.



Obr. 52 Odtok vody z dutin prefabrikovaných nosníků po odvrtání sondy skrze spodní desku.



Obr. 53 Schematický náčrt zaplavených dutin nosné konstrukce složené z tyčových předpjatých prefabrikovaných nosníků typu I.



Obr. 54 Schematický náčrt zaplavených dutin nosné konstrukce složené z tyčových předpjatých prefabrikovaných nosníků typu KA.

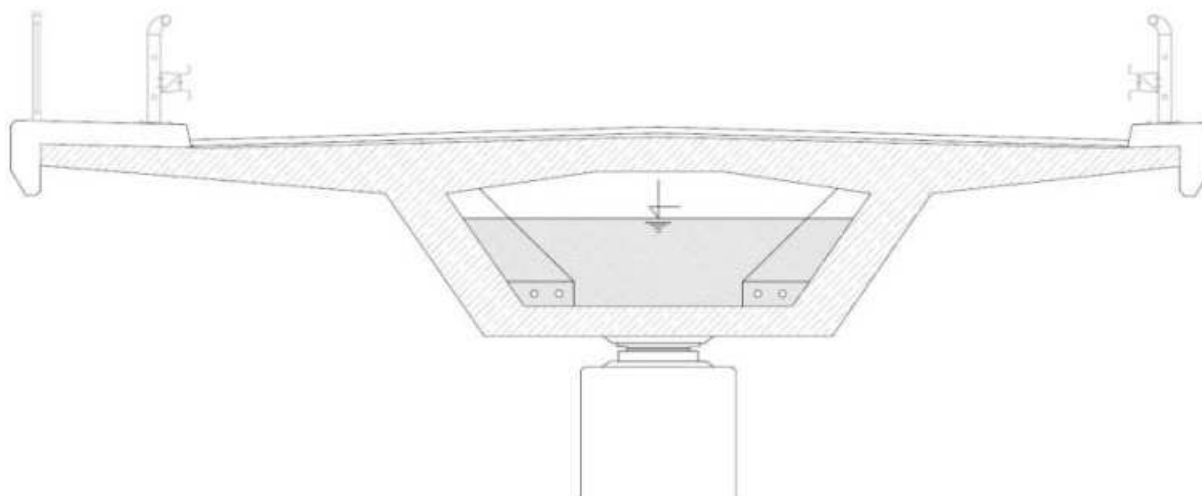
ZAPLAVENÉ DUTINY KOMOROVÝCH NOSNÍKŮ

Zatékání porušeným odvodňovacím systémem a absence odvodňovacích/odvzdušňovacích otvorů/trubiček ve spodní desce komorového průřezu nosné konstrukce.

Agresivní chemické sloučeniny obsažené ve vodě mohou způsobit korozi předpínací výztuže vedené v komoře.



Obr. 55 Vodou zaplavená komora komorového mostu.



Obr. 56 Schematický náčrt zaplavené dutiny komorové nosné konstrukce.

2.6 Soubor závad – ostatní

LOKÁLNÍ MECHANICKÁ PORUCHA

Mechanické porušení části nosné konstrukce např. deformace vlivem nárazu vozidla (uražení hrany prefabrikátu, odrcení betonu apod.) nebo nevhodný mechanický zásah do konstrukce (např. vysekání náhradních otvorů pro systém odvodnění).

Mechanické porušení nosné konstrukce umožňuje vnik vzdušné vlhkosti k předpínací výztuži a inicializaci korozivního procesu. Mechanická porucha také způsobuje lokální špičky napjatosti, které nepříznivě ovlivňují chování konstrukce (např. z hlediska únavového namáhání).



Obr. 57 Pohled na deformaci dolní příruby nosníku typu I po nárazu vozidla.



Obr. 58 Náraz vozidla do krajního předpjatého nosníku mostní konstrukce.

VÝROBNÍ VADA PŘEDPJATÉHO PREFABRIKÁTU

Nekvalita z výroby prefabrikovaných dílců (uražení hrany prefabrikátu, odrcení betonu apod.).

Porušení nosné konstrukce umožňuje vnik vzdušné vlhkosti k předpínací výztuži a inicializaci korozivního procesu. Lokální porucha také způsobuje špičky napjatosti, které nepříznivě ovlivňují chování konstrukce (např. z hlediska únavového namáhání).



Obr. 59 Pohled na porušenou příčnou spáru mezi prefabrikovanými nosníky typu I. Lokální mechanické poškození pravděpodobně vzniklo již při výrobě nosníku např. při vytahování z formy.



Obr. 60 Lokální mechanické poškození, které pravděpodobně vzniklo již při výrobě nosníku.

NEZAPRAVENÝ SONDÁŽNÍ OTVOR

Během diagnostického průzkumu předpínací výztuže (metoda semidestruktivního navrtávání předpínacích kanálků) nedošlo k vodotěsnému zapravení otvoru sondy.

Nezapravený sondážní otvor k předpínací výztuži (nebo jeho nedůsledné zapravení) představuje přímý kontakt povrchu předpínací výztuže se vzdušnou vlhkostí, která v agresivním okolním prostředí způsobuje korozi předpínací výztuže.



Obr. 61 Pohled na nezapravené sondážní otvory. Vpravo sondážní otvor k předpínací výztuži nosníku typu I (nejčastěji I-67, I-73).

3. ZÁVĚR

Příloha metodiky je věnována popisu typických závad mostů z předpjatého betonu za účelem zefektivnění procesu prvotního výběru předpjatých mostů pro podrobnou diagnostiku. Pomocí souborů závad, které byly popsány na základě vizuálních projevů na konstrukci, je možné efektivně vyselektovat mosty, u kterých je nutné provést podrobnou diagnostiku předpínací výztuže metodou SD sondování, protože tyto závady mohou indikovat zvýšené riziko probíhající koroze předpínací výztuže. Popis typických závad je zaměřen především na jejich vizuální projev, možnou příčinu vzniku a další vývoj, a tudíž lze s tímto souborem pracovat zejména během provádění mostních prohlídek. Typické závady také slouží k lokalizaci metody SD sondování, která byla tímto způsobem upřesněna.

V Brně dne 6. 12. 2023

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

(autorizovaný inženýr pro obor mosty a inženýrské konstrukce)

Ing. Martin Olšák

Ing. Adam Svoboda

4. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Viditelné stopy po zatékání (tmavé skvrny) na povrchu betonu předpjatého tyčového prefabrikátu typu I (nejčastěji I-67, I-73). Zatékání se nejčastěji objevuje na povrchu betonu pod mostními římsami nebo v prostoru uložení prefabrikátu (zatékání skrze mostní závěry).....	5
Obr. 2 Viditelné bílé povlaky a výluhy na povrchu betonu v místech stékání vody. Na obrázku jsou zobrazeny typické bílé mapy na povrchu tyčových předpjatých prefabrikátů typu I (nejčastěji I-67, I-73).	6
Obr. 3 Viditelné bílé výluhy a povlaky po zatékání uvnitř komory předpjatého mostu. Příčina zatékání – nefunkční hydroizolační systém a nevhodně vyřešená pracovní spára.....	7
Obr. 4 Na obrázku jsou zobrazeny zatečené podélné spáry s krápníky mostu složeného z prefabrikovaných předpjatých nosníků (v tomto případě jde o prefabrikáty typu MPN „Fousáče“). 8	
Obr. 5 Vápenité krápníky uvnitř předpjatého komorového nosníku v místě zatékání (příčná spára).	8
Obr. 6 Na obrázku je zobrazen typický projev závady – viditelně zatečená podélná spára (změna zabarvení dobetonávky spáry). Závada je často doprovázena výluhy, povlaky i krápníky. Závadu lze pozorovat u mostů z tyčových prefabrikovaných nosníků (nejčastěji typ KA, I).....	9
Obr. 7 Viditelně zatečená podélná spára mostu z tyčových předpjatých prefabrikátů. V případě, kdy je most opatřen nátěrem, lze pozorovat odlupující se vrstvy nátěru podélné spáry a také stopy (světlé mapy) po zatékání.	10
Obr. 8 Na obrázku je zobrazena zatečená příčná spára mostu složeného z tyčových prefabrikátů (v ČR nejčastěji typ KA a I). V okolí spáry jsou viditelné mapy po zatékání, vápenité povlaky a také korozivní výluhy (hnědé skvrny na povrchu betonu).	11
Obr. 9 Schématický náčrt skvrn po zatékání, které se objevují v okolí příčných spár prefabrikovaných tyčových nosníků.	11
Obr. 10 Na obrázku jsou zřetelně vidět vlhká místa (tmavé zbarvení povrchu) v oblasti uložení prefabrikovaných nosníků.	12
Obr. 11 Na fotografii je zachycena silně zatečená dobetonávka kotevní oblasti skrze dilatační spáru (na obrázku levý nosník). Dochází již k odpadu betonu a oddělování dobetonované části trhlinou od čela nosníku.	13
Obr. 12 Silně poškozená nosná konstrukce složená z prefabrikátů v oblasti uložení vlivem zatékání skrze dilatační spáru mostního závěru.	13
Obr. 13 Zatékání v okolí trubního odvodňovače, který je umístěn z části v podélné spáře mezi prefabrikovanými nosníky a z části zasahuje i do prefabrikovaného nosníku. Nesvedená voda má přístup k betonu nosníku, který svým působením rozrušuje.	14
Obr. 14 Zatékání v okolí trubního odvodnění nosné konstrukce v podélné spáře mezi prefabrikovanými tyčovými nosníky, které je doprovázeno tvorbou povlaků a výluhy.	15
Obr. 15 Schématický náčrt skvrn po zatékání, které se objevují v okolí příčných spár prefabrikovaných tyčových nosníků. Hnědou barvou jsou naznačeny vytékající korozivní zplodiny v příčné spáře (často u prefabrikovaných nosníků typu KA).	15
Obr. 16 Pohled na místo s vytékajícími korozivními zplodinami (hnědé až oranžové zbarvení).	16
Obr. 17 Schematický náčrt podélné trhliny na spodním líci konstrukce z předpjatých prefabrikovaných nosníků typu I.	17
Obr. 18 Podélné trhliny na spodním líci nosníku typu KA.	17
Obr. 19 Schematický náčrt příčné trhliny na spodním líci konstrukce z předpjatých prefabrikovaných nosníků typu KA.	18
Obr. 20 Příčná trhlina mezi segmenty.	18
Obr. 21 Pohled na příčnou trhlinu v dobetonované spáře mezi předpjatými segmenty typu DS-L.	19

Obr. 22 Šikmá trhlina tloušťky cca 0,1 mm podél zvedaného předpínacího kabelu ve stojině prefabrikovaného nosníku typu I-73.	20
Obr. 23 Šikmá trhlina na bočním líci předpjatého mostu	20
Obr. 24 Šikmá trhlina tloušťky cca 1 mm podél zvedaného předpínacího kabelu ve stojině předpjatého nosníku typu T.	21
Obr. 25 Pohled na šikmou trhlinu podél zvedaného kabelu s výluhy na bočním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu T.	22
Obr. 26 Pohled na šikmou trhlinu podél zvedaného kabelu s výluhy na bočním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu T.	23
Obr. 27 Pohled na podélnou trhlinu podél trajektorie předpínací výztuže s výluhy na spodním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu T.	24
Obr. 28 Pohled na podélnou trhlinu podél trajektorie předpínací výztuže s výluhy na spodním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu T.	25
Obr. 29 Pohled na podélnou trhlinu podél trajektorie předpínací výztuže (nezainjektovaný kanálek) s výluhy na spodním líci předpjatého prefabrikovaného nosníku typu KA.	26
Obr. 30 Pohled na širokou příčnou trhlinu ve vozovce mostovky nad opěrou mostu.	27
Obr. 31 Schematický náčrt široké příčné trhliny ve vozovce mostovky. Typická oblast pro vznik této závady je v místech nad pilíři.	28
Obr. 32 Schématický náčrt rozvoje závady. Voda se skrze trhlinu dostává k dobetonávce kotevní oblasti. Beton je vodou rozrušován a tím postupně ztrácí svoji ochrannou funkci. Voda, která se dostane až ke kotvám inicializuje korozivní proces předpínacího systému.	28
Obr. 33 Příčné trhliny ve vozovce nad středním pilířem mostu.	29
Obr. 34 Síť trhlín na bočním líci prefabrikovaného nosníku cca 6–10 cm od spodního líce betonu, u kterého je vedena předpínací výztuž.	30
Obr. 35 Svislá trhlina ve stěnové podpěře mostní konstrukce	31
Obr. 36 Na obrázku je zobrazen čelní pohled na stěnovou podpěru a detail měření šířky trhliny příložným trhlinoměrem (šířka trhliny 0,25 mm). Na obrázku jsou také vidět provedené sondážní vrtvy k předpínací výztuži v místě trhliny. Pomocí sondážních vrtů lze určit příčinu vzniku trhliny.	32
Obr. 37 Schematický náčrt působících radiálních sil ve stojce a vznik trhliny ze statických příčin.	32
Obr. 38 Schematický náčrt závady. Při poklesu předpínací síly, pravděpodobně z důvodu koroze, dochází k narůstání průhybu nosné konstrukce. Zde zobrazeno na nosné konstrukci složené z tyčových prefabrikovaných nosníků typu I (I-67, I-73).	33
Obr. 39 Schematický náčrt závady. Při poklesu předpínací síly, pravděpodobně z důvodu koroze, dochází k narůstání průhybu nosné konstrukce. Zde zobrazeno na nosné konstrukci složené z tyčových prefabrikovaných nosníků typu I (I-67, I-73).	33
Obr. 40 Průhyb mostu složeného z předpjatých nosníků.	34
Obr. 41 Pohled na odhalené kotvy po odpadu dobetonávky kotevní oblasti u prefabrikovaných nosníků typu I (nejčastěji I-67, I-73). Kotvy jsou zasaženy korozí.	35
Obr. 42 Pohled na úložný práh mostu s odpadanou dobetonávkou kotevní oblasti.	36
Obr. 43 Rozpad betonu dobetonávky kotev.	36
Obr. 44 Pohled na odpadanou betonovou krycí vrstvu na obnaženou betonářskou výztuž předpjatého tyčového prefabrikátu typu I (nejčastěji I-67, I-73).	37
Obr. 45 Pohled na odpadanou betonovou krycí vrstvu a na obnaženou betonářskou výztuž předpjatého tyčového prefabrikátu typu I (nejčastěji I-67, I-73).	38
Obr. 46 Separace krycí vrstvy nosníku typu I.	38
Obr. 47 Obrázek schematicky zobrazuje odtržení betonové krycí vrstvy až ke kanálku předpínací výztuže u předpjatého prefabrikovaného nosníku KA.	39
Obr. 48 Obnažené předpínací kabely při spodním líci.	39
Obr. 49 Separace krycí vrstvy kabelového kanálku a jeho obnažení.	40

Obr. 50 Odhalené kabelové kanálky u spodního líce prefabrikovaného nosníku.	40
Obr. 51 Pohled do zaplavené dutiny nosníku typu KA.	41
Obr. 52 Odtok vody z dutin prefabrikovaných nosníků po odvrtání sondy skrze spodní desku.	42
Obr. 53 Schematický nákres zaplavených dutin nosné konstrukce složené z tyčových předpjatých prefabrikovaných nosníků typu I.	42
Obr. 54 Schematický nákres zaplavených dutin nosné konstrukce složené z tyčových předpjatých prefabrikovaných nosníků typu KA.	43
Obr. 55 Vodou zaplavená komora komorového mostu.	43
Obr. 56 Schematický nákres zaplavené dutiny komorové nosné konstrukce.	44
Obr. 57 Pohled na deformaci dolní příruby nosníku typu I po nárazu vozidla.	45
Obr. 58 Náraz vozidla do krajního předpjatého nosníku mostní konstrukce.	46
Obr. 59 Pohled na porušenou příčnou spáru mezi prefabrikovanými nosníky typu I. Lokální mechanické poškození pravděpodobně vzniklo již při výrobě nosníku např. při vytahování z formy.	47
Obr. 60 Lokální mechanické poškození, které pravděpodobně vzniklo již při výrobě nosníku.	47
Obr. 61 Pohled na nezapravené sondážní otvory. Vpravo sondážní otvor k předpínací výztuži nosníku typu I (nejčastěji I-67, I-73).	48



Vysoké učení technické v Brně

Antonínská 548/1, 602 00 Brno

&



Link projekt s.r.o.

Makovského náměstí 3147/2, 616 00 Brno

Metodika pro posouzení zbytkové únosnosti předpjatých mostů

Příloha 2

Katalog prefabrikovaných nosníků I a KA

Identifikační č.:

CK01000042-V1

Datum:

6. 12. 2023

OBSAH:

1.	Úvod.....	3
2.	Katalog prefabrikovaných nosníků I, KA	4
2.1	Prefabrikovaný nosník I-62	4
2.2	Prefabrikovaný nosník I-67	8
2.3	Prefabrikovaný nosník I-73	11
2.4	Prefabrikovaný nosník IS-73.....	16
2.5	Prefabrikovaný nosník KA-61	21
2.6	Prefabrikovaný nosník KA-67	30
2.7	Prefabrikovaný nosník KA-73	34
2.8	Prefabrikovaný nosník KAS-73	39
3.	Závěr	42
4.	Seznam obrázků a tabulek	43

1. ÚVOD

Tato příloha schválené metodiky slouží jako přehledná sumarizace nejvýznamnějších předpjatých prefabrikovaných nosníků rozšířených na území České a Slovenské republiky. Jsou uvedeny charakteristiky nosníků I a KA, které patří mezi nepoužívanější. Rozměry těchto nosníků jsou převzaty z originálních typových podkladů a ve většině případů byly zároveň ověřeny na konkrétních případech v průběhu diagnostik mostů z těchto předpjatých nosníků.

Většina mostů s rozpětím jednoho pole do 30 m byla od druhé poloviny padesátých let vyráběna z tyčových předpjatých prefabrikátů. I přes krátká rozpětí 12 m byly použity tyto předpjaté nosníky, které byly vyrobeny na dobu poměrně z kvalitních betonů s vysokou pevností B500 (dnešní C35/45). Kvalitu betonu i po 50 letech potvrzují výsledky z laboratoří při v současnosti probíhajících diagnostických průzkumech.

První typy předpjatých nosníků z padesátých let byly k sobě příčně předepnuty a v podélném směru sestaveny ze tří dílů. Jednalo se o nosníky MPN (tzv. „fousáče“) a nosníky MPD. Z důvodu komplikované montáže, pracného předpínání v příčném směru s komplikovanou aplikací u šikmých mostů se muselo od použití těchto nosníků upustit.

Od počátku 60. let se tak přešlo k výrobě prefabrikovaných nosníků komůrkového průřezu „KA“ tzv. „Klimešů“ nebo průřezu tvaru písmena „I“ tzv. Ševčíků. Tyto nosníky jsou dodatečně předpjaté, a to pouze v podélném směru, v příčném směru jsou propojeny „petlicovitě“ betonářskou výztuží. Staticky tak vzniká tzv. žaluziová deska. Toto statické řešení na rozdíl od předchozích příčně předpjatých konstrukcí umožňuje pootočení sousedních prvků, dochází tak ke vzniku podélných trhlin a vzniku problematického místa těchto prefabrikovaných mostů. Dochází k potrhání spádového betonu nad nosníky a skrze časem porušenou hydroizolaci mostu dochází k umožnění přístupu vody z mostního svršku do nosné konstrukce a v případě dlouhodobého působení vody až k předpínací výztuži. Nejhuře je na tom obecně s ohledem na příčný sklon a odvodnění komunikace spára mezi krajním nosníkem a sousedním nosníkem, nad jejich propojením bývá ve většině případů typových mostů osa odvodnění izolace a zároveň skrze spáru vede svod dešťové vody z mostu.

I přes tuto nedokonalost vyhrála menší náročnost výstavby, což bylo v době nárůstu dálniční infrastruktury tehdejšího Československa žádoucí. Velkou výhodou byla hlavně také snadnější aplikace na různé šikmosti mostů.

Typové nosníky „KA“ a „I“ se tak staly nepoužívanějšími nosníky a až do konce 80. let docházelo pouze k jejich optimalizaci výztuže s ohledem na úpravu normového zatížení.

2. KATALOG PREFABRIKOVANÝCH NOSNÍKŮ I, KA

2.1 Prefabrikovaný nosník I-62

Cílem vypracování vzorových nosníků I-62 pro délky 24-30 m bylo přepracování v té době stávajících nosníků MPD-5,6, které se sice do té doby v praxi osvědčili, avšak s ohledem na výrobní zkušenosti a nové předpisy již nevyhovovali. S ohledem na spotřebu stavebního materiálu a zejména pracné a nákladné předpínání nosné konstrukce v příčném směru, bylo nutné úplné přepracování nosníků a sjednocení dle nových norem a směrnic.

Hlavní výhody nového nosníku I-62 oproti původních MPD-5,6:

- snížení spotřeby stavebních hmot vlivem změny tvaru a vyztužení,
- zjednodušení příčného spojení nosníků,
- unifikování tvaru nosníku tak, aby střední i krajní nosník byl shodný,
- efektivnější použitelnost nosníků pro různé šikmosti mostu.

Typy nosníků

Typová délka [m]	Rozpětí [m]	Výška nosníku [m]	Váha nosníku [t]
24,0	23,0	1,00	34,66
27,0	26,0	1,10	40,33
30,0	29,0	1,25	47,03

Tab. 1 Typové délky nosníků I-62

Materiálové charakteristiky

Beton nosníku: B 500

$f_{ck,cube,7\ days}$		$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
500	49,0	400	39,2

Beton spár: B 330

$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]
330	32,4

Betonářská výztuž: 10 603 (R 40)

f_{yk}	
[kp/cm ²]	[MPa]
4079	400,0

Předpínací výztuž: hladký patentovaný drát Ø4,5 mm

Mez pevnosti		Mez průtažnosti 2,0 ‰		Zvýšená mez průtažnosti dle ČSN 73 2004	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
16500	1618,1	12000	1176,8	13500	1323,9

Postup napínání:

Kabely se napnuly nejprve na napětí zaručené meze průtažnosti 2,0 ‰ $f_{yk,2,0\text{‰}} = 1176,8$ MPa, toto napětí se podrželo po dobu alespoň dvou minut, následně se dráty odlehčily alespoň na 2/3 tohoto napětí, tedy 784,5 MPa. Po tomto se kabely dopnuly na kotevní hodnoty, které se podržely po dobu dvou minut pro minimalizování ztrát dotvarování oceli.

Kotevní napětí:

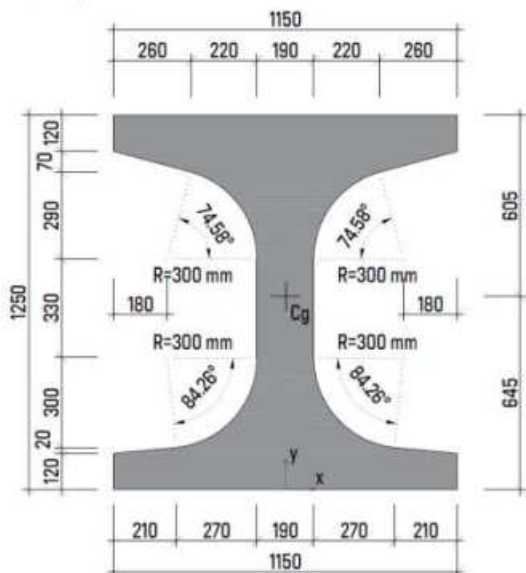
Nosník délky	[kp/cm ²]	[MPa]
24,0 m	13000	1274,9
27,0 m	12850	1260,1
30,0 m	12650	1240,5

Kabelové kanálky Ø42,0 mm, plechová trubka krepovaná se šroubovým švem typu SANDRIK.

U všech nosníků se vyskytují dva druhy kotev, a to jedno otvorová a dvojotvorová pro ukotvení 20 drátů Ø4,5.

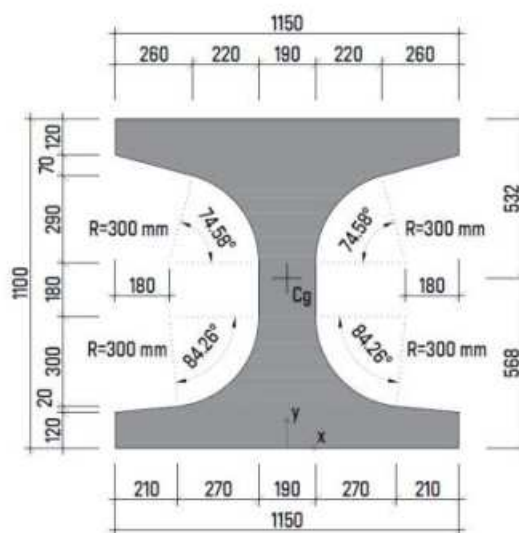
Průřezové charakteristiky:

Nosník I-62 dl. 30,0 m
H = 1,25 m



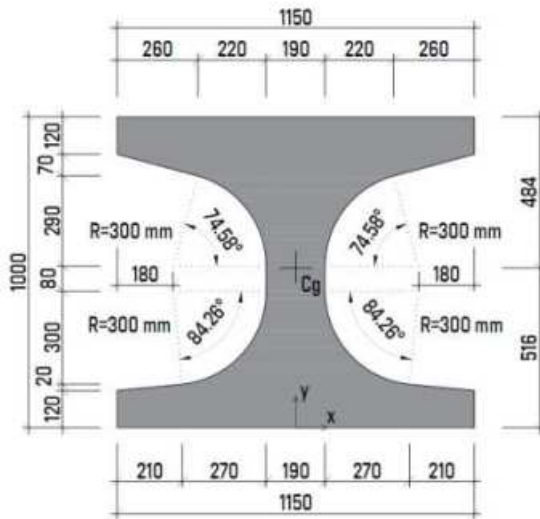
Plocha:	A = 0,60296 m ²
Obvod:	O = 6,068 m
Téžistě:	X = 0,000 m Y = 0,645 m
Momenty setrvačnosti:	I _x = 0,13058 m ⁴ I _y = 0,03880 m ⁴

Nosník I-62 dl. 27,0 m
H = 1,10 m



Plocha:	A = 0,57446 m ²
Obvod:	O = 5,768 m
Téžistě:	X = 0,000 m Y = 0,568 m
Momenty setrvačnosti:	I _x = 0,09452 m ⁴ I _y = 0,03871 m ⁴

Nosník I-62 dl. 24,0 m
H = 1,00 m



Plocha:	$A = 0,55546 \text{ m}^2$
Obvod:	$O = 5,568 \text{ m}$
Těžiště:	$X = 0,000 \text{ m}$
	$Y = 0,516 \text{ m}$
Momenty setrvačnosti:	$I_x = 0,07409 \text{ m}^4$
	$I_y = 0,03865 \text{ m}^4$

Obr. 1 Průřezové charakteristiky nosníků I-62



Obr. 2 Čelo nosníku I-62 délky 27,0 m



Obr. 3 Propojení nosníků I-62 podélnými spárami mezi spodní a horní přírubou nosníků



Obr. 4 Pohled na krajní nosníky I-62, výrazné vzepětí středního pole

2.2 Prefabrikovaný nosník I-67

Motivem pro zadání přepočtu stávajícího vzorového projektu nosných konstrukcí silničních mostů bylo zvýšení nahodilého zatížení dálničních mostů stanoveného ministerstvem dopravy v roce 1966. Byla doplněna skladebná délka 21,0 m, která zároveň pokryla dřívější komůrkové nosníky KA-61/21.

Statickým výpočtem určené podmínky použití nosníků:

- e) minimální počet 8 nosníků v příčném řezu,
- f) velikost spáry mezi nosníky max. 430 mm a min. 280 mm,
- g) vzdálenost líce svodidla od osy krajního nosníku max 950 mm,
- h) limitní poloha osy krajního kola ideálního trojnápravového vozidla je 1,0 m od líce svodidla,
- i) váha vozovky, včetně spádového betonu max. 610 kp/m² (6 kN/m²)

Typy nosníků

Typová délka [m]	Rozpětí [m]	Výška nosníku [m]	Váha nosníku [t]
21,0	20,0	1,00	30,33
24,0	23,0	1,10	35,85
27,0	26,0	1,25	42,33
30,0	29,0	1,40	49,25

Tab. 2 Typové délky nosníků I-67

Materiálové charakteristiky

Beton nosníku: B 500

$f_{ck,cube,7\ days}$		$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
400	39,2	500	49,0

Beton spár: B 330

$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]
330	32,4

Betonářská výztuž: 10 400 B

f_{yk}	
[kp/cm ²]	[MPa]
4079	400,0

Předpínací výztuž: hladký patentovaný drát Ø4,5 mm

Mez pevnosti		Mez průtažnosti 2,0 ‰		Zvýšená mez průtažnosti dle ČSN 73 2004	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
16500	1618,1	12000	1176,8	13500	1323,9

Postup napínání:

Postup napínání shodný jako u nosníků I-62. Kabele se napnuly nejprve na napětí zaručené meze průtažnosti 2,0 ‰ $f_{yk,2,0\text{‰}} = 1176,8$ MPa, toto napětí se podrželo po dobu alespoň dvou minut, následně se dráty odlehčily alespoň na 2/3 tohoto napětí, tedy 784,5 MPa. Po tomto se kabele dopnuly na kotevní hodnoty, které se podržely po dobu dvou minut pro minimalizování ztrát dotvarování oceli.

Kotevní napětí:

Nosník délky	[kp/cm ²]	[MPa]
21,0 m	12900	1265,1
24,0 m	13100	1284,7
27,0 m	13100	1284,7
30,0 m	13000	1274,9

Kabelové kanálky Ø42,0 mm, plechová trubka krepovaná se šroubovým švem typu SANDRIK.

U všech nosníků se vyskytují dva druhy kotev, a to jedno otvorová a dvojotvorová pro ukotvení 20 drátů Ø4,5.

Dimenzování nosníku:

Pro statický výpočet byl uvažován jako nejnepříznivější případ nosná konstrukce z 8 nosníků, odpovídající mostu pro polovinu dálnice D 22,5.

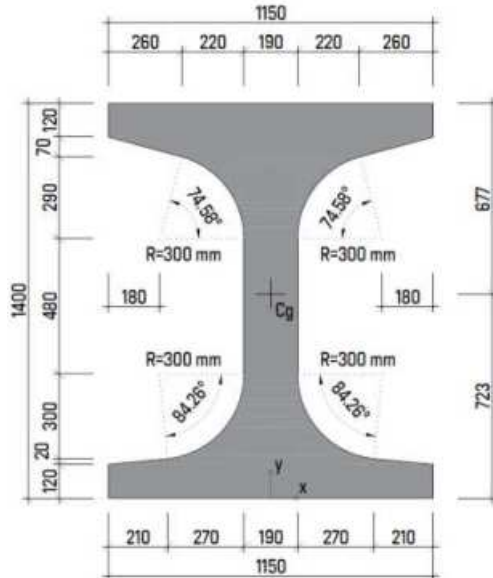
Vozovka tloušťky 120 mm, objemová tíha 25 kN/m²

Spádový beton průměrné tloušťky 100 mm, objemová tíha 25 kN/m²

Zatěžovací vozidlo – ideální třínápravové vozidlo celkové váhy 60 Mp (588 kN) a rovnoměrného zatížení 600 kp/m² (5,9 kN/m²).

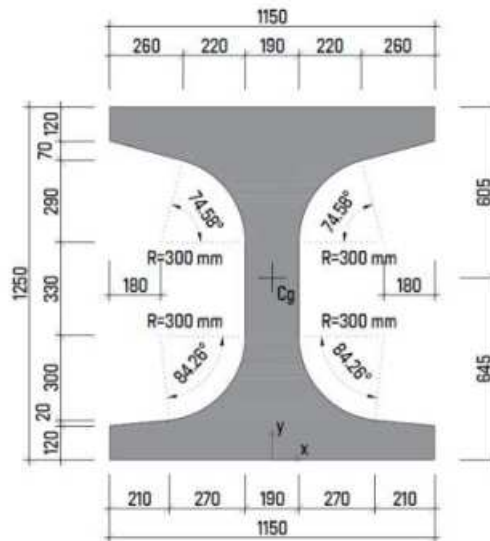
Průřezové charakteristiky:

Nosník I-67 dl. 30,0 m
 H = 1,40 m



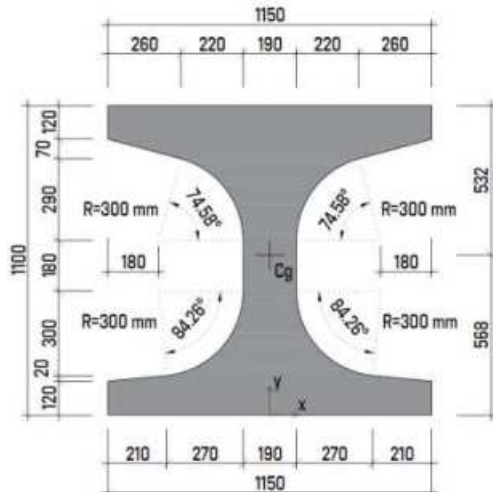
Plocha: $A = 0,63146 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 6,368 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,723 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,17342 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03888 \text{ m}^4$

Nosník I-67 dl. 27,0 m
 H = 1,25 m



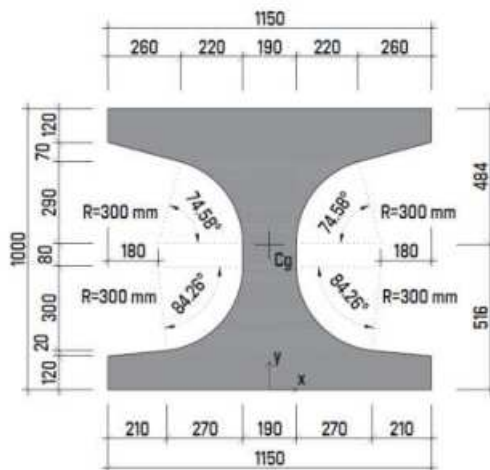
Plocha: $A = 0,60296 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 6,068 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,645 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,13058 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03880 \text{ m}^4$

Nosník I-67 dl. 24,0 m
 H = 1,10 m



Plocha: $A = 0,57446 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 5,768 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,568 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,09452 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03871 \text{ m}^4$

Nosník I-67 dl. 21,0 m
 H = 1,00 m



Plocha: $A = 0,55546 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 5,568 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,516 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,07409 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03865 \text{ m}^4$

Obr. 5 Průřezové charakteristiky nosníků I-67

2.3 Prefabrikovaný nosník I-73

Nosníky všech typových délek jsou vytvořené jako I průřez o shodných šířkách horní a dolní příruby 1150 mm. Tloušťka přírub na jejich koncích je 120 mm, která se směrem ke stojině rozšiřuje a přechází v zaoblený náběh o poloměru $R = 300$ mm. Stojina průřezu je široká 190 mm. Uspořádání horní a dolní příruby je u nosníků všech typových délek shodné, mění se pouze výška stojiny.

Vzájemné příčné spojení nosníků se docílí pomocí ok z betonářské výztuže, vyčnívajících na 65 mm z horní a dolní příruby a vložených obdélníkových třmínků v příčné spáře. V podélném směru spáry je třmínky provlečena podélná výztuž. Krajiní nosníky se od vnitřních liší vyčnívajícími oky pouze na jedné straně přírub.

Typy nosníků

Typová délka [m]	Rozpětí [m]	Výška nosníku [m]	Váha nosníku [t]
21,0	20,0	1,00	30,33
24,0	23,0	1,10	35,85
27,0	26,0	1,25	42,33
30,0	29,0	1,40	49,25

Tab. 3 Typové délky nosníků I-73

Typové nosníky v roce 1973 nahradily typové podklady pro nosníky I-62 a I-67, které ztratily vydáním typového podkladu pro I-73 platnost. Tehdejší náměstek ministra dopravy souhlasil s používáním typových podkladů I-62 a I-67, pokud budou nosníky zabudovány do 31.12.1976.

Změny u typových nosníků I-73 oproti I-67

Změny byly provedeny z důvodu platnosti nové zatěžovací normy ČSN 73 6203 a z důvodu zavedení používání nové třídy oceli 10 425.

Tvar nosníku: Tvar nosníku až na šikmost čel zůstává stejný a bylo je tedy možné vyrábět ve formách pro nosníky I-67. Čelo nosníku se zešikmilo pro víc prostoru na ukotvení dilatace.

Betonářská výztuž: Místo betonářské výztuže z oceli 10400 B je použita ocel 10425 a 10216 pro spony. Zároveň byl pozměněn tvar výztuží tak, aby nedocházelo ke kolizím předpínací a betonářské výztuže.

Předpínací výztuž: Zůstávají dráty ØPZ 4.5. Kabely v dolní přírubě č. 1 a č. 10 jsou přemístěny blíže ke stojině, kde je beton lépe zhutněný. U nosníku délky 30,0 m byly kabely č. 11 a č. 16 přemístěny z druhé řady do třetí za účelem lepšího a jednoduššího zhutnění betonu.

Minimální počet nosníků je 6 ks, maximální počet je libovolný.

Materiálové charakteristiky

Beton nosníku: B 500

$f_{ck,cube,7\ days}$		$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
400	39,2	500	49,0

Beton spár: B 330

$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]
330	32,4

Betonářská výztuž: 10 425

f_{yk}	
[kp/cm ²]	[MPa]
4181	410,0

Předpínací výztuž: hladký patentovaný drát Ø4,5 mm

Mez pevnosti		Mez průtažnosti 2,0 ‰		Zvýšená mez průtažnosti dle ČSN 73 2004	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
16500	1618,1	12000	1176,8	13500	1323,9

Postup napínání:

Postup napínání shodný jako u nosníků I-67. Kabely se napnuly nejprve na napětí zaručené meze průtažnosti 2,0 ‰ $f_{yk,2,0\ ‰} = 1176,8\ \text{MPa}$, toto napětí se podrželo po dobu alespoň dvou minut, následně se dráty odlehčily alespoň na 2/3 tohoto napětí, tedy 784,5 MPa. Po tomto se kabely dopnuly na kotevní hodnoty, které se podržely po dobu dvou minut pro minimalizování ztrát dotvarování oceli.

Kotevní napětí:

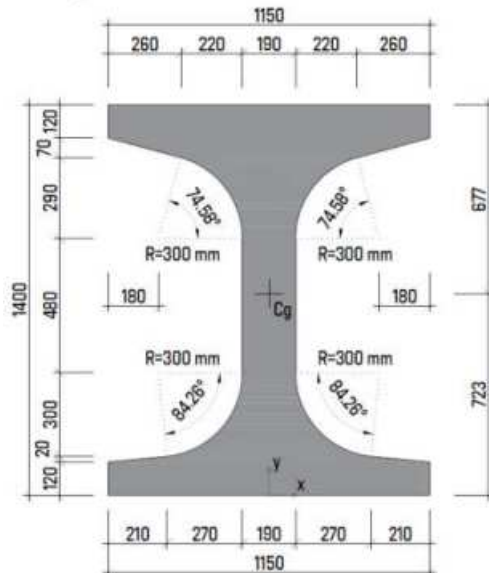
Nosník délky	[kp/cm ²]	[MPa]
21,0 m	12900	1265,1
24,0 m	13100	1284,7
27,0 m	13100	1284,7
30,0 m	13000	1274,9

Kabelové kanálky Ø42,0 mm, plechová trubka krepovaná se šroubovým švem typu SANDRIK.

U všech nosníků se vyskytují dva druhy kotev, a to jedno otvorová a dvojotvorová pro ukotvení 20 drátů Ø4,5.

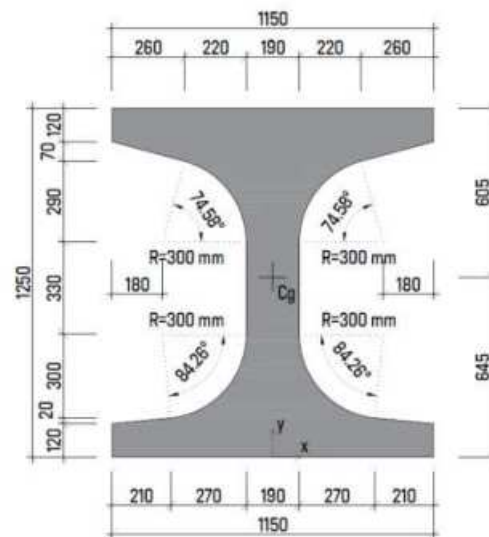
Průřezové charakteristiky:

Nosník I-73 dl. 30,0 m
H = 1,40 m



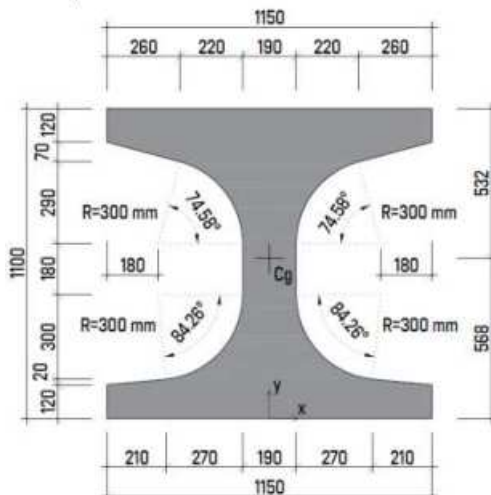
Plocha: $A = 0,63146 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 6,368 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,723 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,17342 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03888 \text{ m}^4$

Nosník I-73 dl. 27,0 m
H = 1,25 m



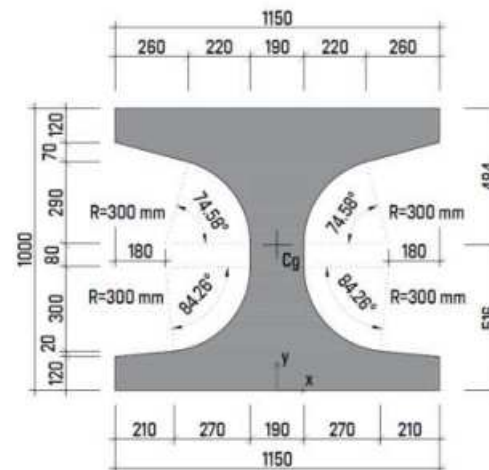
Plocha: $A = 0,60296 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 6,068 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,645 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,13058 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03880 \text{ m}^4$

Nosník I-73 dl. 24,0 m
H = 1,10 m



Plocha: $A = 0,57446 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 5,768 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,568 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,09452 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03871 \text{ m}^4$

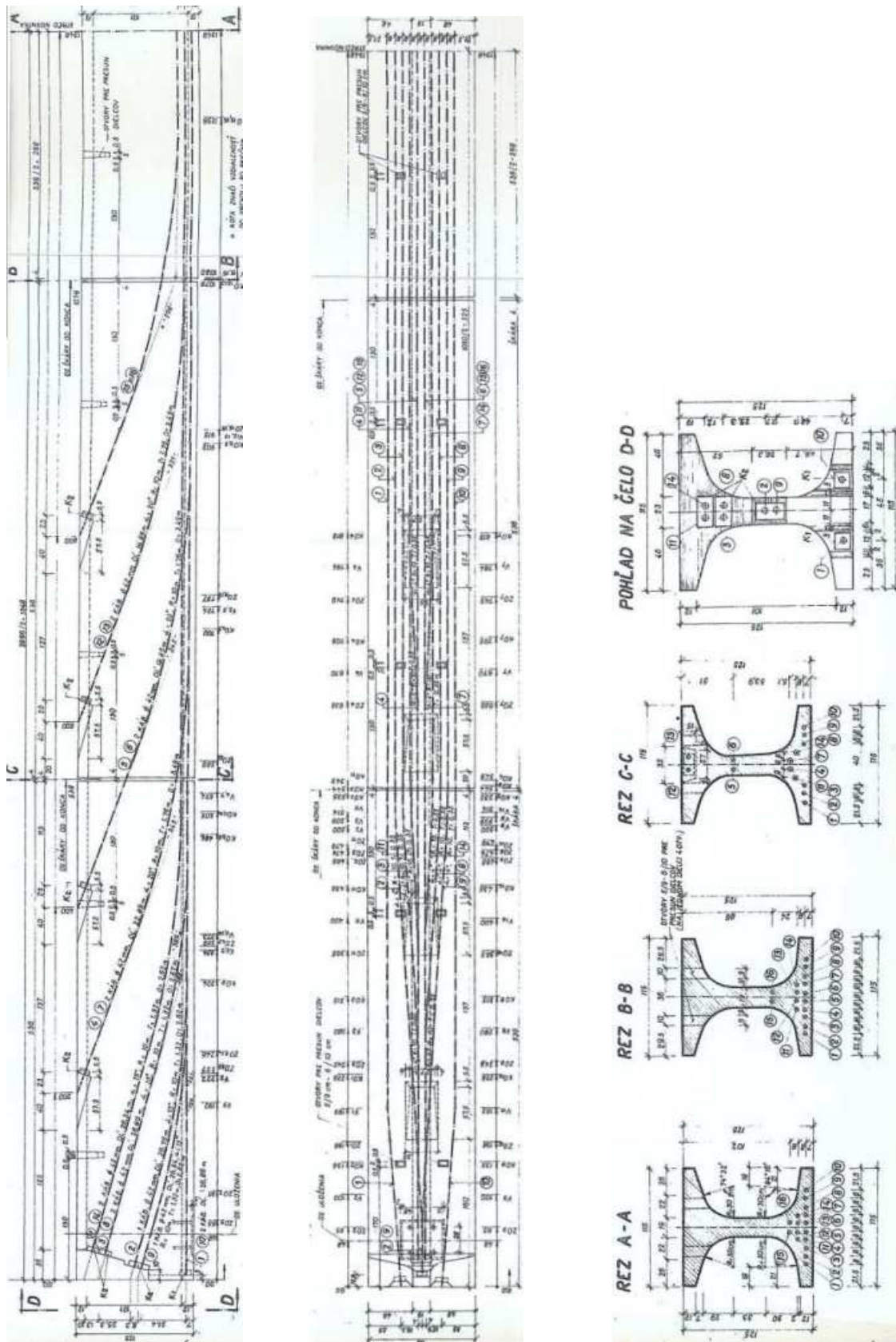
Nosník I-73 dl. 21,0 m
H = 1,00 m



Plocha: $A = 0,55546 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 5,568 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,516 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,07409 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03865 \text{ m}^4$

Obr. 6 Průřezové charakteristiky nosníků I-73

Výkres tvaru a předpínací výztuže nosníku typové délky 27,0 m





Obr. 7 Pohled na čelo nosníku I-73 dl. 24,0 m



Obr. 8 Pohled vnější nosník I-73 dl. 27,0 m

2.4 Prefabrikovaný nosník IS-73

Nosníky IS-73 vznikly jako výsledek spolupráce RVT – mosty n.p. Stavby silnic a železnic Praha a Dopravní stavby Olomouc. Cílem bylo zefektivnit výrobu mostních prefabrikátů:

- zavedením větších předpínacích jednotek, v tomto případě kabelů 1000 kN s 24Φ P7 místo 20Φ P4,5
- využitím svařovaných sítí z drátů KARI pro příčnou výztuž místo prutové bet. oceli. S ohledem na použití těchto sítí se do názvu přidalo písmeno S.

Větší předpínací jednotky snížily počet kabelů, což se příznivě projevilo při vytváření kabelových kanálků, předpínání i injektáži.

Svařované sítě znamenali podstatné snížení pracnosti a při použití kvalitnějších tepelně popouštěných drátů KARI také značnou úsporu oceli.

Změny oproti I-73:

Kromě použití kabelů 1000 kN a KARI sítí pro příčnou výztuž nosníků IS-73 byly provedeny další úpravy, které přispívají k zjednodušení výroby a úspoře materiálu.

1. Každý nosník může mít ukončení A – pro kotvení mostních přechodových konstrukcí nebo ukončení B – pro bezdilatační spojení nosníků.

Geometrický tvar čela je pro oba druhy ukončení stejný s těmito rozdíly:

- Při ukončení A vyčnívá z horní příruby nosníku výztuž pro monolitický kotevní blok
 - Při ukončení B se vložkou k čelu vytvoří ozub pro uložení desky bezdilatačního spojení
2. Při výrobě nosníků z dílců se uvažují pseudokontaktní (lepené) spáry – alternativně též betonové tl. 4,0 cm.
 3. KARI sítě jsou též navrženy jako výztuž podélných spár pro příčné zmonolitnění nosníků.
 4. Pro zajištění správné polohy kabelových kanálků byly vykresleny rozdělovací mřížky pro nosníky všech skladebných délek.

Tvar nosníku IS-73 kromě úpravy čel, vyplývající z použití kotev pro kabely 1000 kN a pro bezdilatační spojení zůstává stejný jako u nosníků I-73.

Typy nosníků

Typová délka [m]	Rozpětí [m]	Výška nosníku [m]	Váha nosníku [t]
21,0	20,0	1,00	30,33
24,0	23,0	1,10	35,85
27,0	26,0	1,25	42,33
30,0	29,0	1,40	49,25

Tab. 4 Typové délky nosníků IS-73

Materiálové charakteristiky

Beton nosníku: B 500

$f_{ck,cube,7\ days}$		$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
400	39,2	500	49,0

Beton spár: B 330

$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]
330	32,4

Betonářská výztuž: KARI síť ocel 11 373

mez pevnosti		mez průtažnosti		mez pevnosti	
[kp/mm ²]	[MPa]	[kp/mm ²]	[MPa]	[kp/mm ²]	[MPa]
55	550,0	50	500,0	28	280,0

Předpínací výztuž: hladký patentovaný drát Ø7,0 mm

Mez pevnosti		Mez průtažnosti 2,0 ‰		Zvýšená mez průtažnosti dle ČSN 73 2004	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
14000	1372,9	10000	980,7	11250	1103,2

Postup napínání:

Kabely se napnuly nejprve na napětí 1100 MPa (Síla v 1 kabelu = 1016,4 kN), toto napětí se podrželo po dobu alespoň dvou minut, následně se dráty odlehčily alespoň na 2/3 tohoto napětí, tedy 730 MPa. Po tomto se kabely dopnuly na konečné napětí 1100 MPa a ukotvily.

Kotevní napětí:

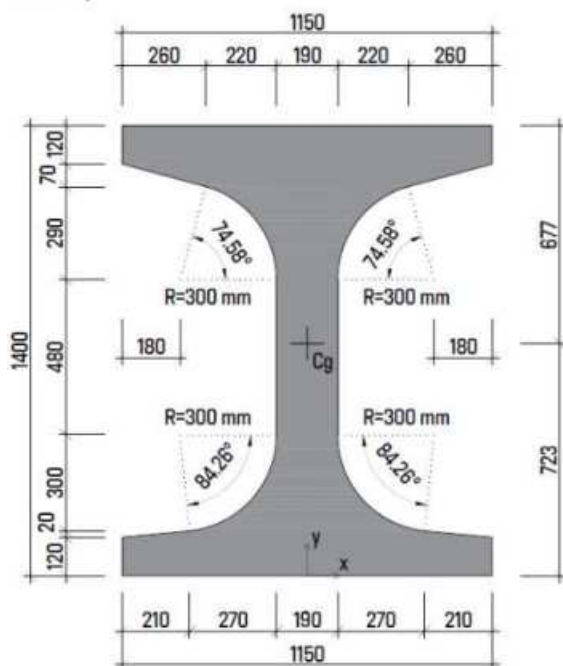
Nosník délky	kN	[MPa]
21,0 m	1007,2	1090,0
24,0 m	1016,4	1100,0
27,0 m	1016,4	1100,0
30,0 m	1016,4	1100,0

Kabelové kanálky Ø60,0 mm, krepové trubky zabudované v nosníku

U všech nosníků se vyskytují pouze jednotvorové kotvy.

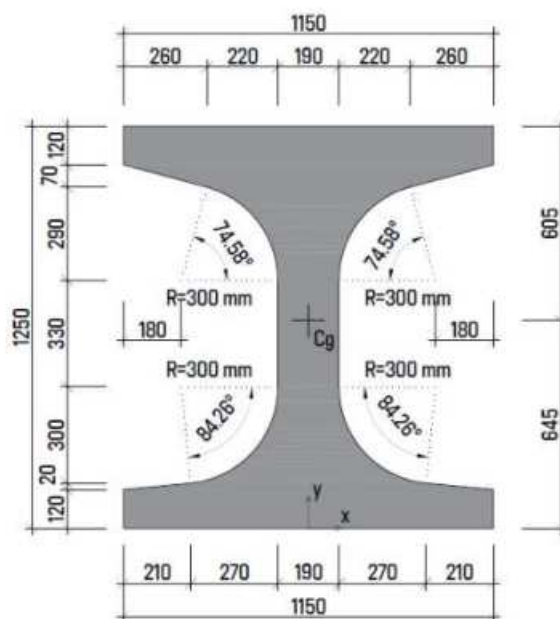
Průřezové charakteristiky:

Nosník IS-73 dl. 30,0 m
H = 1,40 m



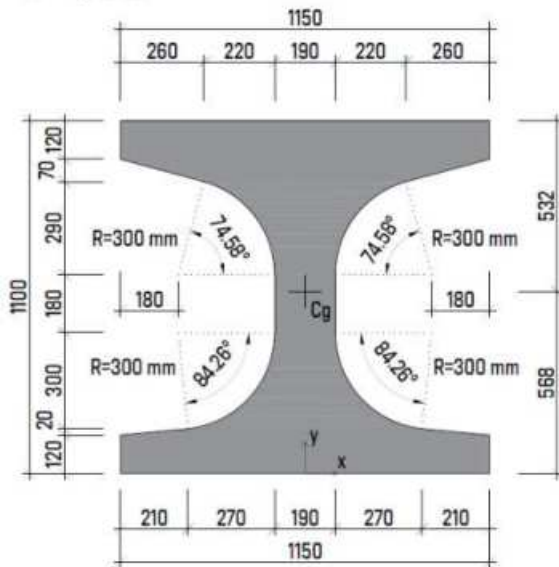
Plocha: $A = 0,63146 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 6,368 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,723 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,17342 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03888 \text{ m}^4$

Nosník IS-73 dl. 27,0 m
H = 1,25 m



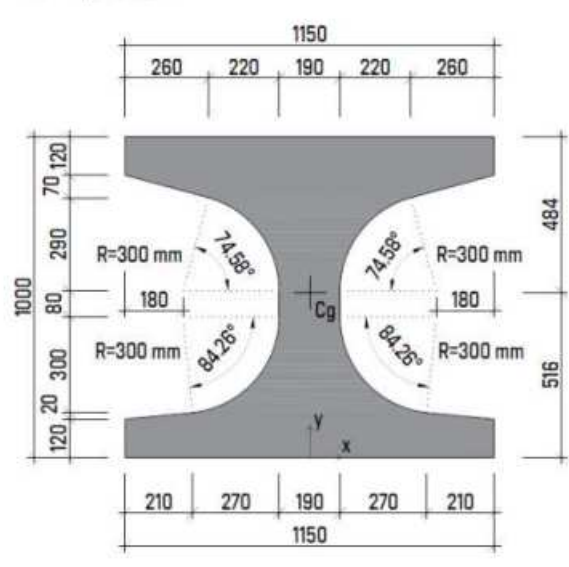
Plocha: $A = 0,60296 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 6,068 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,645 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,13058 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03880 \text{ m}^4$

Nosník IS-73 dl. 24,0 m
H = 1,10 m



Plocha: $A = 0,57446 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 5,768 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,568 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,09452 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03871 \text{ m}^4$

Nosník IS-73 dl. 21,0 m
H = 1,00 m



Plocha: $A = 0,55546 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 5,568 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,516 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,07409 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03865 \text{ m}^4$

Obr. 9 Průřezové charakteristiky nosníků IS-73



Obr. 10 Pohled na nosník IS-73



Obr. 11 Pohled na spodní líc nosníků IS-73

2.5 Prefabrikovaný nosník KA-61

Nosníky jsou truhlíkového průřezu jednotné a neproměnné šířky dole 980 mm po celé délce nosníku a nahoře 940 mm, resp. 960 mm v případě rozšířených konců v oblasti kotev. Stojiny, horní i dolní deska jsou jednotné tloušťky 100 mm. Ve všech rozích jsou provedeny trojúhelníkové náběhy o rozměrech 80/240 mm. Výška nosníků se mění dle katalogové světlosti nosníku.

Tvar popsánoho betonového průřezu je po délce neproměnný, mimo konce nosníků, kde s ohledem na kotvení kabelů a z estetických důvodů jsou stojiny nosníků všech světlostí rozšířené na 130 mm na délce 0,30 m.

Příčné spojení je zajišťováno pomocí měkké výztuže, tedy bez příčného předpínání. Tento způsob provedení umožňoval sestavení konstrukce značné šikmosti, pro ověření byla provedena pokusná stavba šikmosti mostu 65°.

Nosníky nahradily do té doby používané prefabrikované nosníky světlosti 9–18 m nazývané „Montostav“ či MPN, MPD (v českých zemích) a typ „Vloššák“ na Slovensku. Navíc byla doplněna světlost 21,0 m.

Typové délky nosníků:

Základní typová světlost [m]	Délka nosníku [m]	Rozpětí [m]	Výška nosníku [m]	Váha nosníku [t]
9,0	10,6	10,0	0,45	7,67
10,0	11,6	11,0	0,60	9,34
11,0	12,6	12,0	0,60	10,14
12,0	13,6	13,0	0,60	10,95
13,0	14,6	14,0	0,70	12,51
14,0	15,6	15,0	0,70	13,34
15,0	16,6	16,0	0,70	14,20
16,0	17,6	17,0	0,85	15,45
17,0	18,6	18,0	0,85	17,37
18,0	19,6	19,0	0,85	18,28
19,0	20,6	20,0	1,10	21,92
20,0	21,6	21,0	1,10	22,95
21,0	22,6	22,0	1,10	24,02

Tab. 5 Typové délky nosníků KA-61

Základní označení délek nosníků je dle světlosti. Pro potřebu rekonstrukcí mostů při zachování opěr nebo určitých speciálních případů, často vyskytujících se u železničních mostů, byly uvažovány též mezilehlé světlosti (po 1,0 m). Těch bylo docíleno vynecháním délky 1,0 m resp. 2,0 m ve středu rozpětí typového nosníku.

Nosníky dl. 12,0 m se používaly i na světlosti 10,0 a 11,0 m.

Nosníky dl. 15,0 m se používali i na světlosti 13,0 a 14,0 m.

Nosníky dl. 18,0 m se používali i na světlosti 16,0 a 17,0 m.

Nosníky dl. 21,0 m se používali i na světlosti 19,0 a 20,0 m.

Dimenzování nosníků:

Při návrhu byla posouzena nosná konstrukce šířky 7,98 m, mezi zábradlím 7,5 m, vozovka 6,5 m.

Zatížení svrškem bylo uvaženo nejtěžší možnou vozovkou, a to dlažbou z kostek 100x100.

Materiálové charakteristiky

Beton nosníku: B 500

$f_{ck,cube,7\ days}$		$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
400	39,2	500	49,0

Beton spár: B 330

$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]
330	32,4

Betonářská výztuž: Vzhledem k výrobnímu plánu Československých hutních závodů pro rok 1961 měla být dodávána ocel 10 603 (R 40), na druhé straně však v té době k aktuálním zásobám oceli 10 513 (Roxor) se používaly a v TP jsou uvedeny oba typy.

S ohledem na nižší váhovou spotřebu oceli se upřednostňovala ocel 10 603 (R 40).

f_{yk}	
[kp/cm ²]	[MPa]
4079	400,0

Předpínací výztuž: hladký patentovaný drát Ø4,5 mm

Mez pevnosti		Mez průtažnosti 2,0 ‰		Zvýšená mez průtažnosti dle ČSN 73 2004	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
16500	1618,1	12000	1176,8	13500	1323,9

Postup napínání:

Postup napínání shodný jako u nosníků I-62. Kable se napnuly nejprve na napětí zaručené meze průtažnosti 2,0 ‰ $f_{yk,2,0\ \text{‰}} = 1176,8\ \text{MPa}$, toto napětí se podrželo po dobu alespoň dvou minut, následně se dráty odlehčily alespoň na 2/3 tohoto napětí, tedy 784,5 MPa. Po tomto se kabely dopnuly na kotevní hodnoty, které se podržely po dobu dvou minut pro minimalizování ztrát dotvarování oceli.

Kotevní napětí:

Nosník délky	[kp/cm ²]	[MPa]
9,0 m	13250	1299,4
12,0 (11,10) m	13250	1299,4
15,0 (14,13) m	13200	1294,5
18,0 (17,16) m	13100	1284,7
21,0 (20,19) m	13040	1278,8

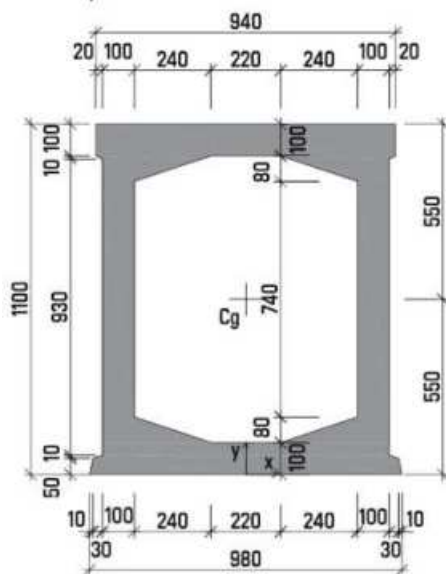
Kabelové kanálky Ø32,0 mm. Dvě varianty provedení.

- Ocelovými bezešvými trubkami, které se po částečném zatvrdnutí betonu vytáhnou, bylo prověřeno i vytažení zakřivených trubek,
- plechová trubka krepovaná se šroubovým švem typu SANDRIK.

U všech nosníků se vyskytují dva druhy kotev, a to jednotvorová a dvojtvorová pro ukotvení 20 drátů Ø4,5.

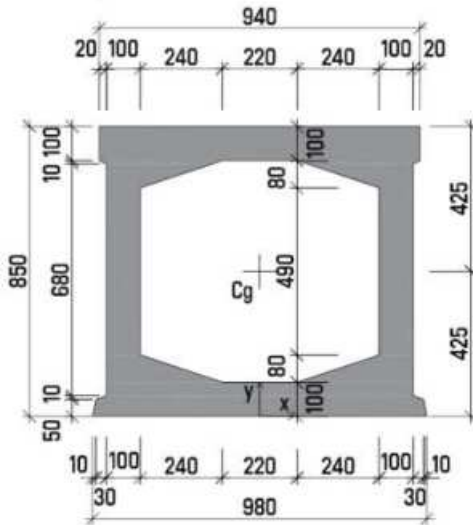
Průřezové charakteristiky:

Nosník KA-61 dl. 21,0 m
H = 1,10 m



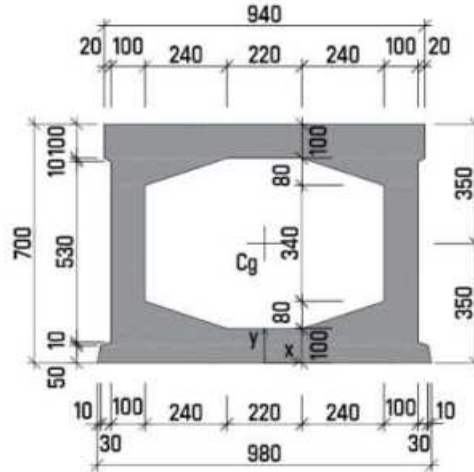
Plocha:	A = 0,4064 m ²
Obvod:	O = 4,190 m
Téžisté:	X = 0,000 m
	Y = 0,550 m
Momenty	I _x = 0,06628 m ⁴
setrvačnosti:	I _y = 0,04574 m ⁴

Nosník KA-61 dl. 18,0 m
H = 0,85 m



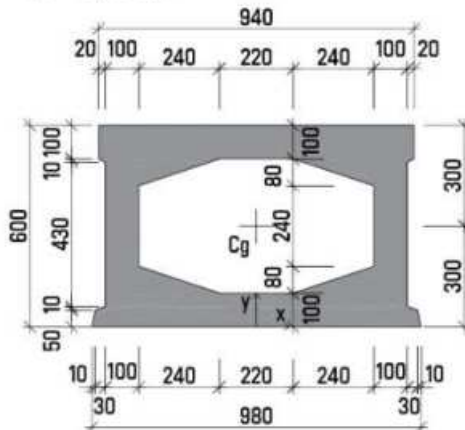
Plocha:	$A = 0,3564 \text{ m}^2$
Obvod:	$O = 3,690 \text{ m}$
Těžiště:	$X = 0,000 \text{ m}$ $Y = 0,425 \text{ m}$
Momenty setrvačnosti:	$I_x = 0,03466 \text{ m}^4$ $I_y = 0,03770 \text{ m}^4$

Nosník KA-61 dl. 15,0 m
H = 0,70 m



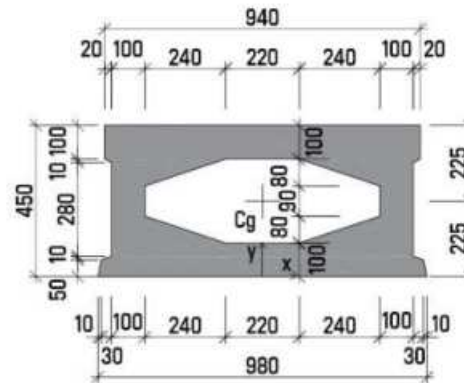
Plocha:	$A = 0,3264 \text{ m}^2$
Obvod:	$O = 3,390 \text{ m}$
Těžiště:	$X = 0,000 \text{ m}$ $Y = 0,350 \text{ m}$
Momenty setrvačnosti:	$I_x = 0,02114 \text{ m}^4$ $I_y = 0,03287 \text{ m}^4$

Nosník KA-61 dl. 12,0 m
H = 0,60 m



Plocha:	$A = 0,3064 \text{ m}^2$
Obvod:	$O = 3,190 \text{ m}$
Těžiště:	$X = 0,000 \text{ m}$ $Y = 0,300 \text{ m}$
Momenty setrvačnosti:	$I_x = 0,01418 \text{ m}^4$ $I_y = 0,02965 \text{ m}^4$

Nosník KA-61 dl. 9,0 m
H = 0,45 m



Plocha:	$A = 0,2764 \text{ m}^2$
Obvod:	$O = 2,890 \text{ m}$
Těžiště:	$X = 0,000 \text{ m}$ $Y = 0,225 \text{ m}$
Momenty setrvačnosti:	$I_x = 0,006588 \text{ m}^4$ $I_y = 0,024831 \text{ m}^4$

Obr. 12 Průřezové charakteristiky nosníků KA-61

Výroba nosníků:

Výroba nosníků byla prováděna dvěma způsoby:

- a) výroba nosníků v celé délce
- b) u délky 9 m v celé délce, u ostatních délek výroba nosníků ze 3 dílců

Rozhodnutí, který způsob byl výhodnější záviselo na místních poměrech a dohodě mezi projektantem a dodavatelem.

Výroba nosníků v celé délce

Mohla se provádět buď v oplechovaných dřevěných formách, avšak s ohledem na přesnost se doporučovali ocelové formy. Po odbednění nosníku vyrobeného v celku bylo možné vnést předpětí po dosažení pevnosti betonu 400 kp/cm^2 (39,2 MPa), za normálních podmínek po sedmi dnech. Zvedání nosníků mohlo být realizováno pouze po předepnutí.

Pro zvedání byly nosníky všech světlostí opatřeny na koncích v rozšířených částí stojin otvory průměru 50 mm, do kterých se zasunulo kruhové železo průměru 40 mm.

Výroba nosníků z dílců

Výroba nosníků světlosti 12,0-21,0 m je alternativně uvažována ze 3 dílců. Pro výrobu dílců se použijí stejné formy jako při výrobě nosníku v celku, provedou se pouze ve třetinách přepážky, polohy těchto přepážek jsou vyznačeny ve výkresech uložení předpínací výztuže. Zvedání jednotlivých dílců bylo možné po dosažení pevnosti betonu 250 kp/cm^2 (24,5 MPa), za normálních podmínek po 2-3 dnech.



Obr. 13 Použití nosníků KA-61 dl. 21,0 m, most na silnici II/272 v Lysé nad Labem, výstavba mostu 1968-1973 (Demolice a výstavba nového mostu proběhla v roce 2018). Zdroj: <https://silnice-zeleznice.cz/silnicni-infrastruktura/ii-272-lysa-nad-labem-rekonstrukce-mostu-ev-c-272-006-102>



Obr. 14 Použití nosníků KA-61 výšky 0,85 m, most ČS mládeže v Ostravě, dnešní ulice Plzeňská, výstavba mostu 60. léta (Demolice a výstavba nového mostu proběhla v roce 2017). Zdroj: www.betontks.cz



Obr. 15 Použití nosníků KA-61 výšky 0,85 m, most ČS mládeže v Ostravě, tradiční podpěra z několika úzkých pilířů a horního příčnicku, výstavba mostu 60. léta (Demolice a výstavba nového mostu proběhla v roce 2017). Zdroj: www.betontks.cz



Obr. 16 Čelo nosníku KA-61 dl. 10,6 m



Obr. 17 Uložení nosníků KA-61 dl. 10,6 m na úložném prahu opěry



Obr. 18 Čelo nosníku KA-61 dl. 16,6 m



Obr. 19 Uložení nosníků KA-61 dl. 16,6 m na úložném prahu opěry

2.6 Prefabrikovaný nosník KA-67

Tvar komorového průřezu u všech typových délek shodný jako u nosníků KA-61.

Úpravy nosníků oproti KA-61

Vzhledem k požadavkům výrobců prefabrikátů byly nosníky navrženy ve dvou variantách lišících se uspořádáním příčného a podélného řezu samotných nosníků tak i uspořádání spojovací betonářské výztuže ve spárách mezi nosníky. Cílem tohoto návrhu bylo umožnit výrobu prefabrikátů KA-67 pro dálniční mosty v existujících formách pro výrobu nosníků KA-61, které jsou také dvojího typu:

- Nosníky se zesílenou kotevní částí – zesílení nosníků na vnějších stranách stojin v tloušťce 2 x 30 mm v délce 300 mm a zesílení spodní desky v tloušťce 20 mm v délce 600 mm, průběžný výstupek horní desky nosníku je po celé délce na obou stranách,
- Nosníky konstantního příčného řezu po celé délce (bez náběhů v kotevní oblasti). Za účelem možnosti dokonalejšího zpracování betonu spár ponornými vibrátory jsou horní výstupky provedeny v podélném směru přerušovaně, a to v délce 400 mm výstupek, dalších 400 mm bez výstupku s pravidelným opakováním.

Rozdíl oproti KA-61 je v typovém označení nosníků, to již není dle světlosti jako u KA-61 ale dle délky nosníku.

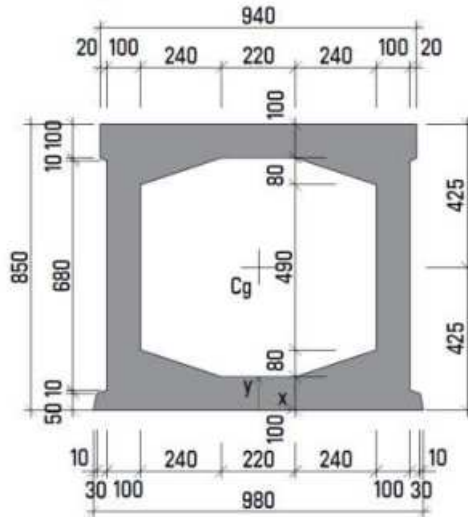
Typové délky nosníků:

Základní typová délka [m]	Délka nosníku [m]	Rozpětí [m]	Výška nosníku [m]	Váha nosníku [t]
9,0	8,96	8,4	0,45	6,49
10,0	9,96	9,4	0,60	8,04
11,0	10,96	10,4	0,60	8,84
12,0	11,96	11,4	0,60	9,65
13,0	12,96	12,4	0,70	11,12
14,0	13,96	13,4	0,70	11,95
15,0	14,96	14,4	0,70	12,79
16,0	15,96	15,4	0,85	14,90
17,0	16,96	16,4	0,85	15,83
18,0	17,96	17,4	0,85	16,74

Tab. 6 Typové délky nosníků KA-67

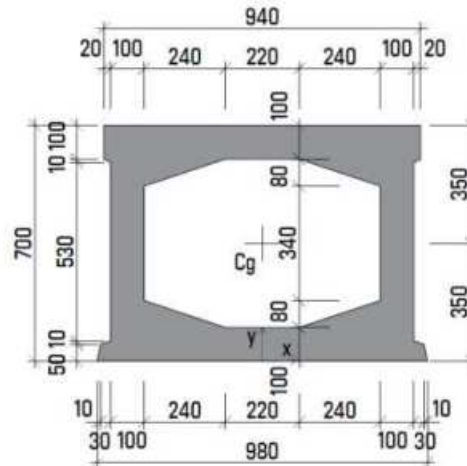
Průřezové charakteristiky:

Nosník KA-67 dl. 18,0 m
H = 0,85 m



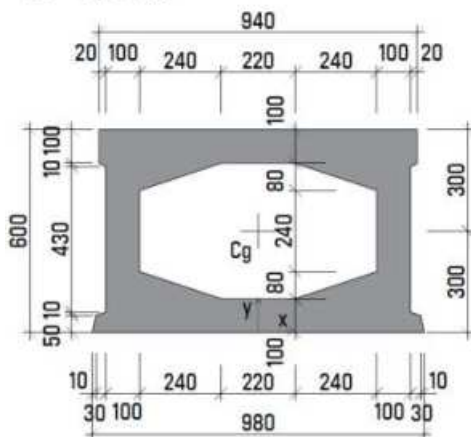
Plocha: $A = 0,3564 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,690 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,425 \text{ m}$
 Momenty
 setrvačnosti: $I_x = 0,03466 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03770 \text{ m}^4$

Nosník KA-67 dl. 15,0 m
H = 0,70 m



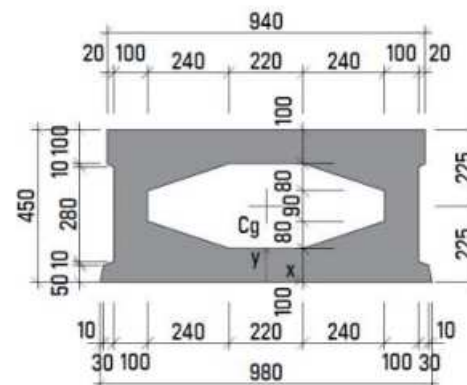
Plocha: $A = 0,3264 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,390 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,350 \text{ m}$
 Momenty
 setrvačnosti: $I_x = 0,02114 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03287 \text{ m}^4$

Nosník KA-67 dl. 12,0 m
H = 0,60 m



Plocha: $A = 0,3064 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,190 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,300 \text{ m}$
 Momenty
 setrvačnosti: $I_x = 0,01418 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,02965 \text{ m}^4$

Nosník KA-67 dl. 9,0 m
H = 0,45 m



Plocha: $A = 0,2764 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 2,890 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,225 \text{ m}$
 Momenty
 setrvačnosti: $I_x = 0,006588 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,024831 \text{ m}^4$

Obr. 20 Průřezové charakteristiky nosníků KA-67

Materiálové charakteristiky

Beton nosníku: B 500

$f_{ck,cube,7\ days}$		$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
400	39,2	500	49,0

Beton spár: B 330

$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]
330	32,4

Betonářská výztuž: 10 400 B

f_{yk}	
[kp/cm ²]	[MPa]
4079	400,0

Předpínací výztuž: hladký patentovaný drát Ø4,5 mm

Mez pevnosti		Mez průtažnosti 2,0 ‰		Zvýšená mez průtažnosti dle ČSN 73 2004	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
16500	1618,1	12000	1176,8	13500	1323,9

Postup napínání:

Kabely se napínaly ve dvou stupních. V prvním stupni se napnulo několik kabelů dle tabulek níže při dosažené pevnosti betonu 250 kp/cm² (24,5 MPa), za normálních podmínek po 2-3 dnech.

V druhém stupni se nejprve dopnuly kabely z prvního stupně a zbývající kabely na napětí zaručené meze průtažnosti 2,0 ‰ $f_{yk,2,0\ \text{‰}} = 12\ 000\ \text{kp/cm}^2$ (1176,8 MPa). Toto napětí se podrželo po dobu alespoň dvou minut, následně se dráty odlehčily alespoň na 2/3 tohoto napětí, tedy 8000 kp/cm² (784,5 MPa). Po tomto se kabely dopnuly na kotevní hodnoty. Pro minimalizování ztrát dotvarováním oceli se počkalo 5 minut a dopnulo opět na tuto hodnotu.

Kotevní napětí:

Délka nosníku 9,0 m		Napínání na 1. stupeň		Napínání na 2. stupeň	
Kabely	Počet drátů	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
1, 1'	8	1500	147	12000/13254	1177/1300
2, 2'	12			12000/13254	1177/1300
3, 3'	12	5200	510	12000/13254	1177/1300
4, 4'	12	5400	530	12000/13254	1177/1300
5, 5'	12			12000/13254	1177/1300
6, 6'	12			12000/13254	1177/1300

Délka nosníku 12,0 (11,10) m		Napínání na 1. stupeň		Napínání na 2. stupeň	
Kabely	Počet drátů	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
1, 1'	7	5500	539	12000/13254	1177/1300
2, 2'	12			12000/13254	1177/1300
3, 3'	12	5000	490	12000/13254	1177/1300
4, 4'	11			12000/13254	1177/1300
5, 5'	11	12000/13254	1177/1300		
6, 6'	11			12000/13254	1177/1300
7	11			12000/13254	1177/1300

Délka nosníku 15,0 (14,13) m		Napínání na 1. stupeň		Napínání na 2. stupeň	
Kabely	Počet drátů	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
1, 1'	6	6000	588	12000/13254	1177/1300
2, 2'	12			12000/13254	1177/1300
3, 3'	12	5500	539	12000/13254	1177/1300
4, 4'	12			12000/13254	1177/1300
5, 5'	12	12000/13254	1177/1300		
6, 6'	12			12000/13254	1177/1300
7, 7'	12			12000/13254	1177/1300

Délka nosníku 18,0 (17,16) m		Napínání na 1. stupeň		Napínání na 2. stupeň	
Kabely	Počet drátů	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
1, 1'	6	6000	588	12000/13254	1177/1300
2, 2'	12			12000/13254	1177/1300
3, 3'	12	6000	588	12000/13254	1177/1300
4, 4'	12			12000/13254	1177/1300
5, 5'	12	6000	588	12000/13254	1177/1300
6, 6'	11	6000	588	12000/13254	1177/1300
7, 7'	11	6000	588	12000/13254	1177/1300
8, 8'	11			12000/13254	1177/1300

Kabelové kanálky Ø32,0 mm. Dvě varianty provedení.

- Ocelovými bezešvými trubkami, které se po částečném zatvrdnutí betonu vytáhnou, bylo prověřeno i vytažení zakřivených trubek,
- plechová trubka krepovaná se šroubovým švem typu SANDRIK.

U všech nosníků se vyskytují dva druhy kotev, a to jedno otvorová a dvojotvorová pro ukotvení 20 drátů Ø4,5.

Vzepětí nosníků ve středu rozpětí dle výpočtových předpokladů:

Základní typová délka [m]	Vzepětí [mm]
9,0	9,0
12,0	11,8
15,0	17,9
18,0	22,4

2.7 Prefabrikovaný nosník KA-73

Výška, příčný řez a délka nosníků KA-73 je shodná s typem KA-67, takže nové nosníky byly vyráběny v do té doby původních formách pouze s úpravou čel.

Hlavní rozdíly:

- 1) Nosníky jsou rozděleny na tři druhy A, B, C:
 - Druh A: oba konce zesílením vyztužení umožňují kotvení mostních přechodových konstrukcí (dilatačních zařízení).
 - Druh B: bez zesílené výztuže v koncových částech, s výřezy v horní desce a upraveným průběhem kabelů, oba konce tak umožňují vytvoření bezdilatačního přechodu mostovky typu „táhlo-krycí deska“.
 - Druh C: jeden konec je jako u druhu A druhý jako u druhu B.
- 2) Nosníky délky 9,0 m byly vyráběny ve formě pro typovou délku 12,0 m, tj. s výškou 0,6 m.
- 3) Nosníky KA-73 mají oproti KA-67 menší počet předpínací výztuže PZ Ø4,5:
 - Nosníky délky 9,0 m: méně o 42 drátů, respektive o 2 kabely.
 - Nosníky délky 12,0 m: méně o 11 drátů, respektive o 1 kabel.
 - Nosníky délky 15,0 m: méně o 12 drátů.
 - Nosníky délky 18,0 m: méně o 18 drátů, respektive o 2 kabely.
- 4) Nosníky KA-73 jsou navrhnuté s konstantním příčným řezem po celé jejich délce bez náběhů v kotevní části, s přerušovaným horním výstupkem a uzavřenými třmínky pro příčné propojení.
- 5) Každý nosník KA-73 umožňuje umístění odvodňovače jak do spáry mezi nosníky, tak do středu jeho šířky.
- 6) Spodní výstupky nosníků KA-73 jsou zkosené tak, aby spára mezi nosníky, po jejich smontování, byla zvýrazněná.

Typové délky nosníků:

Základní typová délka [m]	Délka nosníku [m]	Rozpětí [m]	Výška nosníku [m]	Váha nosníku [t]
9,0	8,96	8,4	0,60	7,09
10,0	9,96	9,4	0,60	7,89
11,0	10,96	10,4	0,60	8,68
12,0	11,96	11,4	0,60	9,47
13,0	12,96	12,4	0,70	10,94
14,0	13,96	13,4	0,70	11,79
15,0	14,96	14,4	0,70	12,63
16,0	15,96	15,4	0,85	14,71
17,0	16,96	16,4	0,85	15,64
18,0	17,96	17,4	0,85	16,56

Tab. 7 Typové délky nosníků KA-73

Materiálové charakteristiky

Beton nosníku: B 500

$f_{ck,cube,7\ days}$		$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
400	39,2	500	49,0

Beton spár: B 330

$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]
330	32,4

Betonářská výztuž: 10 425

f_{yk}	
[kp/cm ²]	[MPa]
4200	411,9

Dovolené namáhání pro hlavní zatížení 2350 kp/cm² (230,5 MPa)

Předpínací výztuž: hladký patentovaný drát Ø4,5 mm

Mez pevnosti		Mez pružnosti 2,0 ‰		Zvýšená mez pružnosti dle ČSN 73 2004	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
16500	1618,1	12000	1176,8	13500	1323,9

Postup napínání:

Kabely se napínaly ve dvou stupních. V prvním stupni se napnulo několik kabelů dle tabulek níže při dosažené pevnosti betonu 250 kp/cm² (24,5 MPa), za normálních podmínek po 2-3 dnech.

V druhém stupni se nejprve dopnuly kabely z prvního stupně a zbývající kabely na napětí zaručené meze pružnosti 2,0 ‰ $f_{yk,2,0} ‰ = 12\ 000\ \text{kp/cm}^2$ (1176,8 MPa). Toto napětí se podrželo po dobu alespoň dvou minut, následně se dráty odlehčily alespoň na 2/3 tohoto napětí, tedy 8000 kp/cm² (784,5 MPa). Po tomto se kabely dopnuly na kotevní hodnoty. Pro minimalizování ztrát dotvarováním oceli se počkalo 5 minut a dopnulo opět na tuto hodnotu.

Kotevní napětí:

Délka nosníku 9,0 m		Napínání na 1. stupeň		Napínání na 2. stupeň	
Kabely	Počet drátů	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
1, 1'	7	5000	490	12000/13254	1177/1300
2, 2'	12			12000/13254	1177/1300
3, 3'	12	5000	490	12000/13254	1177/1300
4, 4'	8			12000/13254	1177/1300
5, 5'	8	5000	490	12000/13254	1177/1300

Délka nosníku 12,0 (11,10) m		Napínání na 1. stupeň		Napínání na 2. stupeň	
Kabely	Počet drátů	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
1, 1'	7	5500	539	12000/13254	1177/1300
2, 2'	12			12000/13254	1177/1300
3, 3'	12	5000	490	12000/13254	1177/1300
4, 4'	11			12000/13254	1177/1300
5, 5'	11	12000/13254	1177/1300		
6, 6'	11			12000/13254	1177/1300

Délka nosníku 15,0 (14,13) m		Napínání na 1. stupeň		Napínání na 2. stupeň	
Kabely	Počet drátů	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
1, 1'	6	6000	588	12000/13254	1177/1300
2, 2'	12			12000/13254	1177/1300
3, 3'	12	5500	539	12000/13254	1177/1300
4, 4'	12			12000/13254	1177/1300
5, 5'	12	12000/13254	1177/1300		
6, 6'	12			12000/13254	1177/1300
7, 7'	6			12000/13254	1177/1300

Délka nosníku 18,0 (17,16) m		Napínání na 1. stupeň		Napínání na 2. stupeň	
Kabely	Počet drátů	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
1, 1'	6	6000	588	12000/13254	1177/1300
2, 2'	12			12000/13254	1177/1300
3, 3'	12	6000	588	12000/13254	1177/1300
4, 4'	12			12000/13254	1177/1300
5, 5'	12	6000	588	12000/13254	1177/1300
6, 6'	12	6000	588	12000/13254	1177/1300
7, 7'	12	6000	588	12000/13254	1177/1300

Vzepětí nosníků ve středu rozpětí dle výpočtových předpokladů:

Základní typová délka [m]	Vzepětí při předpětí na 1. stupeň [mm]	Vzepětí při předpětí na 2. stupeň [mm]
9,0	19,6	28,4
12,0	20,7	42,5
15,0	19,5	53,5
18,0	19,3	58,8

Kabelové kanálky Ø32,0 mm. Dvě varianty provedení.

- Ocelovými bezešvými trubkami, které se po částečném zatvrdnutí betonu vytáhnou, bylo prověřeno i vytažení zakřivených trubek,
- plechová trubka krepovaná se šroubovým švem typu SANDRIK.

U všech nosníků se vyskytují dva druhy kotev, a to jedno otvorová a dvojotvorová pro ukotvení 20 drátů Ø4,5.

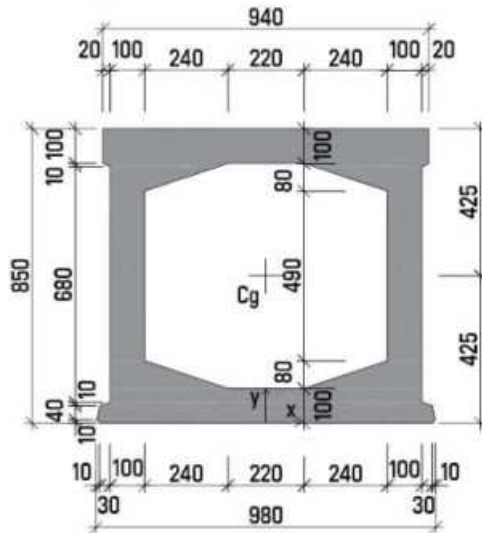
Uložení nosníků:

Mosty o jednom poli:

- uložení na lepenku – pouze u nosníků do 15,0 m, min. délka uložení v ose nosníku 0,4 m.
- uložení na gumová ložiska – vyztužená ložiska o rozměrech 1500/200 mm, výška dle výpočtu, každý nosník uložený na 2x2 = 4 ks ložisek
- uložení na ocelová ložiska – každý nosník uložen na dvě ložiska

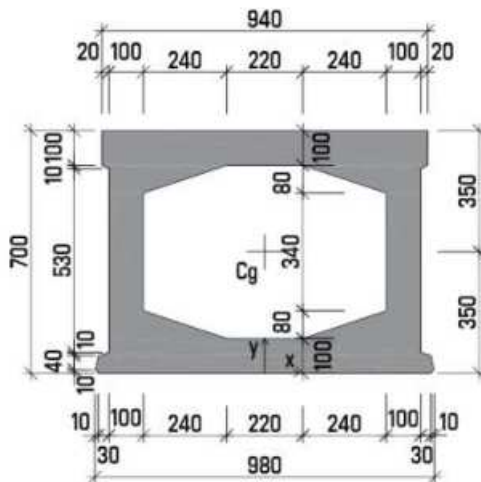
Průřezové charakteristiky:

Nosník KA-73 dl. 18,0 m
 H = 0,85 m



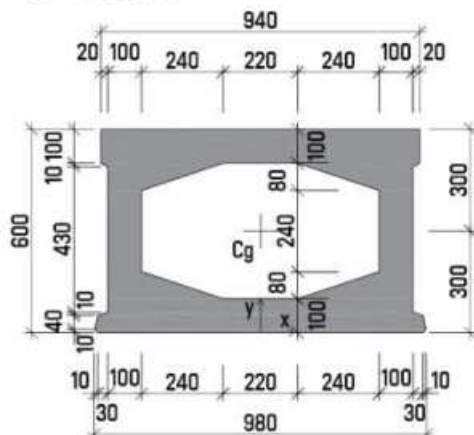
Plocha: $A = 0,3564 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,690 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,425 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,03466 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03770 \text{ m}^4$

Nosník KA-73 dl. 15,0 m
 H = 0,70 m



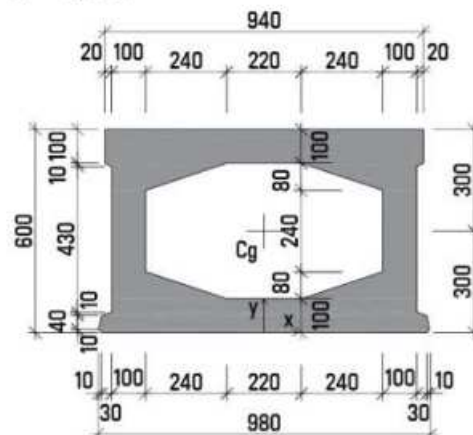
Plocha: $A = 0,3264 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,390 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,350 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,02114 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03287 \text{ m}^4$

Nosník KA-73 dl. 12,0 m
 H = 0,60 m



Plocha: $A = 0,3064 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,190 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,300 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,01418 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,02965 \text{ m}^4$

Nosník KA-73 dl. 9,0 m
 H = 0,6 m



Plocha: $A = 0,3064 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,190 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,300 \text{ m}$
 Momenty setrvačnosti: $I_x = 0,01418 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,02965 \text{ m}^4$

Obr. 21 Průřezové charakteristiky nosníků KA-73

2.8 Prefabrikovaný nosník KAS-73

Stejně jako byl cíl zefektivnit výrobu nosníků I-73 vznikem nosníků IS-73, podobná proměna byla provedena pomocí vzniku nosníků KAS-73.

Změny oproti KA-73:

1. Příčný řez je odlišný v rozměrech spodního výstupku, délky nosníků i počet a zásadní uspořádání kabelů zůstávají stejné.
2. Pro příznivější roznášení soustředěného tlaku v čele nosníků jsou kotvy kabelů spodní desky posunuty v rohových náběžích směrem nahoru.
3. Na základě příznivých výsledků podrobných zatěžovacích zkoušek na modelech 1:1 je příčná výztuž pro spojení nosníků v podélných sparách Ø V 12 místo Ø V 14 a podélná výztuž v těchto sparách Ø V 12 místo Ø V 10.
4. V souvislosti s bodem 3 byl pro bezpečné zachycení smykových sil v podélných sparách od nahodilého zatížení spodní ozub nosníků zvýšen na 11 cm a upraven tak, aby při běžné osové vzdálenosti 100 cm místo bednění dřevěnými prkny nebo trubkami mohla být spára 2 cm utěsněna molitanovými pásky, provazem nebo těsnícími profily z umělých hmot. Odpadlo tak odbedňování, vyspravení spár a budování lešení.
5. Pro zajištění správné polohy kabelových kanálků byly vykresleny rozdělovací mřížky pro nosníky všech skladebných délek.

Typy nosníků

Základní typová délka [m]	Délka nosníku [m]	Rozpětí [m]	Výška nosníku [m]	Váha nosníku [t]
9,0	8,96	8,4	0,60	7,09
10,0	9,96	9,4	0,60	7,89
11,0	10,96	10,4	0,60	8,68
12,0	11,96	11,4	0,60	9,47
13,0	12,96	12,4	0,70	10,94
14,0	13,96	13,4	0,70	11,79
15,0	14,96	14,4	0,70	12,63
16,0	15,96	15,4	0,85	14,71
17,0	16,96	16,4	0,85	15,64
18,0	17,96	17,4	0,85	16,56

Tab. 8 Typové délky nosníků KAS-73

Materiálové charakteristiky

Beton nosníku: B 500

$f_{ck,cube,7\ days}$		$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
400	39,2	500	49,0

Beton spár: B 330

$f_{ck,cube,28\ days}$	
[kp/cm ²]	[MPa]
330	32,4

Betonářská výztuž:

KARI síť ocel 11 373

mez pevnosti		mez průtažnosti		mez pevnosti	
[kp/mm ²]	[MPa]	[kp/mm ²]	[MPa]	[kp/mm ²]	[MPa]
55	550,0	50	500,0	28	280,0

Pruty betonářské výztuže 10 425

f_{yk}	
[kp/cm ²]	[MPa]
4200	411,9

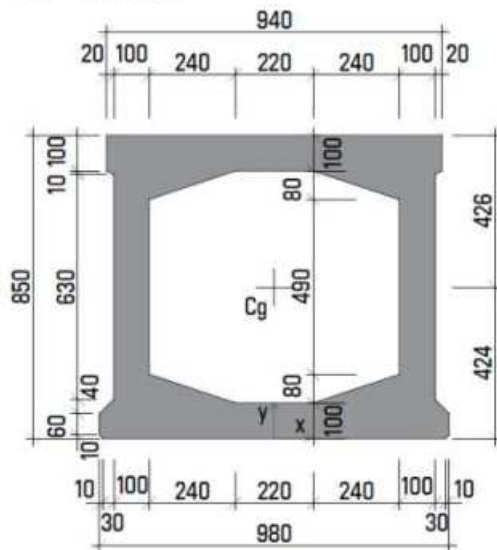
Předpínací výztuž: hladký patentovaný drát Ø4,5 mm

Mez pevnosti		Mez průtažnosti 2,0‰		Zvýšená mez průtažnosti dle ČSN 73 2004	
[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]	[kp/cm ²]	[MPa]
16500	1618,1	12000	1176,8	13500	1323,9

Postup napínání:

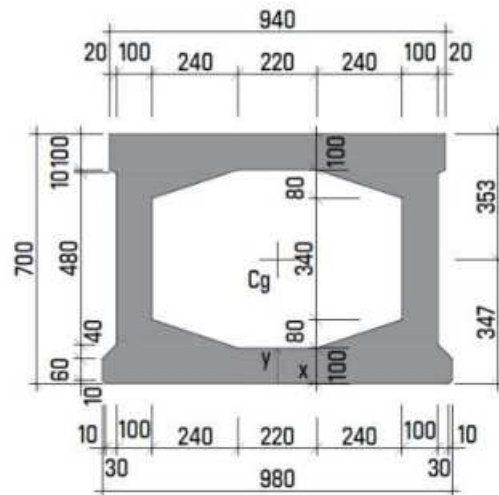
Postup napínání a kotevní napětí identické jako u nosníků KA-73.

Nosník KAS-73 dl. 18,0; 17,0; 16,0 m
H = 0,85 m



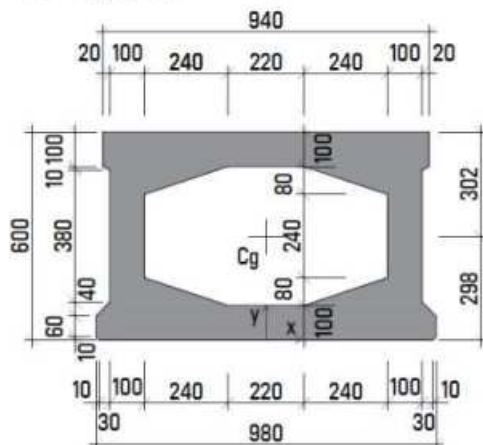
Plocha: $A = 0,3597 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,666 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,424 \text{ m}$
 Momenty
 setrvačnosti: $I_x = 0,03508 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03843 \text{ m}^4$

Nosník KAS-73 dl. 15,0; 14,0; 13,0 m
H = 0,70 m



Plocha: $A = 0,3297 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,366 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,347 \text{ m}$
 Momenty
 setrvačnosti: $I_x = 0,02140 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03360 \text{ m}^4$

Nosník KAS-73 dl. 12,0; 11,0; 10,0; 9,0 m
H = 0,60 m



Plocha: $A = 0,3097 \text{ m}^2$
 Obvod: $O = 3,166 \text{ m}$
 Těžiště: $X = 0,000 \text{ m}$
 $Y = 0,298 \text{ m}$
 Momenty
 setrvačnosti: $I_x = 0,01436 \text{ m}^4$
 $I_y = 0,03038 \text{ m}^4$

Obr. 22 Průřezové charakteristiky nosníků KAS-73

3. ZÁVĚR

Tato příloha slouží pro snadnou identifikaci nepoužívanějších tyčových prefabrikátů I a KA, popsány jsou jejich základní odlišnosti, které vznikaly v průběhu optimalizace nosníků v čase. Tuto přílohu je vhodné použít pro diagnostické práce v kombinaci s typovými listy jednotlivých nosníků a také pro následné vyhodnocení zatížitelnosti a únosnosti mostu.

V Brně dne 6. 12. 2023

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

(autorizovaný inženýr pro obor mosty a inženýrské konstrukce)

Ing. Martin Olšák

Ing. Adam Svoboda

4. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Průřezové charakteristiky nosníků I-62	6
Obr. 2 Čelo nosníku I-62 délky 27,0 m.....	6
Obr. 3 Propojení nosníků I-62 podélnými spárami mezi spodní a horní přírubou nosníků	7
Obr. 4 Pohled na krajní nosníky I-62, výrazné vzepětí středního pole	7
Obr. 5 Průřezové charakteristiky nosníků I-67	10
Obr. 6 Průřezové charakteristiky nosníků I-73	13
Obr. 7 Pohled na čelo nosníku I-73 dl. 24,0 m.....	15
Obr. 8 Pohled vnější nosník I-73 dl. 27,0 m	15
Obr. 9 Průřezové charakteristiky nosníků IS-73.....	19
Obr. 10 Pohled na nosník IS-73	19
Obr. 11 Pohled na spodní líc nosníků IS-73	20
Obr. 12 Průřezové charakteristiky nosníků KA-61	24
Obr. 13 Použití nosníků KA-61 dl. 21,0 m, most na silnici II/272 v Lysé nad Labem, výstavba mostu 1968-1973 (Demolice a výstavba nového mostu proběhla v roce 2018). Zdroj: https://silnice-zeleznice.cz/silnicni-infrastruktura/ii-272-lysa-nad-labem-rekonstrukce-mostu-ev-c-272-006-102	26
Obr. 14 Použití nosníků KA-61 výšky 0,85 m, most ČS mládeže v Ostravě, dnešní ulice Plzeňská, výstavba mostu 60. léta (Demolice a výstavba nového mostu proběhla v roce 2017). Zdroj: www.betontks.cz	26
Obr. 15 Použití nosníků KA-61 výšky 0,85 m, most ČS mládeže v Ostravě, tradiční podpěra z několika úzkých pilířů a horního příčnicku, výstavba mostu 60. léta (Demolice a výstavba nového mostu proběhla v roce 2017). Zdroj: www.betontks.cz	27
Obr. 16 Čelo nosníku KA-61 dl. 10,6 m	28
Obr. 17 Uložení nosníků KA-61 dl. 10,6 m na úložném prahu opěry.....	28
Obr. 18 Čelo nosníku KA-61 dl. 16,6 m	29
Obr. 19 Uložení nosníků KA-61 dl. 16,6 m na úložném prahu opěry.....	29
Obr. 20 Průřezové charakteristiky nosníků KA-67	31
Obr. 21 Průřezové charakteristiky nosníků KA-73	38
Obr. 22 Průřezové charakteristiky nosníků KAS-73.....	41
Tab. 1 Typové délky nosníků I-62	4
Tab. 2 Typové délky nosníků I-67	8
Tab. 3 Typové délky nosníků I-73	11
Tab. 4 Typové délky nosníků IS-73	16
Tab. 5 Typové délky nosníků KA-61	21
Tab. 6 Typové délky nosníků KA-67	30
Tab. 7 Typové délky nosníků KA-73	35
Tab. 8 Typové délky nosníků KAS-73	39



Vysoké učení technické v Brně

Antonínská 548/1, 602 00 Brno

&



Link projekt s.r.o.

Makovského náměstí 3147/2, 616 00 Brno

Metodika pro posouzení zbytkové únosnosti předpjatých mostů

Příloha 3

**Experimentální ověření míry soudržnosti
předpínacích drátů s injektáží kabelového kanálku**

Identifikační č.: **CK01000042-V1**

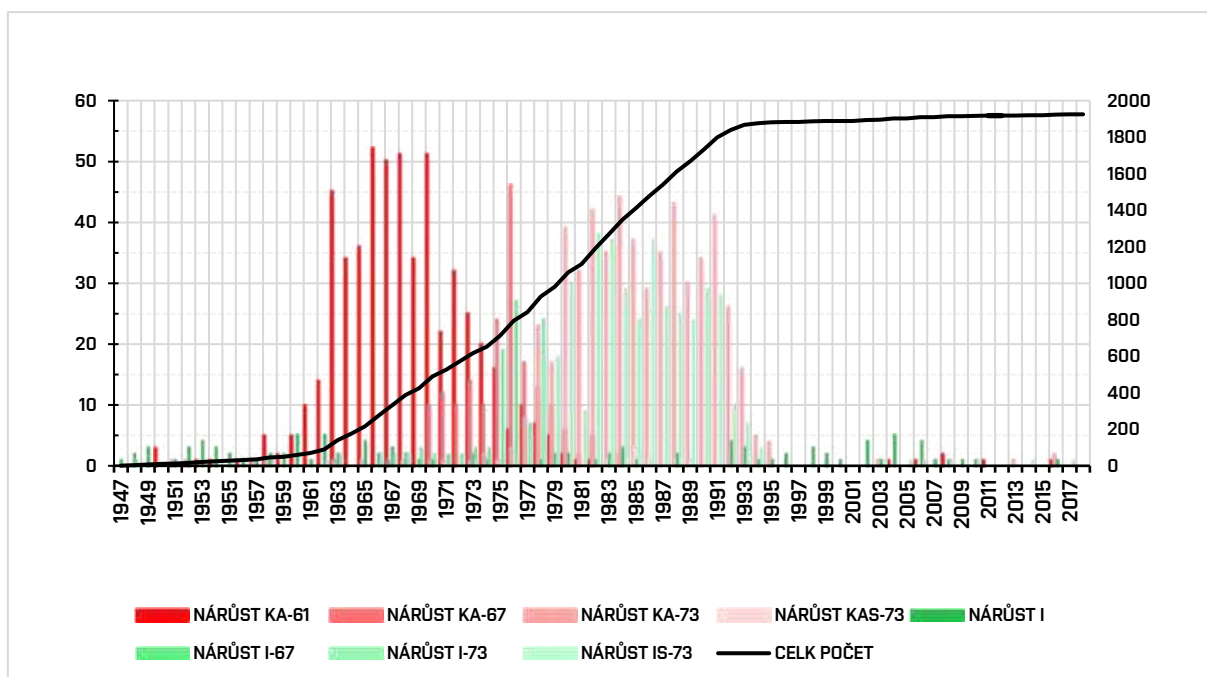
Datum: **6. 12. 2023**

OBSAH:

1.	Úvod.....	3
2.	Metodika experimentálního měření.....	5
3.	Experimentální měření.....	10
3.1	Most ev. č. 52-059 – nosník I-73.....	10
3.1.1	Realizace měření.....	13
3.1.2	Výsledky měření jednotlivých drátů.....	25
4.	Upřesnění vyhodnocení pokluzů drátů.....	27
4.1	Rozbor problému.....	29
4.2	Zpřesnění posunu v přerušovací sondě.....	30
4.3	Průměrné posunutí drátů celého kabelu.....	31
5.	Závěr.....	33
6.	Použitá literatura a podklady.....	34
7.	Seznam obrázků a tabulek.....	34

1. ÚVOD

Na silniční síti v ČR je k roku 2020 cca 2600 mostů zhotovených z tyčových dodatečně předpjatých prefabrikovaných nosníků (nejčastěji KA a I), které byly v ČR vybudovány mezi lety 1960-1990 (Obr. 1). Odhaduje se, že další desítky až stovky těchto typových mostů jsou ve vlastnictví a správě měst a obcí [1].



Obr. 1 Graf nárůstů a počtu mostů z tyčových prefabrikovaných nosníků typu KA a I v ČR [1]

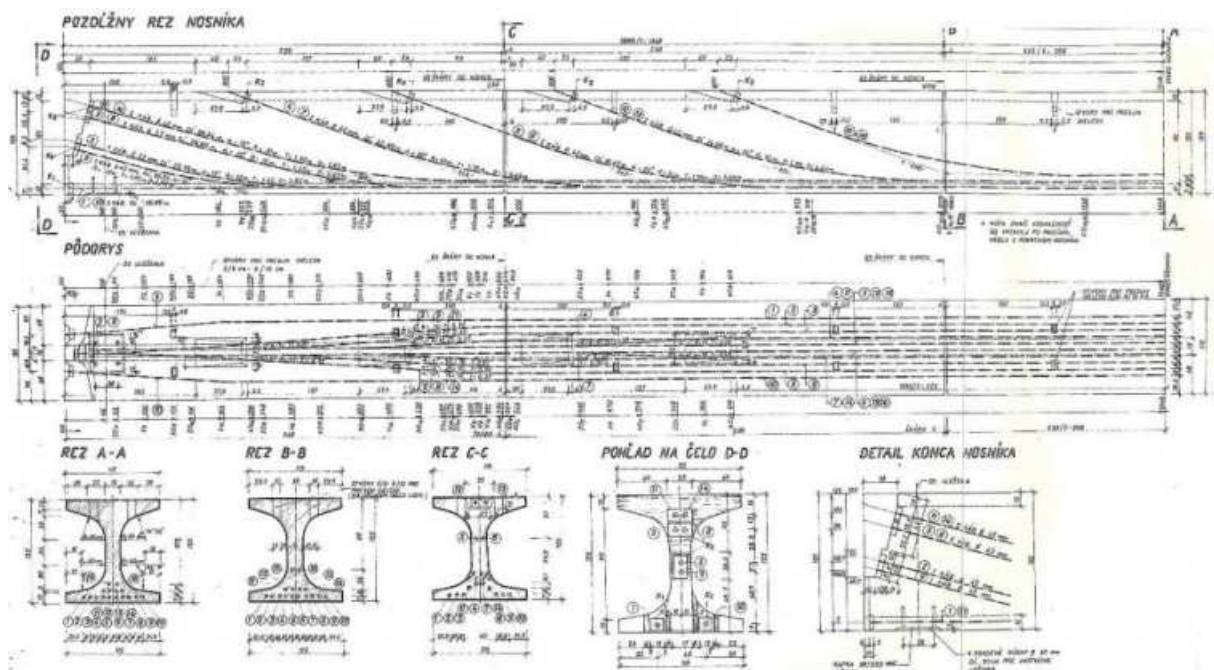
Mosty z tyčových prefabrikátů se vyznačují předpínací soustavou z drátových kabelů zhotovených z patentovaných drátů, nejčastěji s označením Pz ϕ 4,5 mm. Celá předpínací soustava se skládá z kabelů průběžných, které jsou kotveny v čelech nosníků, a z kabelů neprůběžných, které jsou kotveny v kotevních sklípcích připravených na horní ploše prefabrikátů. Předpínací soustava těchto nosníků byla během navrhování koncipována podle zásad vyrovnání účinků zatížení a použitím množství zvedaných kabelů redukovala smykové namáhání nosníků do té míry, že vyztužení nosníků na smyk a kroucení je prakticky pouze konstrukční [2].

Kabely prefabrikovaných nosníků z 50. až 80. let jsou zpravidla chráněny zásaditým prostředím injektážní malty napouštěné jednou kotvou na konci nosníku skrze kabelový kanálek k protilehlé kotvě kabelu [2]. Relativně velké množství poruch předpínacích kabelů, které byly diagnostikovány v posledních deseti až dvaceti letech v kotevní oblasti, jsou dokladem ne vždy precizního provedení během výstavby a jsou rovněž příčinou častých výroků o snesení takových mostů a o jejich nahrazení konstrukcemi novými, i když stáří těchto konstrukcí je 50 až 60 let a zdaleka nedosáhly dříve odhadované životnosti 100 let.

V případech, kdy je podrobnou diagnostikou předpínací výtzuže zastižena koroze kabelů v koncových oblastech nosníků (v blízkosti kotev), zatímco v dalších částech mostu jsou kabely řádně zainjektovány, vzniká otázka, jaké je vlastně skutečné oslabení nosníků. Již

od počátku předpjatého betonu se předpokládá, že injektáž kabelů má kromě ochranné funkce také zajistit plnou soudržnost kabelů s betonem nosníků do té míry, aby s nimi bylo možné uvažovat při stanovení tzv. mezního stavu únosnosti a aby bylo zajištěno náhradní zakotvení kabelů v případech, kdy během života konstrukce selže zakotvení kabelů v původních kotvách.

Je tedy účelné zkoumat skutečnou náhradní kotevní délku původních předpínacích kabelů, ze které bude následně možné odvodit návrhovou kotevní délku pro dodatečné posouzení takto poškozených nosníků, resp. mostů (použitím bezpečnostního součinitele, statistickými metodami při dostatečně velkém počtu zkoušek apod.). Přitom je také nezbytné stanovit kvalitu původní injektáže a alespoň základní mechanickou charakteristiku – pevnost injektážní malty.



Obr. 2 Výňatek z TP prefabrikovaného nosníku typu I-73 [2]

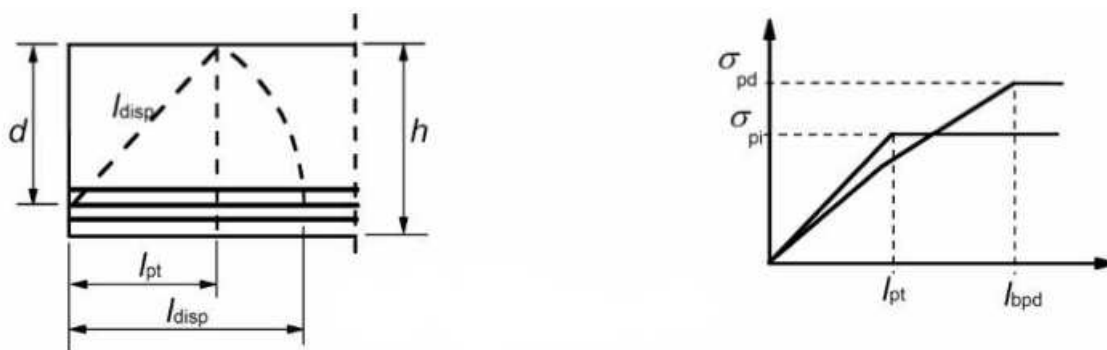
Výzkumní pracovníci z Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně během řešení projektu CK01000042 navrhli metodiku experimentu prováděného in situ, která ke sledování měřené veličiny, tj. pokluzu drátů kabelu v injektážní maltě, využívá optických zařízení, které snímají obraz během provádění řízeného porušení předpínací výztuže (simulace překorodování výztuže) v předem definovaných místech po délce kabelu. Dle navrhované metodiky pak vyhodnocení experimentu probíhá na základě rozboru obrazových materiálů pomocí softwaru.

Hlavním cílem experimentálních měření na skutečných nosnících je kvalifikovaně zodpovědět frekventovanou otázku, která doposud nebyla řešena, a sice „Jaká je skutečná kotevní délka překorodované plně zainjektované předpínací výztuže a do jaké míry lze ve statických výpočtech uvažovat spolehlivé zakotvení takto porušené předpínací výztuže?“.

2. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

Navržená metodika pro měření reálné kotevní délky předpínací výztuže in situ využívá ke sledování měřené veličiny, tj. pokluzu drátů kabelu v injektážní maltě, optických zařízení, které snímají obraz během provádění řízeného porušení předpínací výztuže (simulace překorodování výztuže v koncových oblastech nosníku) v předem definovaných místech po délce kabelu. Vyhodnocení experimentu poté probíhá na základě rozboru obrazových dat.

V přípravné fázi experimentu je nutné definovat místa po délce kabelu, ve kterých bude prováděn odečet pokluzu předpínací výztuže. Pro odhad očekávaného dosahu kotevní délky byla využita metodika výpočtu kotevní délky předpínací výztuže předem předpjatého prvku podle ČSN EN 1992-1-1 [3] - výpočet tzv. přenášecí délky l_{pt} předpínací výztuže – délka, v níž se předpínací síla plně přenese do betonu [3].



Obr. 3 Délkové parametry přenosu předpínací síly do betonu dle [3]

S ohledem na vyztužení zkoumaného nosníku je poté nutné v definovaných místech po délce odhadované přenášecí délky předpínací výztuže otevřít semi-destruktivní sondy.



Obr. 4 Označení míst pro otevření SDT sond

Semidestruktivní sondy k předpínací výztuži tvoří na zkoumaném prvku místa pro odečet měřené veličiny. Sondy musí být provedeny tak, aby byly odhaleny jednotlivé dráty kabelu a zároveň aby nedošlo k velkému narušení soudržnosti mezi jednotlivými dráty kabelu a injektážní maltou, které by ovlivnilo výsledek měření. Doporučený rozměr (profil) sond s ohledem na sběr dat pomocí optických zařízení je min. 40 mm. V sondách musí být odstraněna chránička tvořená zpravidla SANDRIK trubkou a musí být obnaženy krajní dráty kabelu. Doporučeným způsobem pro vytvoření semidestruktivních sond je vrtání s přiklepem s využitím vrtáků s tvrdokovovou vrtací korunkou (Obr. 5).



Obr. 5 Vrtání semidestruktivních sond pro experimentální měření

Do prostoru sond je nutné vlepít (nebo i jinak trvale nainstalovat) pomocná měřítka, která během vyhodnocení slouží ke kalibraci měřených vzdáleností pokluzu. Pomocná měřítka jsou umístěna jednak do prostoru měření přímo na drát předpínací výztuže, ale taky do prostoru sond, které nebudou přímo ovlivněny vyvolanou délkovou změnou výztuže. Pomocí těchto měřítka je následně možné přesné softwarové překrytí získaných obrazových materiálů za současné kalibrace měřítka pro měření pokluzu ve vhodných délkových jednotkách. Aplikace pomocných měřítka je ukázána na Obr. 6.

Pro vlastní měření jsou využity digitální fotoaparáty (optická zařízení), které jsou instalovány pomocí stativů do stabilních pozic k SDT sondám po délce realizace měření (Obr. 7). Předpokladem pro úspěšné měření pomocí optických zařízení je dodržení stálých světelných podmínek a vzdálenosti mezi objektivem a měřenými dráty předpínacího kabelu.



Obr. 6 Pohled do otevřené SDT sondy s odhalenými dráty předpínací výztuže a s vlepenými kalibračními měřítky



Obr. 7 Digitální fotoaparáty v pozicích během měření pokluzu drátů

Řízené přerušení výztuže, které iniciuje pokluz drátů, je prováděno v předem definovaném místě úhlovou bruskou (místo přerušení je označeno jako místo $\Delta 000$). Důležitým parametrem pro následné vyhodnocení měření je tloušťka brusného kotouče, která se musí před zahájením experimentu změřit a zaznamenat. O tuto hodnotu je poté nutné upravit naměřené hodnoty pokluzu drátů v místě přerušení (Obr. 8).



Obr. 8 Pohled na místo přerušení výztuže s přiloženou úhlovou bruskou s kotoučem tloušťky 3,2 mm

Metodika měření je založena na snímání obrazu předpínacích drátů digitálními fotoaparáty v otevřených sondách před a po řízeném porušení předpínacího kabelu pomocí úhlové brusky a na vzájemném porovnání obrazových materiálů – rozbor obrazu pomocí softwaru umožňující změnu měřítka a překryv fotografií. Během procesu zpracování obrazových materiálů jsou u jednotlivých dvojic fotografií (stav před a po porušení) nalezeny společné znaky na úrovni jednotlivých pixelů, díky kterým je možné vyhodnotit změnu stavu zachycenou v sondě (pokluz drátů).

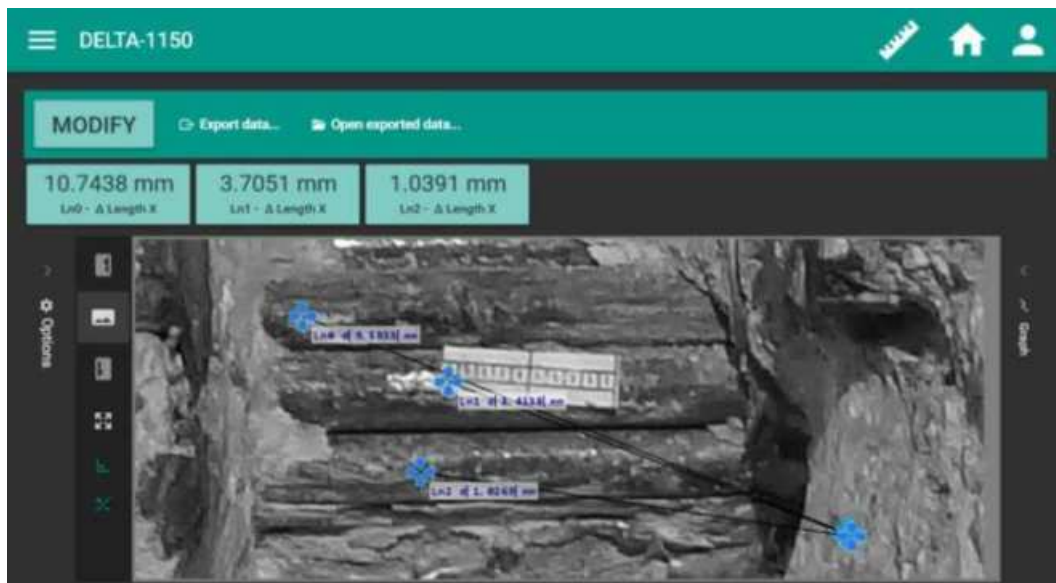


Obr. 9 Ukázka obrazového materiálu z měření pokluzu předpínací výztuže. Vlevo je zobrazen stav před uvolněním napětí, vpravo stav po uvolnění napětí (po realizovaném pokluzu)

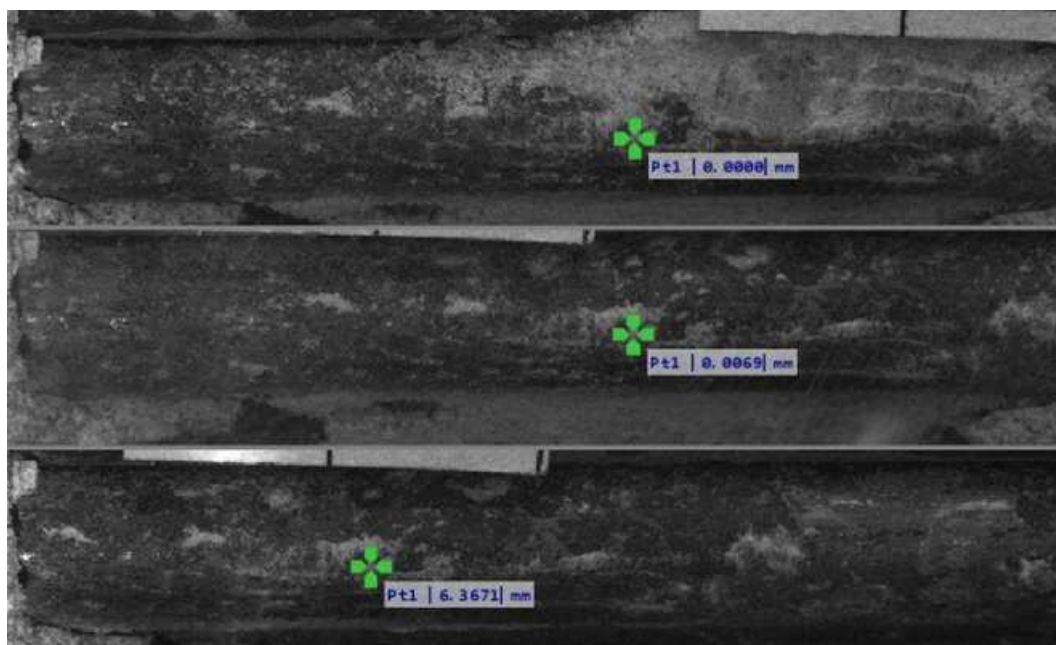
Jednotlivá měření zjištěných změn délek jednotlivých drátů jsou zaznamenána do tabulky pro vyhodnocení pokluzu. Měření každého drátu bylo opakováno pro minimalizaci chyby měření.

Získané výsledné hodnoty pokluzů jsou poté vyneseny do grafů, ze kterých lze následně měření vyhodnotit a stanovit tak reálnou změřenou kotevní délku drátové předpínací výztuže dle uvedené metodiky.

Vyhodnocení jednotlivých pokluzů je také možné provést pomocí plně automatizovaného softwaru pro rozbor obrazových dat např. pomocí metody „two-step digital image correlation“ v softwaru Alpha od firmy X-Sight (Obr. 10 a Obr. 11).



Obr. 10 Softwarový post-processing měření pokluzů (X-Sight Alpha)



Obr. 11 Softwarový post-processing měření pokluzů (X-Sight Alpha)

3. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

3.1 Most ev. č. 52-059 – nosník I-73

Za účelem vědeckého zkoumání byl během demolice mostu ev. č. 52-059 Most přes přelivný objekt za obcí Pasohlávky získán původní předpjatý mostní prefabrikovaný nosník typu I-73 dl. 27 m (Obr. 12 a Obr. 13).

Tento nosník tvořil v příčném řezu, spolu s dalšími 7 ks předpjatých prefabrikovaných nosníků (s podélnými spárami šířky 0,43 m), původní konstrukci mostu ev. č. 52-059 Most přes přelivný objekt za obcí Pasohlávky od roku 1979. V podélném směru měl most 4 pole, všechny byly tvořeny předpjatými nosníky I-73 dl. 27 m – zkoumaný nosník pocházel z prvního pole ve směru od Mikulova, v příčném řezu byl pravým vnějším nosníkem. Pro navržené experimenty byl záměrně vybrán krajní nosník, protože s ohledem na příčný sklon převáděných komunikací bývají krajní nosníky zpravidla nejvíce zasaženy zatékáním a dalšími navazujícími degradačními procesy.



Obr. 12 Most ev. č. 52-059 během demolice



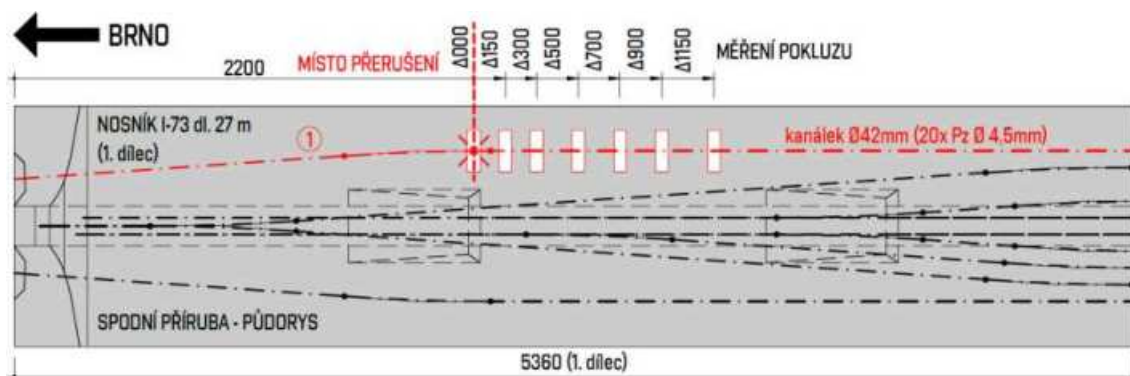
Obr. 13 Vybraný krajní nosník 1 pole mostu ev. č. 52-059



Obr. 14 Pohled na zkoumaný nosník během provádění experimentálních měření kotevní délky

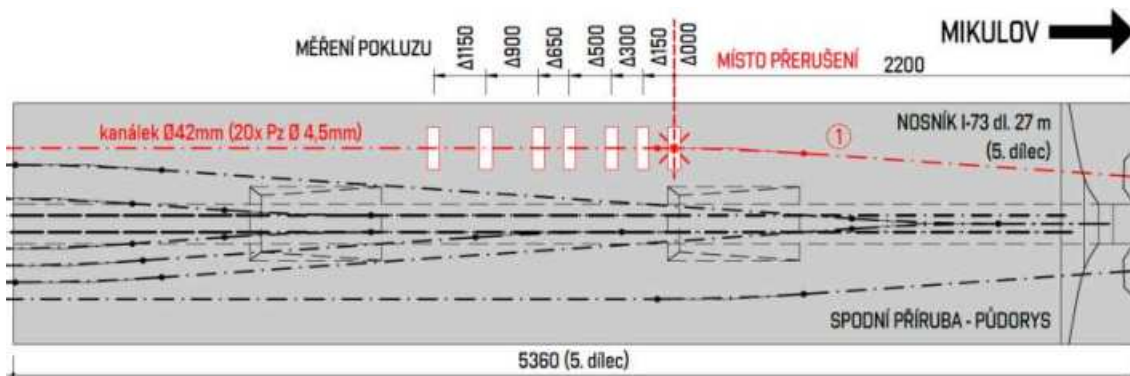
Na nosníku byly celkem navrženy a provedeny tři experimentální měření kotevní délky předpínací výztuže s následujícím označením:

- EXP1** Měření kotevní délky průběžného přímého kabelu nosníku I-73 (dle [2] kabel č. 1), který je vedený ve spodní přírubě nosníku (Obr. 15). Experiment byl připraven ve vzdálenosti 2,2-3,315 m od kotevní oblasti nosníku na straně ve směru na Brno. Pokluz drátů byl měřen v 6 místech vzdálených od místa porušení o 150, 300, 500, 700, 900 a 1150 mm.



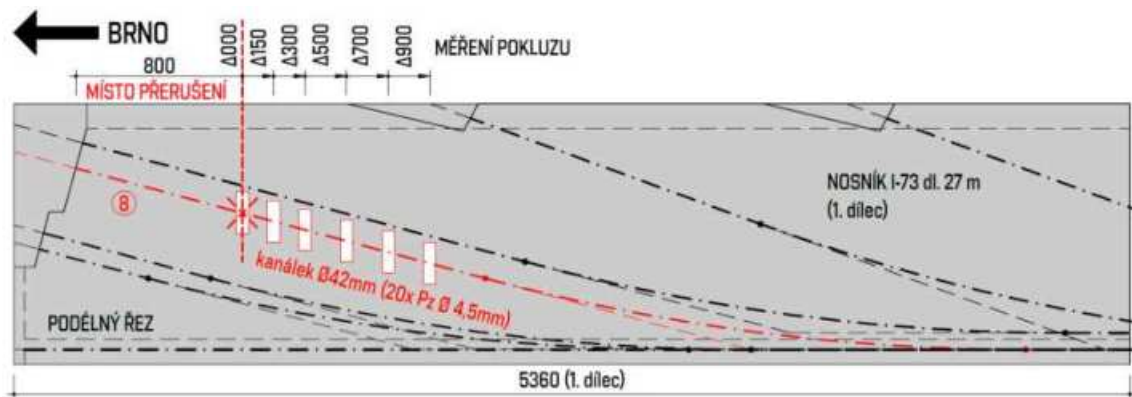
Obr. 15 Schéma experimentálního měření kotevní délky přímého kabelu – EXP1

- EXP2** Měření kotevní délky stejného průběžného přímého kabelu nosníku I-73 jako v případě EXP1, ale experiment byl umístěn v blízkosti kotevní oblasti na straně od Mikulova opět ve vzdálenosti 2,2-3,315 m od okraje nosníku (Obr. 16). Experiment byl navržen symetricky k experimentu EXP1 s osou symetrie vedenou uprostřed rozpětí nosníku. Pokluz drátů byl měřen v 6 místech vzdálených od místa porušení o 150, 300, 500, 650, 900 a 1150 mm.



Obr. 16 Schéma experimentálního měření kotevní délky přímého kabelu – EXP2

- EXP3** Měření kotevní délky průběžného zvedaného kabelu nosníku I-73 (dle [2] kabel č. 8), který je zakotven ve stojně nosníku (Obr. 17), kterou po délce prochází v zakřivené trajektorii složené z přímého úseku a z oblouku $R = 10$ m a ve vzdálenosti 4,86 m od okraje nosníku přechází z oblouku do přímého úseku vedeného ve spodní přírubě nosníku. Experimentální měření bylo situováno do blízkosti oblasti zakotvení ve vzdálenosti 0,8-1,7 m. Pokluz drátů byl měřen v 5 místech vzdálených od místa porušení o 150, 300, 500, 700 a 900 mm.



Obr. 17 Schéma experimentálního měření kotevní délky zvedaného kabelu – EXP3

3.1.1 Realizace měření

3.1.1.1 EXP1 – PŘÍMÝ KABEL

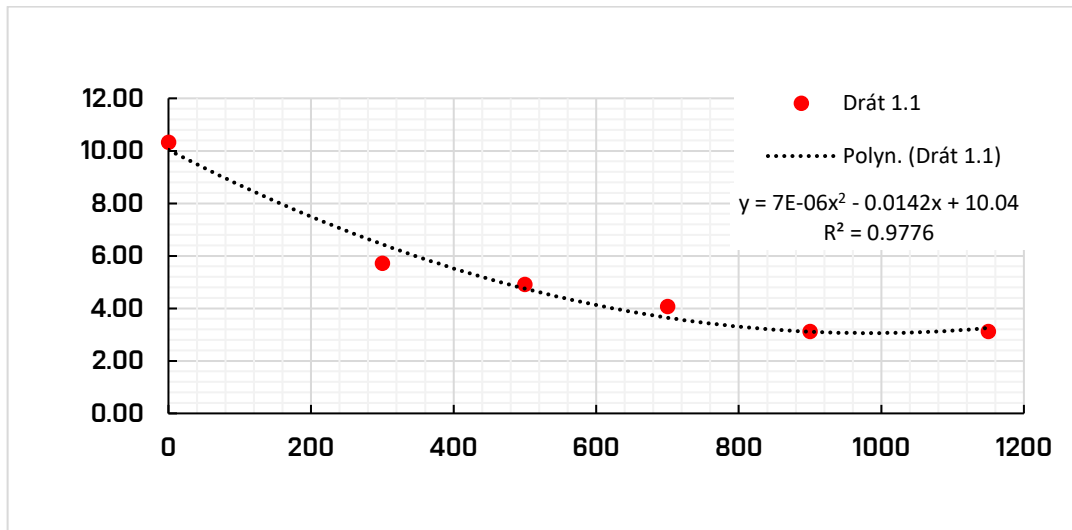
Měření kotevní délky průběžného přímého kabelu nosníku I-73 (dle [2] kabel č. 1), který je vedený ve spodní přírubě nosníku (viz Obr. 15). Experiment byl připraven ve vzdálenosti 2,2-3,315 m od kotevní oblasti nosníku na straně ve směru na Brno.

Pokluz drátů byl měřen v 6 místech vzdálených od místa porušení o 150, 300, 500, 700, 900 a 1150 mm. Odhaleny a měřeny byly celkem 2 dráty – ozn. 1.1 a 1.2.

Drát 1.1

	$\Delta 000$ mm	$\Delta 000$ mm UPRAV	$\Delta 300$ mm	$\Delta 500$ mm	$\Delta 700$ mm	$\Delta 900$ mm	$\Delta 1150$ mm
x	0	0	300	500	700	900	1150
1	13.368	10.168	5.697	4.799	4.056	3.112	3.185
2	13.633	10.433	5.716	4.951	4.053	3.137	3.136
3	12.552	9.352	5.754	4.928	4.113	3.135	3.185
4	13.697	10.497	5.683	4.843	4.086	3.182	3.088
5	13.691	10.491	5.732	4.907	4.082	3.112	3.210
6	13.858	10.658	5.716	4.929	4.037	3.137	3.112
7	14.545	11.345	5.729	4.928	4.069	3.135	3.088
8	13.400	10.200	5.708	4.843	4.067	3.135	2.966
9	12.593	9.393	5.700	4.930	4.040	3.090	2.968
10	13.870	10.670	5.730	4.993	4.056	3.044	3.185
průměr	13.521	10.321	5.717	4.905	4.066	3.122	3.112
smodch	0.596	0.596	0.021	0.059	0.023	0.036	0.088
cov	4.41 %	5.77 %	0.36 %	1.20 %	0.57 %	1.16 %	2.82 %

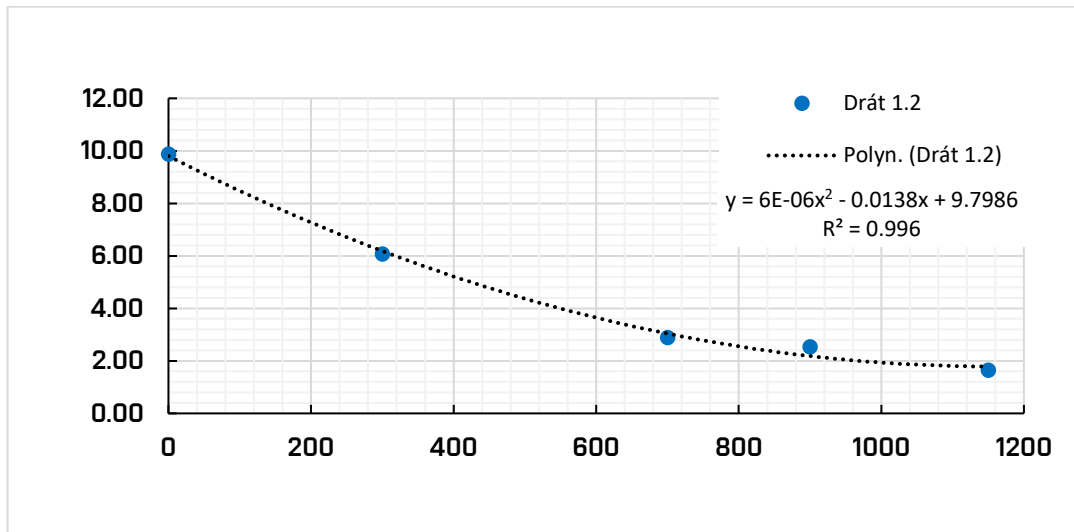
Tab. 1 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 1.1



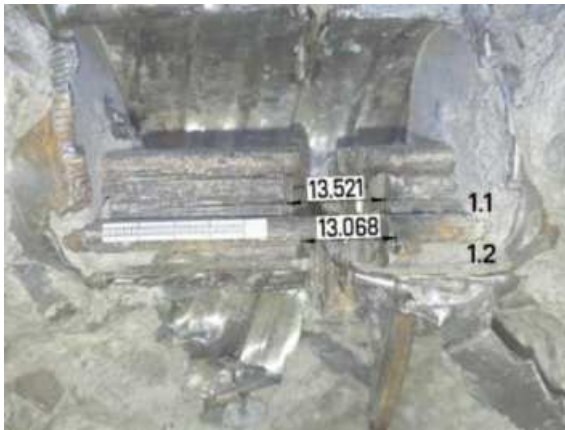
Obr. 18 Graf průběhu pokluzu drátu 1.1

Drát 1.2							
	$\Delta 000$ mm	$\Delta 000$ mm UPRAV	$\Delta 300$ mm	$\Delta 500$ mm	$\Delta 700$ mm	$\Delta 900$ mm	$\Delta 1150$ mm
x	0	0	300	500	700	900	1150
1	12.874	9.674	6.107		2.863	2.520	1.649
2	13.208	10.008	6.111		2.895	2.517	1.601
3	13.088	9.888	6.047		2.869	2.534	1.624
4	12.845	9.645	6.011		2.898	2.537	1.624
5	12.912	9.712	6.066		2.909	2.545	1.575
6	13.703	10.503	6.128		2.894	2.528	1.674
7	12.482	9.282	5.985		2.906	2.543	1.674
8	13.249	10.049	6.065		2.850	2.508	1.674
9	12.812	9.612	6.067		2.894	2.544	1.697
10	13.505	10.305	6.130		2.854	2.543	1.624
průměr	13.068	9.868	6.072		2.883	2.532	1.642
smodch	0.360	0.360	0.049		0.022	0.013	0.038
cov	2.76%	3.65%	0.80%		0.76%	0.52%	2.34%

Tab. 2 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 1.2



Obr. 19 Graf průběhu pokluzu drátu 1.2



Obr. 20 EXP1 – Δ000



Obr. 21 EXP1 – Δ300



Obr. 22 EXP1 – Δ500



Obr. 23 EXP1 – Δ700



Obr. 24 EXP1 – Δ900



Obr. 25 EXP1 – Δ1150

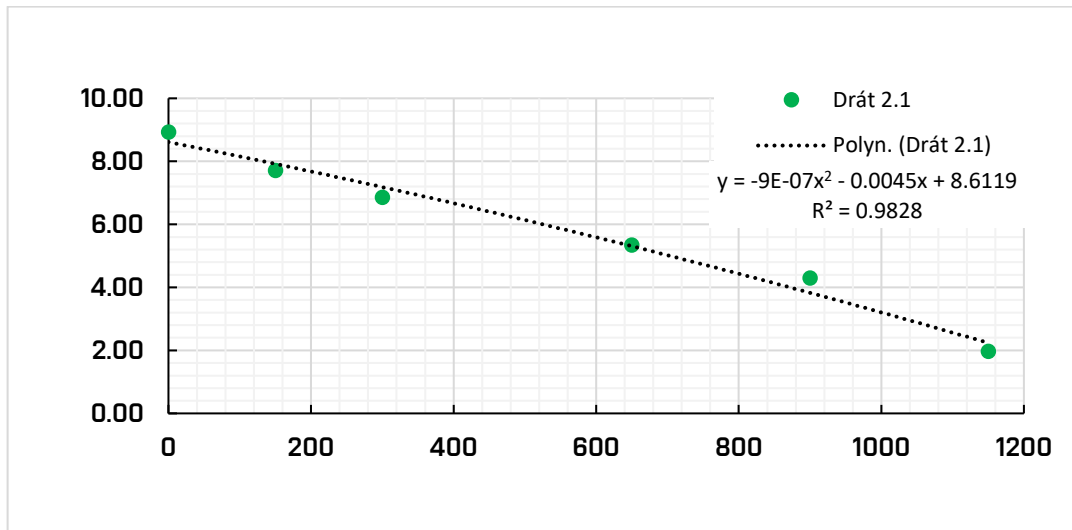
3.1.1.2 EXP2 – PŘÍMÝ KABEL

Měření kotevní délky stejného průběžného přímého kabelu nosníku I-73 jako v případě EXP1, ale experiment byl umístěn v blízkosti kotevní oblasti na straně od Mikulova opět ve vzdálenosti 2,2-3,315 m od okraje nosníku. Experiment byl navržen symetricky k experimentu EXP1 s osou symetrie vedenou uprostřed rozpětí nosníku.

Pokluz drátů byl měřen v 6 místech vzdálených od místa porušení o 150, 300, 500, 650, 900 a 1150 mm. Odhaleny a měřeny byly celkem tři dráty – ozn. 2.1, 2.2 a 2.3

Drát 2.1							
	Δ000 mm	Δ000 mm UPRAV	Δ150 mm	Δ300 mm	Δ650 mm	Δ900 mm	Δ1150 mm
x	0	0	300	500	700	900	1150
1	12.238	9.038	7.713	6.880	5.387	4.310	2.017
2	11.883	8.683	7.701	6.855	5.357	4.322	1.978
3	11.991	8.791	7.711	6.848	5.321	4.302	1.902
4	12.432	9.232	7.701	6.849	5.285	4.287	2.015
5	12.444	9.244	7.710	6.849	5.357	4.287	1.960
6	11.885	8.685	7.682	6.839	5.322	4.287	1.953
7	12.042	8.842	7.729	6.868	5.340	4.312	1.945
8	12.028	8.828	7.700	6.848	5.378	4.288	1.939
9	11.957	8.757	7.700	6.846	5.303	4.299	1.948
10	12.331	9.131	7.720	6.868	5.321	4.287	1.993
průměr	12.123	8.923	7.707	6.855	5.337	4.298	1.965
smodch	0.219	0.219	0.013	0.013	0.033	0.013	0.036
cov	1.80 %	2.45 %	0.17 %	0.19 %	0.61 %	0.30%	1.83 %

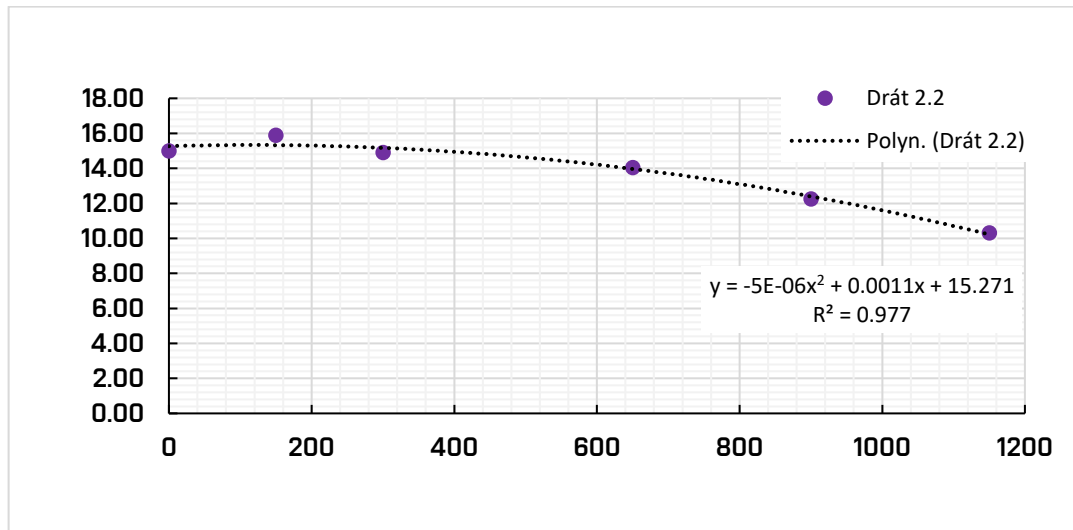
Tab. 3 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 2.1



Obr. 26 Graf průběhu pokluzu drátu 2.1

Drát 2.2							
	$\Delta 000$ mm	$\Delta 000$ mm UPRAV	$\Delta 150$ mm	$\Delta 300$ mm	$\Delta 650$ mm	$\Delta 900$ mm	$\Delta 1150$ mm
x	0	0	300	500	700	900	1150
1	18.009	14.809	15.890	14.897	14.043	12.242	10.398
2	18.072	14.872	15.890	14.916	14.025	12.254	10.281
3	18.188	14.988	15.860	14.897	14.043	12.253	10.266
4	18.335	15.135	15.893	14.882	14.008	12.241	10.283
5	18.408	15.208	15.878	14.916	14.044	12.265	10.320
6	18.342	15.142	15.878	14.931	14.025	12.242	10.278
7	18.004	14.804	15.891	14.865	14.043	12.242	10.266
8	18.138	14.938	15.891	14.867	14.026	12.253	10.337
9	18.265	15.065	15.897	14.882	14.024	12.253	10.350
10	18.197	14.997	15.897	14.883	14.062	12.241	10.277
průměr	18.196	14.996	15.887	14.894	14.034	12.249	10.306
smodch	0.142	0.142	0.011	0.022	0.015	0.008	0.044
cov	0.78 %	0.95 %	0.07 %	0.15 %	0.11 %	0.07 %	0.43 %

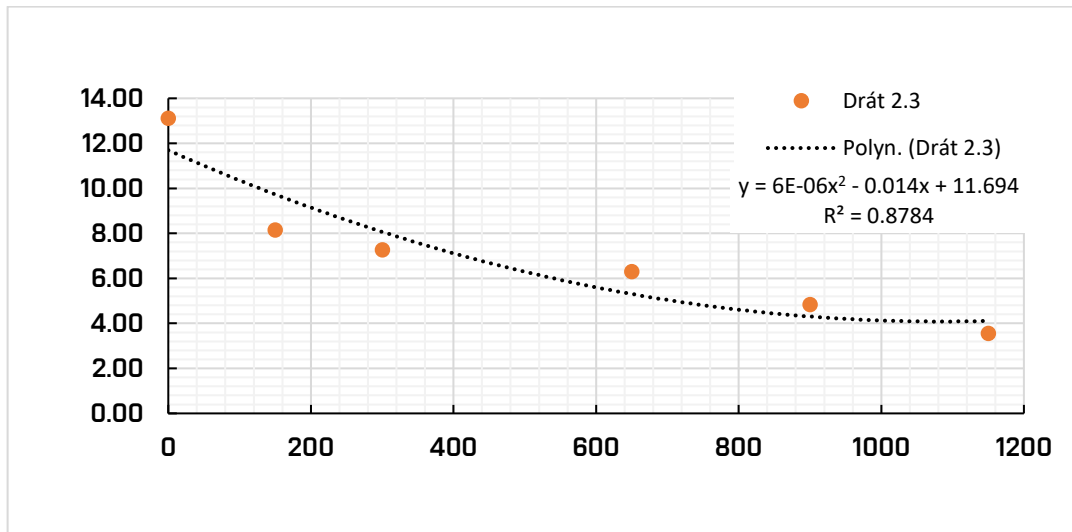
Tab. 4 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 2.2



Obr. 27 Graf průběhu pokluzu drátu 2.2

Drát 2.3							
	$\Delta 000$ mm	$\Delta 000$ mm UPRAV	$\Delta 150$ mm	$\Delta 300$ mm	$\Delta 650$ mm	$\Delta 900$ mm	$\Delta 1150$ mm
x	0	0	300	500	700	900	1150
1	16.749	13.549	8.128	7.212	6.261	4.852	3.543
2	15.991	12.791	8.139	7.300	6.318	4.837	3.592
3	16.353	13.153	8.147	7.295	6.328	4.829	3.590
4	15.923	12.723	8.159	7.212	6.272	4.829	3.543
5	16.153	12.953	8.154	7.262	6.295	4.814	3.591
6	16.695	13.495	8.159	7.267	6.329	4.821	3.567
7	16.390	13.190	8.146	7.295	6.352	4.858	3.520
8	15.954	12.754	8.160	7.212	6.271	4.836	3.526
9	16.811	13.611	8.154	7.312	6.283	4.815	3.474
10	16.157	12.957	8.146	7.277	6.328	4.814	3.571
průměr	16.318	13.118	8.149	7.264	6.304	4.831	3.552
smodch	0.338	0.338	0.010	0.039	0.031	0.016	0.038
cov	2.07 %	2.57 %	0.12 %	0.54 %	0.49 %	0.32 %	1.07 %

Tab. 5 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 2.3



Obr. 28 Graf průběhu pokluzu drátu 2.3



Obr. 29 EXP2 – Δ000



Obr. 30 EXP2 – Δ150



Obr. 31 EXP2 – Δ300



Obr. 32 EXP2 – Δ650



Obr. 33 EXP2 – Δ900



Obr. 34 EXP2 – Δ1150

3.1.1.3 EXP3 – ZVEDANÝ KABEL

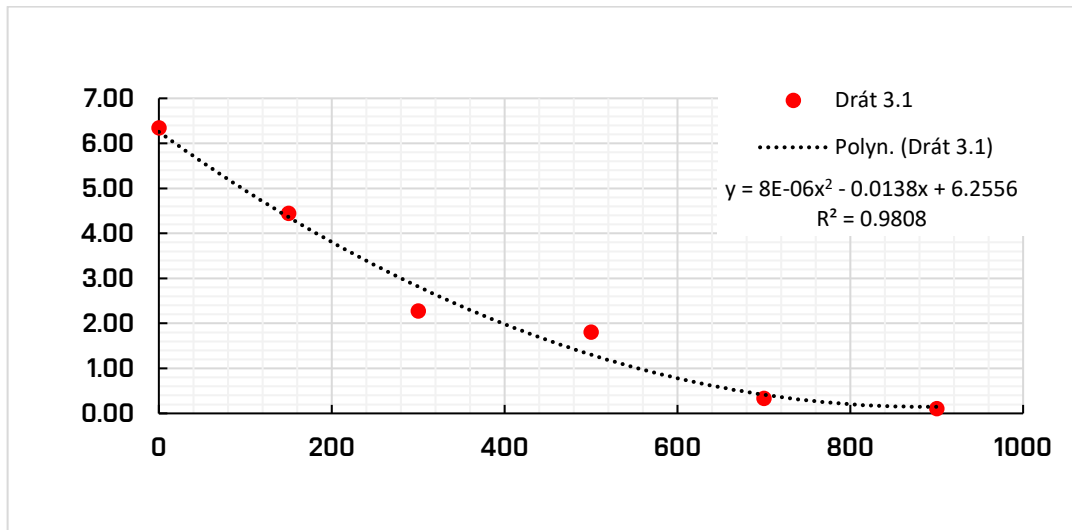
Měření kotevní délky průběžného zvedaného kabelu nosníku I-73 (dle [2] kabel č. 8), který je zakotven ve stojině nosníku, kterou po délce prochází v zakřivené trajektorii složené z přímého úseku a z oblouku $R = 10$ m a ve vzdálenosti 4,86 m od okraje nosníku přechází z oblouku do přímého úseku vedeného ve spodní přírubě nosníku. Experimentální měření bylo situováno do blízkosti oblasti zakotvení ve vzdálenosti 0,8-1,7 m.

Pokluz drátů byl měřen v 5 místech vzdálených od místa porušení o 150, 300, 500, 700 a 900 mm. Odhaleny a měřeny byly celkem čtyři dráty – ozn. 3.1, 3.2, 3.3 a 3.4.

Drát 3.1

	$\Delta 000$ mm	$\Delta 000$ mm UPRAV	$\Delta 150$ mm	$\Delta 300$ mm	$\Delta 500$ mm	$\Delta 700$ mm	$\Delta 900$ mm
x	0	0	150	300	500	700	900
1	9.673	6.473	4.444	2.262	1.803	0.325	0.101
2	9.468	6.268	4.443	2.301	1.801	0.370	0.097
3	9.484	6.284	4.428	2.262	1.805	0.333	0.098
4	9.571	6.371	4.428	2.272	1.802	0.337	0.116
5	9.563	6.363	4.438	2.293	1.803	0.319	0.098
6	9.544	6.344	4.449	2.276	1.830	0.303	0.091
7	9.536	6.336	4.437	2.266	1.796	0.315	0.111
8	9.552	6.352	4.439	2.271	1.815	0.337	0.099
9	9.492	6.292	4.446	2.285	1.810	0.330	0.101
10	9.570	6.370	4.477	2.277	1.794	0.345	0.110
průměr	9.545	6.345	4.443	2.277	1.806	0.331	0.102
smodch	0.058	0.058	0.014	0.013	0.010	0.018	0.008
cov	0.61 %	0.92 %	0.31 %	0.57 %	0.58 %	5.52 %	7.51 %

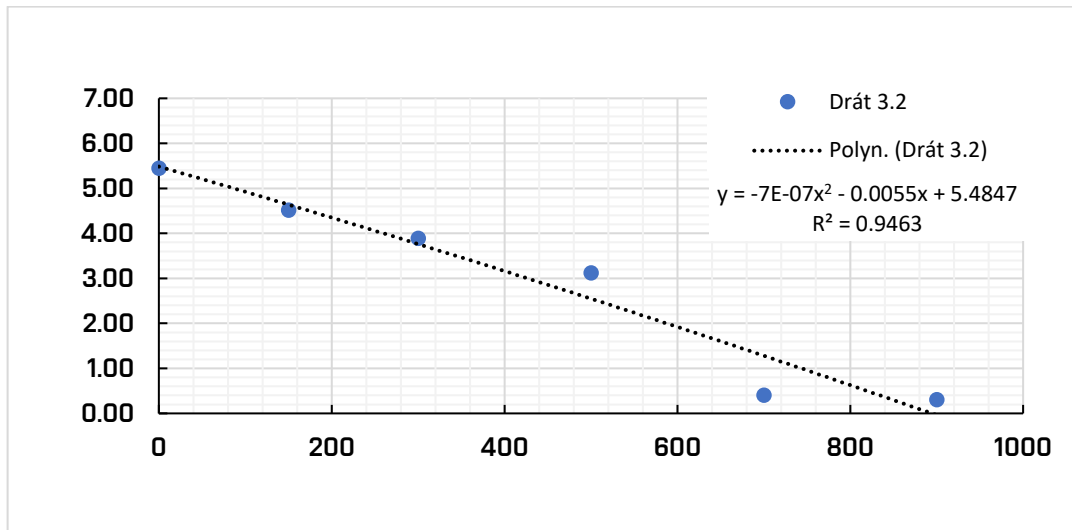
Tab. 6 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 3.1



Obr. 35 Graf průběhu pokluzu drátu 3.1

Drát 3.2							
	$\Delta 000$ mm	$\Delta 000$ mm UPRAV	$\Delta 150$ mm	$\Delta 300$ mm	$\Delta 500$ mm	$\Delta 700$ mm	$\Delta 900$ mm
x	0	0	150	300	500	700	900
1	8.798	5.598	4.542	3.890	3.085	0.406	0.295
2	8.755	5.555	4.555	3.870	3.114	0.478	0.301
3	8.691	5.491	4.516	3.887	3.115	0.385	0.311
4	8.533	5.333	4.489	3.891	3.139	0.403	0.311
5	8.722	5.522	4.537	3.894	3.126	0.452	0.308
6	8.625	5.425	4.537	3.881	3.112	0.390	0.290
7	8.602	5.402	4.492	3.882	3.121	0.392	0.304
8	8.537	5.337	4.507	3.905	3.139	0.368	0.314
9	8.566	5.366	4.511	3.887	3.115	0.412	0.288
10	8.615	5.415	4.490	3.882	3.108	0.375	0.317
průměr	8.644	5.444	4.518	3.887	3.117	0.406	0.304
smodch	0.093	0.093	0.024	0.009	0.016	0.034	0.010
cov	1.07 %	1.70 %	0.53 %	0.24 %	0.50 %	8.47 %	3.34 %

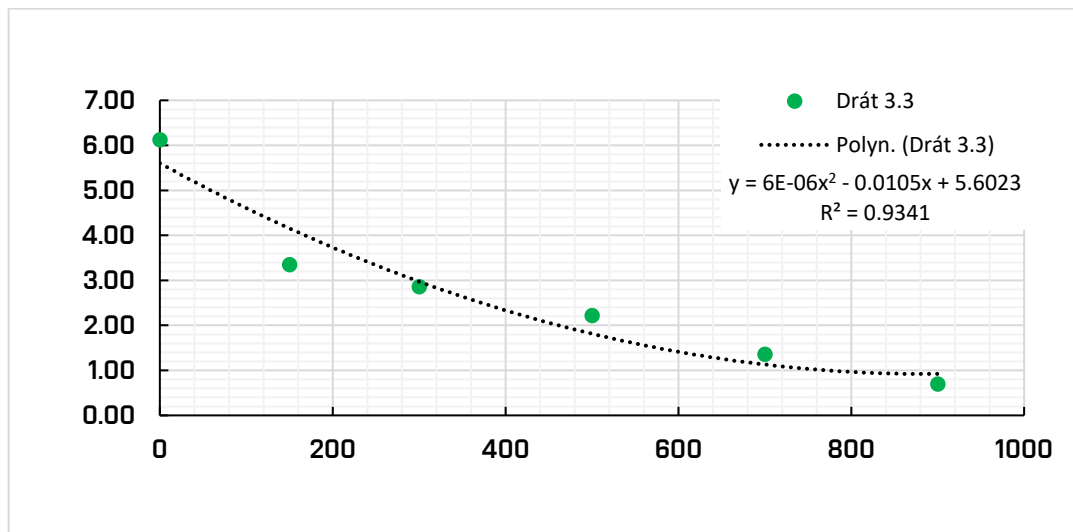
Tab. 7 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 3.2



Obr. 36 Graf průběhu pokluzu drátu 3.2

Drát 3.3							
	$\Delta 000$ mm	$\Delta 000$ mm UPRAV	$\Delta 150$ mm	$\Delta 300$ mm	$\Delta 500$ mm	$\Delta 700$ mm	$\Delta 900$ mm
x	0	0	150	300	500	700	900
1	9.398	6.198	3.349	2.878	2.202	1.395	0.729
2	9.391	6.191	3.338	2.834	2.249	1.324	0.708
3	9.320	6.120	3.348	2.846	2.222	1.357	0.687
4	9.290	6.090	3.369	2.844	2.198	1.385	0.648
5	9.353	6.153	3.339	2.834	2.230	1.306	0.722
6	9.279	6.079	3.368	2.868	2.237	1.369	0.720
7	9.385	6.185	3.338	2.877	2.230	1.381	0.660
8	9.193	5.993	3.340	2.864	2.200	1.361	0.723
9	9.375	6.175	3.350	2.828	2.223	1.306	0.681
10	9.257	6.057	3.340	2.863	2.195	1.344	0.693
průměr	9.324	6.124	3.348	2.854	2.219	1.353	0.697
smodch	0.068	0.068	0.012	0.019	0.019	0.032	0.028
cov	0.73 %	1.12 %	0.35 %	0.65 %	0.84 %	2.37 %	4.03 %

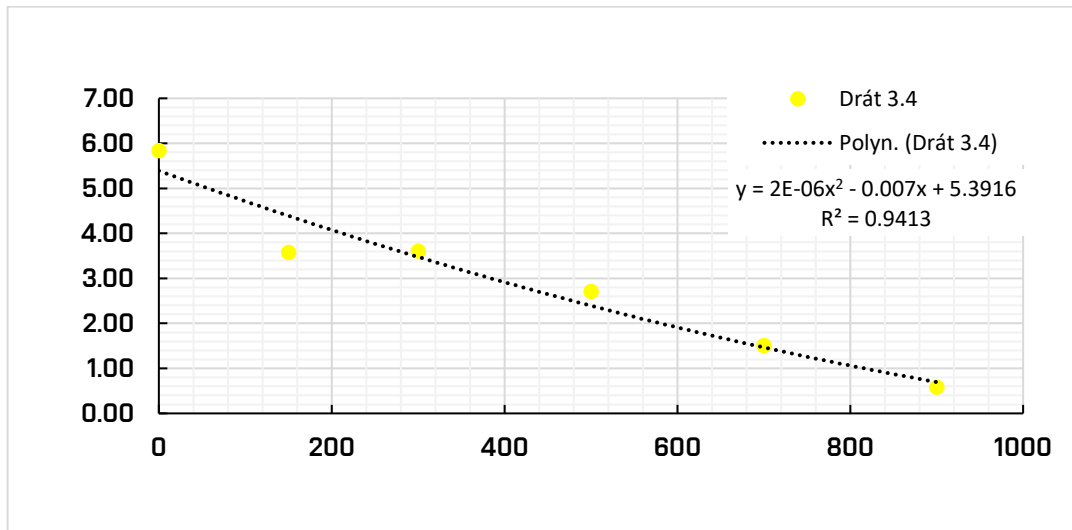
Tab. 8 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 3.3



Obr. 37 Graf průběhu pokluzu drátu 3.3

Drát 3.4							
	$\Delta 000$ mm	$\Delta 000$ mm UPRAV	$\Delta 150$ mm	$\Delta 300$ mm	$\Delta 500$ mm	$\Delta 700$ mm	$\Delta 900$ mm
x	0	0	150	300	500	700	900
1	9.008	5.808	3.602	3.572	2.717	1.566	0.608
2	9.009	5.809	3.558	3.606	2.703	1.597	0.570
3	9.100	5.900	3.547	3.640	2.708	1.445	0.580
4	8.965	5.765	3.615	3.660	2.712	1.546	0.573
5	8.947	5.747	3.558	3.618	2.720	1.441	0.578
6	9.153	5.953	3.547	3.529	2.699	1.513	0.599
7	9.049	5.849	3.547	3.565	2.707	1.474	0.570
8	9.051	5.851	3.592	3.594	2.695	1.464	0.572
9	9.044	5.844	3.625	3.579	2.701	1.505	0.596
10	9.042	5.842	3.558	3.646	2.718	1.533	0.577
průměr	9.037	5.837	3.575	3.601	2.708	1.508	0.582
smodch	0.060	0.060	0.030	0.041	0.009	0.053	0.014
cov	0.67 %	1.03 %	0.85 %	1.14 %	0.32 %	3.49 %	2.35 %

Tab. 9 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 3.4



Obr. 38 Graf průběhu pokluzu drátu 3.4



Obr. 39 EXP3 – Δ000



Obr. 40 EXP3 – Δ150



Obr. 41 EXP3 – Δ300



Obr. 42 EXP3 – Δ500



Obr. 43 EXP3 – Δ700



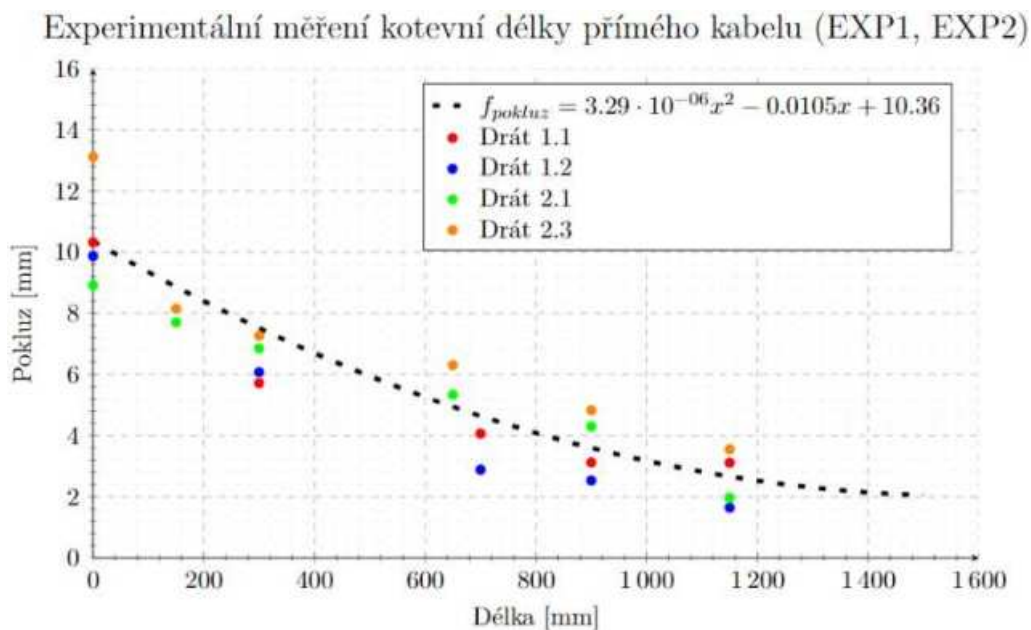
Obr. 44 EXP3 – Δ900

3.1.2 Výsledky měření jednotlivých drátů

Výše uvedenou metodikou rozboru obrazových materiálů byly získány číselné výsledky pokluzů jednotlivých drátů v otevřených sondách na přímých kabelech a na zvedaném kabelu, na základě kterých lze experimentálně stanovit kotevní délku předpínací výztuže – lze nalézt místo s nulovým pokluzem, ve kterém dochází k plnému překotvení předpínací síly. Zahnutím této skutečné kotevní délky do numerických výpočtů únosnosti nosníků lze stanovit vliv přerušení předpínací výztuže v kotevních oblastech na celkovou zbytkovou únosnost.

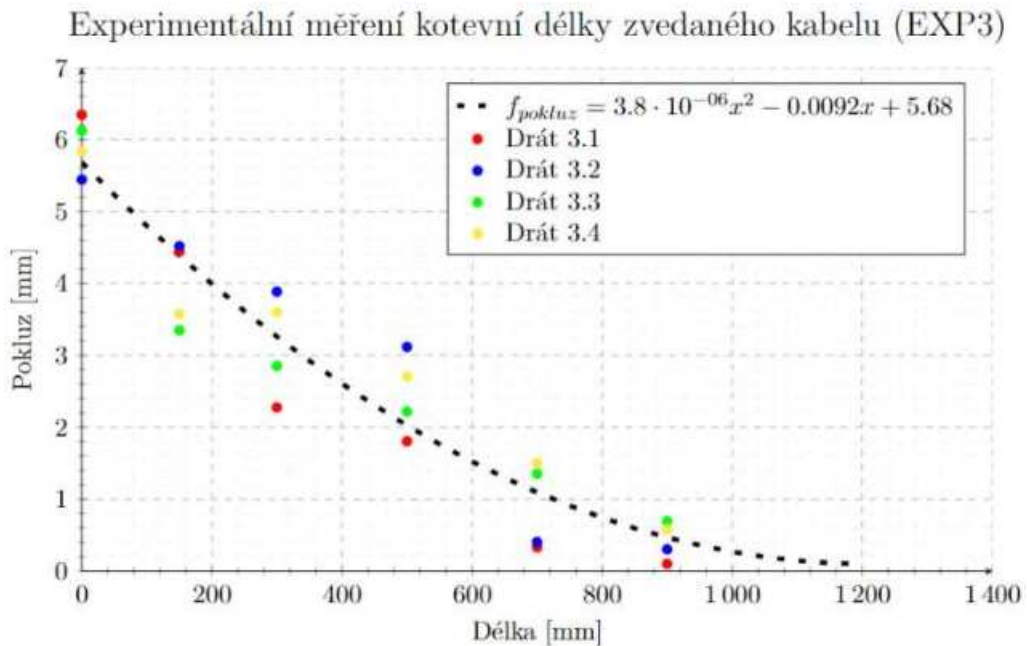
Ojedinele odlehle hodnoty pokluzů byly z celkového vyhodnocení vyjmuty z důvodu lokální nekvality injektážní malty a také právě z důvodu ojedinělosti.

Na Obr. 45 je vyobrazen výsledný graf změřených pokluzů čtyř drátů přímého kabelu (označ. experimentů EXP1, EXP2). Matematickým proložením změřených hodnot křivkou druhého stupně je možné určit kotevní délku přímého kabelu, která dle experimentálně změřených hodnot pokluzů dosahuje délky cca 1,9 m.



Obr. 45 Výsledný graf změřených pokluzů přímého kabelu (EXP1 a EXP2)

Na Obr. 46 je vyobrazen výsledný graf změřených pokluzů čtyř drátů zvedaného kabelu (označ. experimentu EXP3). Proložení změřených hodnot byla kotevní délka zvedaného kabelu určena hodnotou cca 1,2 m. Takto experimentálně stanovaná kotevní délka je u zvedaných kabelů výrazně kratší, než v případě přímých kabelů – projevil se vliv zakřivené trajektorie kabelu, která přispívá k jejich „dokotvení“.



Obr. 46 Výsledný graf změřených pokluzů zvedaného kabelu (EXP3)

4. UPŘESNĚNÍ VYHODNOCENÍ POKLUZŮ DRÁTŮ

V té sondě ke kabelu, ve které bylo skutečně porušení kabelu simulováno řezem úhlovou bruskou (dále přerušovací sonda), docházelo při detailním pozorování všech drátů k menšímu posunu postupně přerušovaných drátů oproti drátům, které mohly být opticky měřeny (Obr. 48, tvar V řezu v místě přerušování kabelu). Zanedbání tohoto jevu vedlo k nadhodnocení měřeného posunu a k přisouzení měřeného posunu na dvou až třech měřitelných drátech všem drátům kabelu. Ve skutečnosti je průměrný posun drátů, resp. průměrný posun předpínacího kabelu, menší.

Výsledné hodnoty posunů, které byly naměřeny během prvního experimentu v roce 2020, lze chápat jako naměřené posuny krajních viditelných drátů, nikoliv celého kabelu. Pro stanovení reálné průměrné kotevní délky celého kabelu je nutné upřesnit chování celého kabelu po šířce průřezu, což je viditelné pouze v přerušovací sondě.



Obr. 47 Místo přerušování kabelu



Obr. 48 Místo přerušení kabelu – přerušovací sonda (výsledný V tvar řezu)



Obr. 49 Rozmístění drátů v plně zainjektovaném kabelovém kanálku

4.1 Rozbor problému

V první sondě (tzv. přerušovací sondě) docházelo při detailním pozorování všech drátů k menšímu posunu postupně (později) přerušovaných drátů oproti opticky měřeným drátům (vnější dráty z pohledu kamery/fotoaparátu), které byly přerušeny jako první. Přitom všechny přerušené konce drátů zůstaly v rovině, která je sešikmená vůči ose kabelu. Situace je ukázána na Obr. 48 a schematicky zobrazena na Obr. 51.

Pro rozbor problému využijeme schematický náčrt posunů v přerušovací sondě na Obr. 50. Na zadní straně kabelu vzhledem k pozorovateli (odvrácená strana) je posun drátů minimální a mezi přerušenými dráty je mezera daná šířkou řezného kotouče 3,2 mm a malým posunem zadních drátů kabelu (téměř zanedbatelným). Na přední straně kabelu (přivrácená strana) je posun drátů maximální a je dán opět šířkou řezného kotouče a vlastním posunem drátů po přerušení. Konce mezilehlých drátů jsou uspořádány přibližně v rovině. Roviny konců drátů vlevo (směrem ke kotvě) a vpravo (směrem k dále probíhajícímu kabelu) v přerušovací sondě jsou rozevřeny do písmene V s vrcholem písmena na odvrácené straně kabelu. Jde tedy pouze o geometrický problém a ze známého posunu na přední straně kabelu a na odvrácené straně kabelu lze zjistit průměrný posun drátů a ten lze přisoudit celému kabelu.



Obr. 50 Pohled do přerušovací sondy s vloženým řezným kotoučem

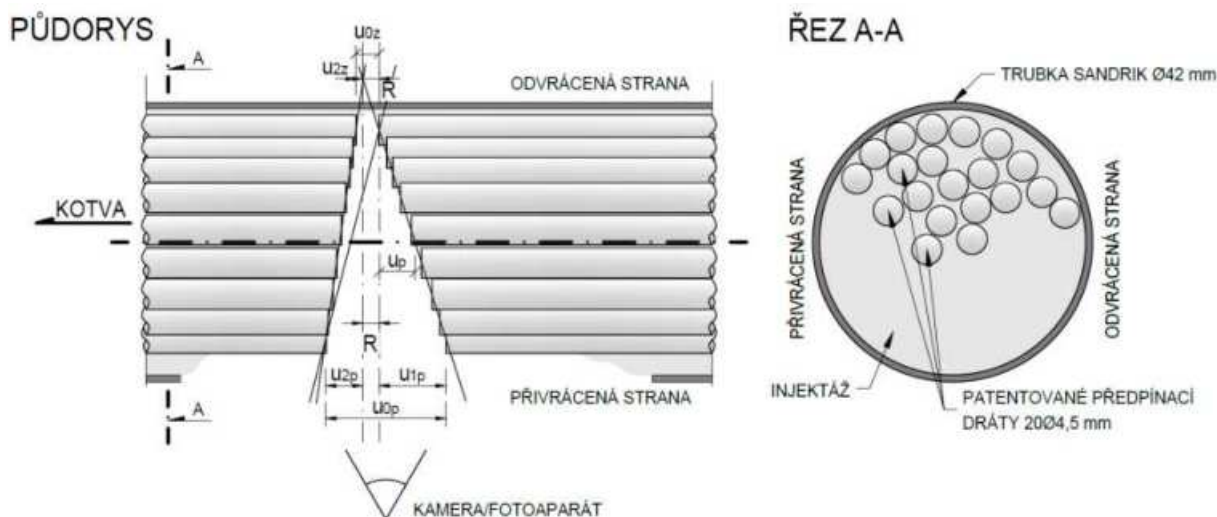
Přitom je nutné uvážit, že posun drátů směrem ke kotvě v přerušovací sondě od pomyslné kolmé roviny k ose kabelu je posun opačný, než který se sleduje a je třeba ho odečítat.

Se znalostí průběhu posunů po příčném řezu kabelu, která byla popsána výše, lze poté opravit naměřené hodnoty posunů v následujících sondách, ve kterých byly během experimentu viditelné pouze vnější dráty, přenásobením hodnot vypočítaným koeficientem průměrného posunu získaného rozborem přerušovací sondy.

4.2 Zpřesnění posunu v přerušovací sondě

Předpokládejme kolmé postavení snímací techniky k ose kabelu (viz Obr. 51). Potom v přerušovací sondě lze definovat následující geometrické veličiny:

- u_{0p} mezera vnějšího drátu na přivrácené straně přerušovaného kabelu;
- u_{0z} mezera vnějšího drátu na odvrácené straně přerušovaného kabelu;
- R šířka rezného kotouče;
- u_{2p} posun vnějšího drátu na přivrácené straně kabelu směrem ke kotvě;
- u_{2z} posun vnějšího drátu na odvrácené straně kabelu směrem ke kotvě;
- $u_{2p} + R$ hodnota zpětného posunu a tloušťky rezného kotouče pro korekci posunu drátu na přivrácené straně;
- $u_{2z} + R$ hodnota zpětného posunu a tloušťky rezného kotouče pro korekci posunu drátu na odvrácené straně;
- u_p průměrný posun předpínacího kabelu.



Obr. 51 Schéma posunů drátů v přerušovací sondě

Mezi jednotlivými geometrickými veličinami lze definovat následující vztahy (1) a (2):

$$u_{1p} = u_{0p} - (u_{2p} + R) \quad (1)$$

$$u_p = \frac{u_{1p}}{2} = \frac{u_{0p} - (u_{2p} + R)}{2} \quad (2)$$

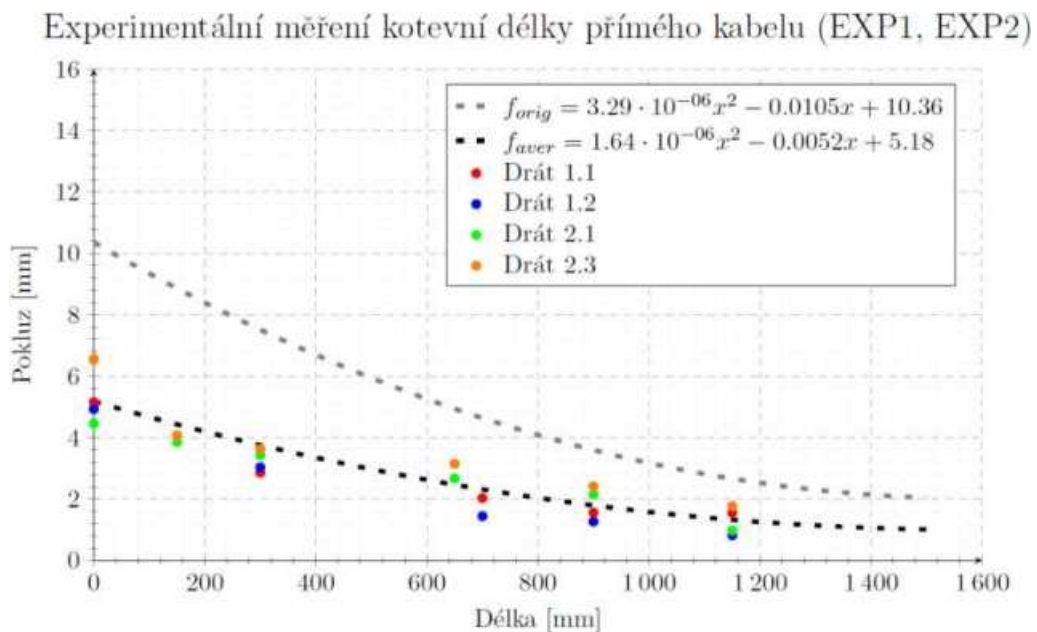
Koeficient průměrného posunu u_k pro korekci naměřených hodnot posunů vnějších drátů je pak definován vztahem (3):

$$u_k = \frac{u_p}{u_{1p}} \quad (3)$$

Vyhodnocením provedeného experimentu a z rozboru získaných dat byla upřesněna metodika pro další měření kotevních délek v navazujících aplikacích. Geometrickým rozбором přerušovací sondy lze pomocí tohoto upřesnění stanovit celkový průměrný posun postupně přerušovaného předpínacího kabelu, kdy právě postupné přerušování v experimentu vystupuje jako typové porušení odpovídající předpokládanému skutečnému chování při porušení předpínacího kabelu korozí.

4.3 Průměrné posunutí drátů celého kabelu

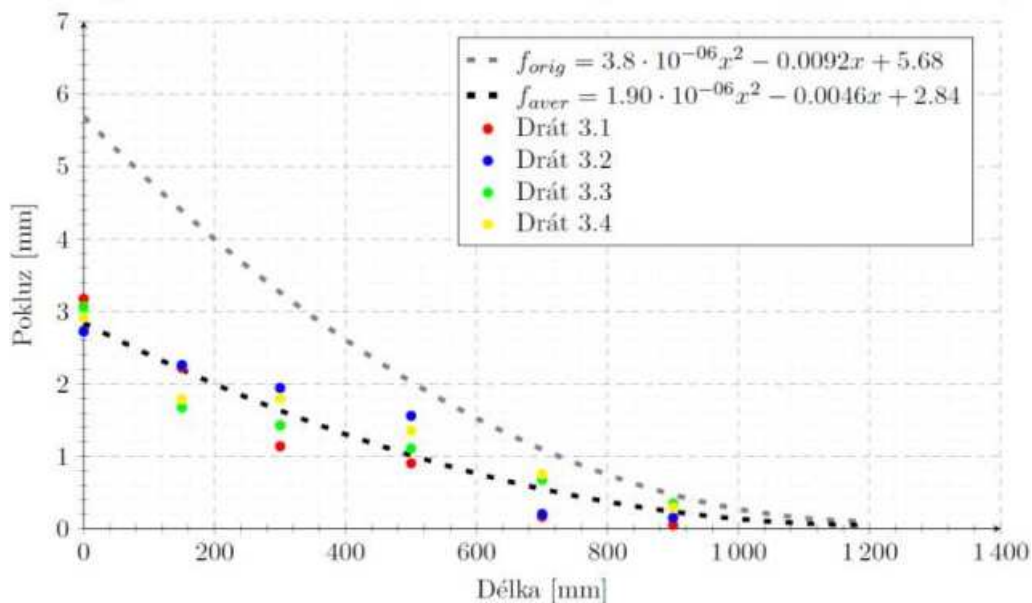
Celkový průměrný posun postupně přerušovaného přímého kabelu je ukázán na Obr. 52. Matematickým proložením změřených hodnot křivkou druhého stupně byla určena kotevní délka přímého kabelu, a to 1,9 m.



Obr. 52 Výsledný graf upřesněných průměrných pokluzů přímého kabelu (šedá čárkovaná čára = změřené hodnoty, černá čárkovaná čára = upřesněné hodnoty)

Průměrná upřesněná kotevní délka zvedaného kabelu složeného z patentovaných drátů je ukázána na Obr. 53, kdy matematickým proložením byla tato kotevní délka stanovena hodnotou 1,2 m.

Experimentální měření kotevní délky zvedaného kabelu (EXP3)



Obr. 53 Výsledný graf upřesněných průměrných pokluzů zvedaného kabelu (šedá čárkovaná čára = změřené hodnoty, černá čárkovaná čára = upřesněné hodnoty)

V případě plně zainjektovaných kabelů složených z patentovaných drátů, lze výše experimentálně stanovené kotevní délky po započítání bezpečnostního součinitele uvažovat ve statických výpočtech zbytkové únosnosti předpjatých mostů.

Bezpečnostní součinitel pro výpočet zbytkové únosnosti předpjatých mostů se započítáním experimentálně stanovených kotevních délek je navrhován hodnotou 2,00.

5. ZÁVĚR

Realizovaná experimentální měření kotevních délek a její výsledky prokázaly použitelnost navržené metodiky pro zkoumání skutečné kotevní délky předpínací výztuže tyčových prefabrikovaných nosníků z let 1960-1990. Provedenými experimenty lze také potvrdit hypotézu o tzv. překotvení předpínací výztuže a zachycení předpínací síly kvalitně provedenou injektáží, která tvoří základní předpoklad stanovení únosnosti předpjatých tyčových prefabrikátů v mezním stavu únosnosti.

V případě přímého kabelu byla kotevní délka stanovena hodnotou 1,9 m, v případě zvedaného kabelu hodnotou cca 1,2 m.

V případě plně zainjektovaných kabelů složených z patentovaných drátů, lze experimentálně stanovené kotevní délky po započítání bezpečnostního součinitele ($\gamma = 2,00$) uvažovat ve statických výpočtech zbytkové únosnosti předpjatých mostů následovně:

- pro přímé kabely $2,00 \times 1,9 = 3,80$ m;
- pro zvedané kabely $2,00 \times 1,2 = 2,40$ m.

Experimentálně stanovené kotevní délky plně zainjektovaných kabelů lze ve statických výpočtech uvažovat pouze v případě prokázání dostatečných mechanických parametrů injektážní malty, jejíž pevnost musí být alespoň 80 MPa.

Znalost reálné kotevní délky plně zainjektované předpínací výztuže je tak jedním ze základních předpokladů pro upřesnění zbytkové únosnosti předpjatých tyčových prefabrikovaných nosníků.

V Brně dne 6. 12. 2023

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

(autorizovaný inženýr pro obor mosty a inženýrské konstrukce)

Ing. Adam Svoboda

6. POUŽITÁ LITERATURA A PODKLADY

- [1] Databáze mostů ve správě Ředitelství silnic a dálnic České republiky (ŘSD) k 8. 2018
 [2] Typový podklad prefabrikovaného nosníku I-73, 1973
 [3] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2 (731201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 2019

7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Graf nárůstů a počtu mostů z tyčových prefabrikovaných nosníků typu KA a I v ČR [1].....	3
Obr. 2 Výňatek z TP prefabrikovaného nosníku typu I-73 [2]	4
Obr. 3 Délkové parametry přenosu předpínací síly do betonu dle [3].....	5
Obr. 4 Označení míst pro otevření SDT sond	5
Obr. 5 Vrtání semidestruktivních sond pro experimentální měření.....	6
Obr. 6 Pohled do otevřené SDT sondy s odhalenými dráty předpínací výztuže a s vlepenými kalibračními měřítky.....	7
Obr. 7 Digitální fotoaparáty v pozicích během měření pokluzu drátů	7
Obr. 8 Pohled na místo přerušení výztuže s přiloženou úhlovou bruskou s kotoučem tloušťky 3,2 mm 8	
Obr. 9 Ukázka obrazového materiálu z měření pokluzu předpínací výztuže. Vlevo je zobrazen stav před uvolněním napětí, vpravo stav po uvolnění napětí (po realizovaném pokluzu)	8
Obr. 10 Softwarový post-processing měření pokluzů (X-Sight Alpha).....	9
Obr. 11 Softwarový post-processing měření pokluzů (X-Sight Alpha).....	9
Obr. 12 Most ev. č. 52-059 během demolice	10
Obr. 13 Vybraný krajní nosník 1 pole mostu ev. č. 52-059	11
Obr. 14 Pohled na zkoumaný nosník během provádění experimentálních měření kotevní délky	11
Obr. 15 Schéma experimentálního měření kotevní délky přímého kabelu – EXP1	12
Obr. 16 Schéma experimentálního měření kotevní délky přímého kabelu – EXP2.....	12
Obr. 17 Schéma experimentálního měření kotevní délky zvedaného kabelu – EXP3	13
Obr. 18 Graf průběhu pokluzu drátu 1.1	14
Obr. 19 Graf průběhu pokluzu drátu 1.2	15
Obr. 20 EXP1 – $\Delta 000$	15
Obr. 21 EXP1 – $\Delta 300$	15
Obr. 22 EXP1 – $\Delta 500$	15
Obr. 23 EXP1 – $\Delta 700$	15
Obr. 24 EXP1 – $\Delta 900$	16
Obr. 25 EXP1 – $\Delta 1150$	16
Obr. 26 Graf průběhu pokluzu drátu 2.1	17
Obr. 27 Graf průběhu pokluzu drátu 2.2	18
Obr. 28 Graf průběhu pokluzu drátu 2.3	19
Obr. 29 EXP2 – $\Delta 000$	19
Obr. 30 EXP2 – $\Delta 150$	19
Obr. 31 EXP2 – $\Delta 300$	19
Obr. 32 EXP2 – $\Delta 650$	19
Obr. 33 EXP2 – $\Delta 900$	20
Obr. 34 EXP2 – $\Delta 1150$	20
Obr. 35 Graf průběhu pokluzu drátu 3.1	21
Obr. 36 Graf průběhu pokluzu drátu 3.2	22

Obr. 37 Graf průběhu pokluzu drátu 3.3	23
Obr. 38 Graf průběhu pokluzu drátu 3.4	24
Obr. 39 EXP3 – $\Delta 000$	24
Obr. 40 EXP3 – $\Delta 150$	24
Obr. 41 EXP3 – $\Delta 300$	24
Obr. 42 EXP3 – $\Delta 500$	24
Obr. 43 EXP3 – $\Delta 700$	25
Obr. 44 EXP3 – $\Delta 900$	25
Obr. 45 Výsledný graf změřených pokluzů přímého kabelu (EXP1 a EXP2)	25
Obr. 46 Výsledný graf změřených pokluzů zvedaného kabelu (EXP3)	26
Obr. 47 Místo přerušení kabelu.....	27
Obr. 48 Místo přerušení kabelu – přerušovací sonda (výsledný V tvar řezu).....	28
Obr. 49 Rozmístění drátů v plně zainjektovaném kabelovém kanálu	28
Obr. 50 Pohled do přerušovací sondy s vloženým řezným kotoučem	29
Obr. 51 Schéma posunu drátů v přerušovací sondě.....	30
Obr. 52 Výsledný graf upřesněných průměrných pokluzů přímého kabelu (šedá čárkovaná čára = změřené hodnoty, černá čárkovaná čára = upřesněné hodnoty).....	31
Obr. 53 Výsledný graf upřesněných průměrných pokluzů zvedaného kabelu (šedá čárkovaná čára = změřené hodnoty, černá čárkovaná čára = upřesněné hodnoty).....	32
Tab. 1 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 1.1	13
Tab. 2 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 1.2	14
Tab. 3 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 2.1	16
Tab. 4 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 2.2	17
Tab. 5 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 2.3	18
Tab. 6 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 3.1	20
Tab. 7 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 3.2	21
Tab. 8 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 3.3	22
Tab. 9 Naměřené hodnoty pokluzu drátu 3.4	23