

# Dodatečně předpjaté konstrukce střešních vazníků, 3. díl



## Ing. Petr Mynarčík, Ph.D.

Absolvent Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava, obor stavební hmoty a diagnostika staveb. Pokračoval v doktorském studiu, obor teorie konstrukcí. Vedle vědeckovýzkumné činnosti dlouhodobě spolupracuje s Institutem ocelových konstrukcí, spol. s r.o., a statickou a projektovou kanceláří Arming spol. s r.o. Je vedoucím Experimentálního stavebního centra Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava.  
E-mail: petr.mynarcik@vsb.cz

## Spoluautoři:

### Ing. Lucie Mynarzová, Ph.D.

E-mail: lucie.mynarzova@vsb.cz

### Ing. Pavel Mec, Ph.D.

E-mail: pavel.mec@vsb.cz

### Ing. Jaroslav Cejnar

E-mail: jaroslav.cejnar@radabuilding.com

**Tento článek s podtitulem Aktuální podklady ke stanovení návrhu řešení potenciální nebezpečnosti, je souhrnem zkušeností ze stavebně-technických průzkumů a diagnostických prací provedených na několika halových objektech, jejichž nosná konstrukce byla řešena konstrukčním systémem ZIPP s předpjatými příhradovými vazníky typového označení SPP 6-18/6 a SPP 12-18/6.**

Ve třetím pokračování článků o dodatečně předpjatých střešních vaznicích navazujeme problematikou objektivních, ale hlavně aktuálních podkladů ke stanovení návrhu řešení potenciální nebezpečnosti. Několik poznámek na úvod.

■ Ihned po jednoznačné identifikaci konstrukce dodatečně předpjatých střešních vazníků je nutné řešit otázku bezpečnosti v souladu s potenciální nebezpečností této konstrukce. Jde o stanovení dočasných pravidel bezpečnosti (tato otázka bude řešena ve IV. dílu článku).

■ Podklady majitelů k vlastní konstrukci, jsou-li předloženy, nebývají kompletní a věrohodné díky nezaevidovaným změnám během užívání stavby, ale hlavně téměř nikdy nejsou aktuální. Věrohodné aktuální podklady jsou totiž bezpodmínečnou nutností odpovědného dalšího postupu při řešení problému těchto konstrukcí.

■ Je zcela běžné, že zavěšená nebo dodatečně uložená technologie byla zabudována bez odpovídajícího statického posouzení, tak je celkové přetížení konstrukce vazníku zcela běžným jevem a lehce najdeme místa zcela nevhodného kotvení nebo extrémního místního přetížení. Tyto problémy musí být identifikovány již prvotní stavebně-statickou kontrolní prohlídkou.

Na počátku řešení problému existuje jediný objektivní výsledek: zápis a zpráva z prvotní stavebně-statické prohlídky. Všechny postupy z hlediska posouzení a vlastního řešení se musí opírat o aktuální podklady. Logicky tedy v dalších dvou krocích následuje 3D skenování objektu a diagnostika nosných konstrukcí, včetně konstrukcí střešního pláště. Jako výchozí pro zadání slouží zpráva z kontrolní prohlídky. Je nezbytné zhotovitele diagnostiky a 3D skenování se závěry prohlídky seznámit a zaměřit se především na problémová místa nebo některé jejich části.

Úkony 3D skenování a diagnostiky probíhají za přítomnosti zpracovatele posudku. Osvědčila se okamžitá reakce na některé problémy či dotazy zhotovitelů podle konkrétní situace.

## 3D skenování výrobních hal

Přesné zaměření výrobních hal klasickým způsobem je prakticky nemožné, taková operace by byla zdlouhavá, náročná na čas, ale také může omezit nebo zastavit výrobu.

Osvědčilo se vytvářet zadání společně s majitelem objektu. Výstup nemusí nutně sloužit k řešení potenciální nebezpečnosti konstrukcí, ale majitel ho může dále využívat pro tvorbu a návrh technologických linek nebo pro kompletní správu nemovitostí. Přesnost měření se pohybuje v úrovni  $\pm 5$  mm. Jako velmi výhodné se jeví zpracování kompletní pasportizace a vytvoření modelu pro statické programy. Tyto otázky lze bez větších problémů vyřešit s firmou, která skenování provádí. Možné výstupy mají široký rozsah, čímž je zajištěna návaznost na programové vybavení projektové kanceláře, která další řešení zpracovává.

Za zcela nezbytnou součást pasportizace stavby je nutné považovat přesná geodetická měření totální stanicí.

Geometrická přesnost nebo např. vychýlení či pokles pilířů v ose je důležitým signálem pro doplnění prvotní kontrolní prohlídky. Z toho vyplývá nutnost včasného provedení tohoto měření tak, aby bylo možné doplnit požadavky na vlastní úkony diagnostiky.

Toto je základní měření pro další sledování konstrukcí po provedení jejich zajištění. Geometrické odchylky a jejich sledování jsou jedním ze základních úkonů při následných kontrolách objektu v souvislosti s ustanovením provozního řádu (kterému se budeme věnovat v dalších kapitolách).

3D skenování a práce s „modelem“ umožní nejen kvalitní práci statika v moderních programech Midas Civil, ale také poskytuje dostatečně přesný podklad pro výrobní dokumentaci oporových nebo jiných konstrukcí, aby byly zabezpečeny dodatečně předpjaté střešní vazníky.

## Využití dronu

Široké využití má pro průzkum běžně dostupný typ dronu do hmotnosti 250 g opatřený velmi dobrou kamerou. Výstupy jsou jak ve formě kvalitní fotodokumentace, tak ve formě videa.

Zcela nezastupitelné je využití této techniky pro průzkumy střechy, a to jak na povrchu, tak při okrajích střechy nebo ve štítech. Lze získat

přesné detaily ke klempířským prvkům, hromosvodu, ale i případným poruchám na povrchu nebo u žlabovek.

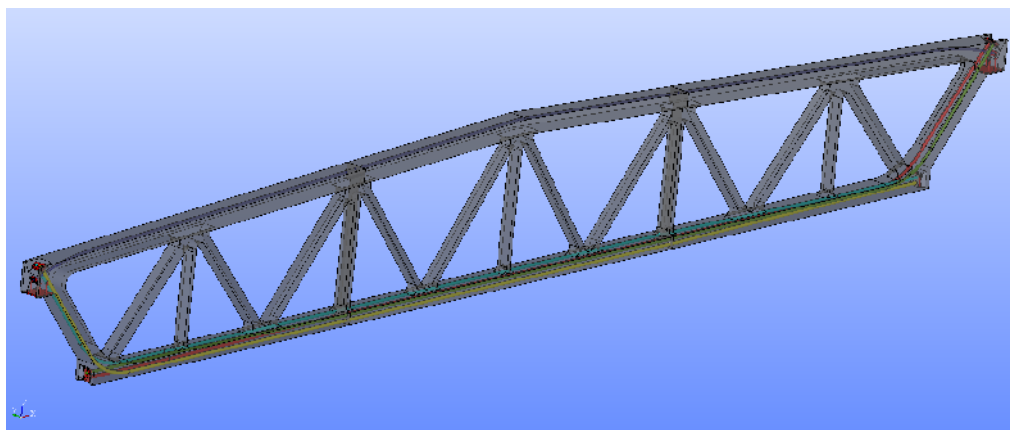
Dronu lze využít i k průzkumu pod střechou – zkoumá usazení vazníků na sloupech, obtížně přístupné detaily nad sloupy nebo pod střechou. Velmi důležité jsou i výstupy pro detaily kotvení technologie atd. Díky své vhodné velikosti a snadné ovladatelnosti jde o postup, který poskytuje velmi cenné detailní výsledky.

## Stav předpínací výztuže

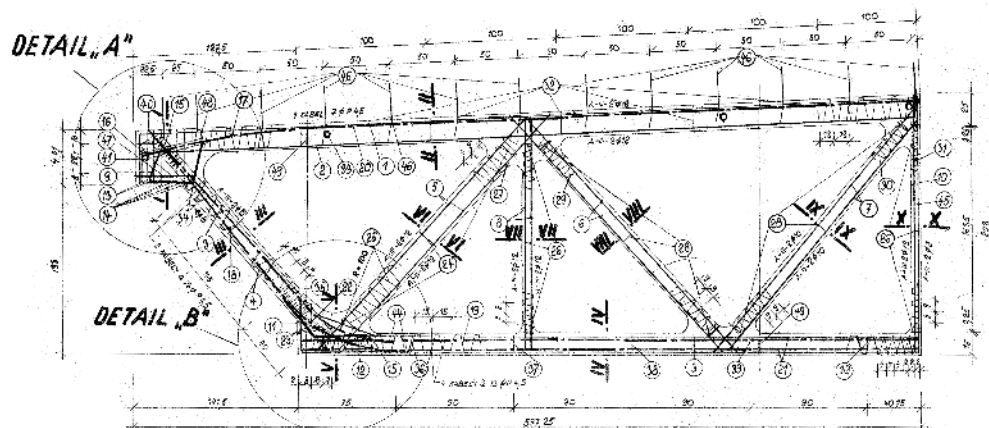
Achillovou patou spínaných střešních vazníků je kondice předpínací výztuže. Předpínací výztuž je uložena v pěti kanálcích a všemi segmenty příhradového vazníku, schéma jejich polohy je na obr. 1. Vedle předpínací výztuže je příhradový vazník, přesněji jeho segmenty, velmi hustě armován klasickou betonářskou výztuží (obr. 2 a 3). Primárně však stabilita příhradového vazníku závisí na schopnostech předpínací výztuže odolávat aktuálnímu zatížení. Podle šetření, která proběhla po kolapsech příhradových vazníků SPP 6-18/6 [1], bylo příčinou ztráty stability vazníků snížení únosnosti předpínací výztuže vlivem korozního napadení. Vliv pevnosti betonu na kolaps konstrukce byl vyloučen, jelikož pevnostní charakteristiky betonu vykazovaly vysoké hodnoty. Současně je jakákoliv snaha o odebrání vzorku pro provedení objektivního hodnocení pevnosti betonu na funkčních vaznicích vyloučena vzhledem k riziku porušení předpínací výztuže, která je v subtilním průřezu prvku uložena ve vzájemně těsné blízkosti. Těžiště stavebně-technického průzkumu tak tkví ve vizuální kontrole celkového stavu příhradového vazníku, především pak jeho kritických lokalit, a v relativně omezené možnosti hodnocení stavu předpínací výztuže endoskopickým průzkumem.

## Vizuální kontrola kritických lokalit

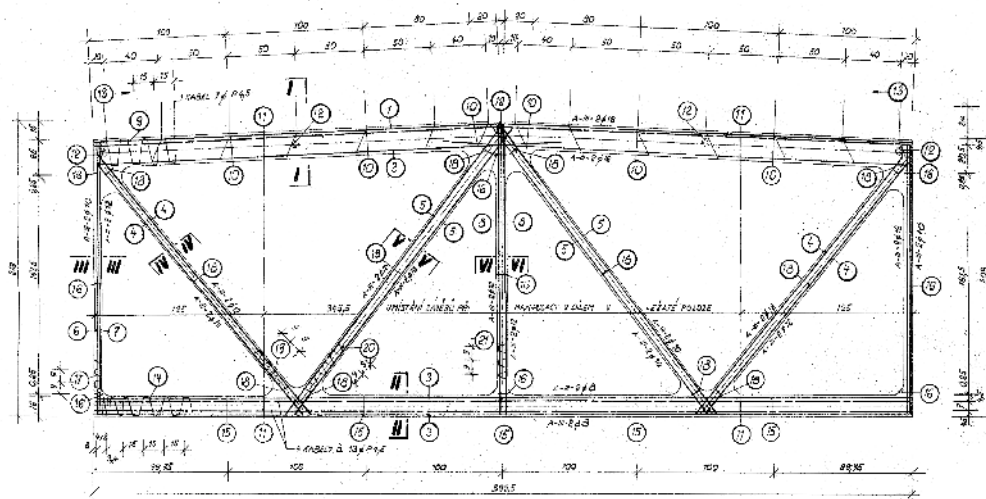
Příhradový vazník SPP má vzhledem ke svému konstrukčnímu řešení množství kritických lokalit, na které je třeba se při vizuální kontrole zaměřit. První skupinu tvoří kotevní oblasti předpínací výztuže. Tyto



▲ Obr. 1 Schematické zobrazení kotevních lokalit předpínací výztuže



▲ Obr. 2 Výkres výztuže střešního předpjatého vazníku SPP 12-18/6 – krajní segment [2]



▲ Obr. 3 Výkres výztuže střešního předpjatého vazníku SPP 12-18/6 – středový segment [3]

lokality jsou na konstrukčním prvku celkem čtyři a jsou situovány osově souměrně na krajních segmentech – při okraji horní pásnice a při okraji dolní pásnice příhradového vazníku. Horní kotevní oblast je tvořena dvojicí kotevních desek, zajišťujících celkem tři svazky předpínací výztuže. V jednoduché kotevní desce o rozměrech 70 × 70 × 40 mm je zajištěn samostatný svazek předpínací výztuže tvořený sedmi dráty o průměru 4,5 mm, který probíhá horní pásnicí příhradového vazníku. Předpínací výztuž je vedena celou délkou horní pásnice a je ukotvena na protější straně opět v jednoduché kotevní desce v horní kotevní lokalitě. Ve dvojité kotevní desce s rozměry 90 × 160 × 40 mm je zajištěna dvojice svazků předpínací výztuže



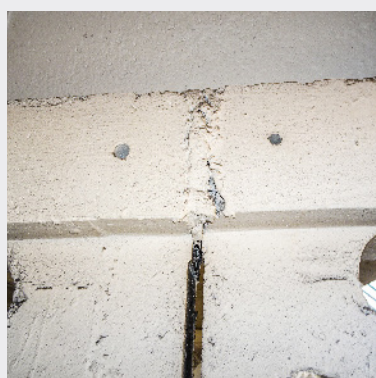
▲ Obr. 4 Jednoduché halové objekty – zneprístupnění čela příhradového vazníku monolitickým průvlakem (4a) nebo prefabrikovaným ukončovacím prvkem (4b)



▲ Obr. 5 Vícelodní halové objekty – vyplnění styků příhradových vazníků maltovou zálivkou



▲ Obr. 6 Dolní kotevní oblasti jsou zpravidla opatřeny ochrannou maltou (6a), nicméně i v tomto případě dochází vlivem koroze ke ztrátě soudržnosti a odloupení ochranné malty (6b, 6c)



▲ Obr. 7 Styčné spáry segmentů příhradového vazníku (7a) a ukázky porušení těsnosti maltové zálivky trhlinami nebo pozůstatky výdřevy (7b, 7c)

▼ Obr. 8 Poruchy střešních svodů a následné zatékání přímo do horní kotevní oblasti (8a, 8b)



tvorěná třinácti dráty o průměru 4,5 mm, která dále pokračuje dvěma samostatnými kanálky prvním krajním diagonálním prutem do dolní pásnice prvku. Předpínací výztuž dále pokračuje dolní pásnicí do protilehlé dolní kotevní oblasti, kde končí také ve dvojité kotevní desce. Dolní pásnice příhradového vazníku tak ukrývá celkem čtyři samostatné kanálky s předpínací výztuží 13 × ØP4,5. Uvedené rozměry jsou platné pro vazník SPP 12-18/6. Z hlediska diagnostického průzkumu je nejkritičtější oblastí horní kotevní oblast, která je současně místem podporového uložení vazníku na sloup, případně průvlak. Kontrola této lokality je značně komplikovaná, jelikož je zpravidla omezený přístup ke kotevním deskám, a to v několika rovinách. V první řadě by měly být kotevní desky opatřeny ochrannou maltou, což však nebývá vždy pravidlem. U jednoduchých halových objektů tuto lokalitu obvykle zcela uzavírá monolitický průvlak, ale také prefabrikovaný žlabový nebo římsový dílec, viz obr. 4. Ve vícelodních halových objektech na sebe vzájemně příhradové vazníky nad podporou navazují a styk prvků je zaplněn maltovou zálivkou, viz obr. 5. Dolní kotevní oblasti jsou zpravidla opatřeny ochrannou maltou, nicméně i v tomto případě dochází vlivem koroze ke ztrátě soudržnosti a odloupení ochranné malty, viz obr. 6. Vedle kotevních oblastí předpínací výztuže jsou důležitou kritickou lokalitou spoje jednotlivých segmentů příhradového vazníku. Kontaktní spáry jsou zality maltovou zálivkou, existuje však riziko porušení těsnosti, a tím i možného průniku vlhkosti do kanálků k předpínací výztuži, viz obr. 7. V kombinaci s poruchami střešního pláště nebo nefunkčním odvodňovacím systémem může docházet k dlouhodobému zatékání přímo do oblastí obnažených kotevních desek a nepozorovaně až k havarijní situaci, viz obr. 8.

## Endoskopický průzkum

V první řadě je nutno upozornit na problematiku hodnocení vlivu korozního napadení související s vlastnostmi předpínací výztuže. V současnosti neexistuje spolehlivá metoda nedestruktivní diagnostiky zabudované předpínací výztuže. V rámci diagnostických prací byla využita metoda průmyslové endoskopie, kdy je hodnocení míry poškození velmi obtížné.

V rámci endoskopického průzkumu byla hodnocena dvě kritéria, v první řadě existence injektážní malty v kanálcích předpínací výztuže. Endoskopický průzkum v této fázi zjišťoval, zda je kanálek zcela bez injektáže, částečně injektován, nebo zcela injektován. Druhým hodnotícím kritériem bylo stanovení míry korozního napadení předpínací výztuže. V této fázi se hodnocení opíralo o vizuální srovnání s přehledem uvedeným v tab. 1.

Tab. 1 slouží jako srovnávací přehled pro vizuální hodnocení stavu koroze předpínací výztuže

v příhradových vaznicích. Vychází z experimentálního měření na reálných vzorcích předpínací výztuže z patentového drátu [4]. Vizuálně lze míru koroze a případného úbytku účinné plochy výztuže hodnotit velmi obtížně. Jedná se vždy o lokální hodnocení v místě vývrtu, počet je vzhledem k semidestruktivnímu charakteru omezen. Změna průřezové plochy již v řádu jednotek procent ovlivňuje celkovou tažnost a únosnost lana vyjádřenou v kN. Podle ČSN 73 6221 [5] je již 5% ztráta plochy považována za havarijný stav.

Lokality pro kontrolní vrty byly voleny tak, aby co nejlépe mohly charakterizovat stav uvnitř kanálků pro předpínací výztuž, viz schéma na obr. 10. Jako vhodná lokace se jeví kanálky v prvním krajním diagonálním prutu příhradového vazníku. Vývrty byly prováděny ve vzdálenosti 450–650 mm od horního konce diagonálního prutu. V této oblasti se nacházejí dva vzájemně odskočené svazky předpínací výztuže vedené v hloubce cca 35 mm a 75 mm. Při provedených kontrolních vrtech se potvrdily obavy ohledně injektážní malty, která velmi často nebyla vůbec indikována.

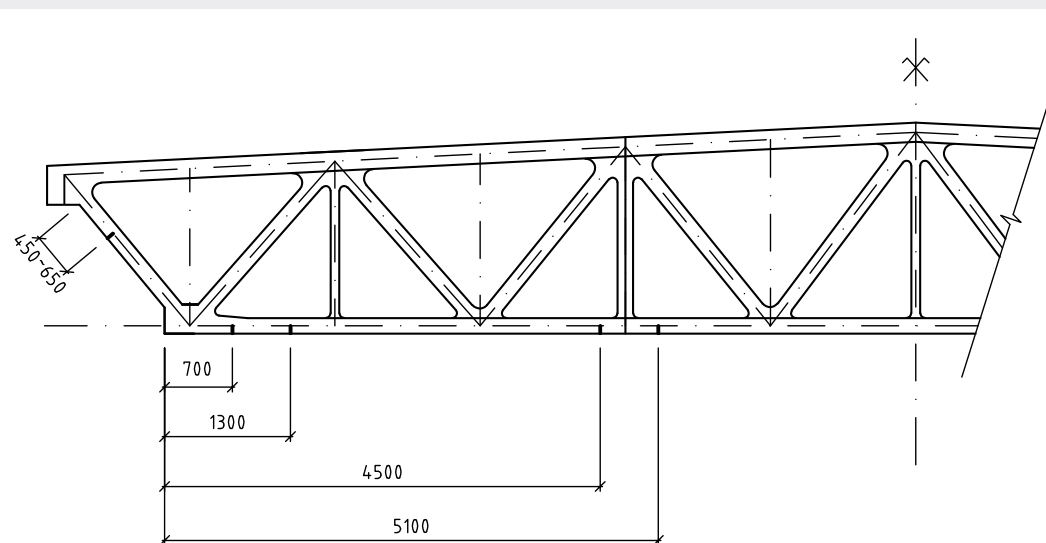
▼ Tab. 1 Přehled korozního napadení předpínací výztuže z patentového drátu [4]

	Bez koroze.
	Mírná povrchová koroze, lokálně s projevy rozvoje koroze ve štěrbinách mezi patentovými dráty. Korozně oslabeno až 0,19 % průřezové plochy.
	Středně rozvinutá koroze plošného charakteru. Korozně oslabeno až 1,26 % průřezové plochy.
	Intenzivnější koroze s přechodem k důlkové formě. Korozně oslabeno až 2,72 % průřezové plochy.
	Intenzivní koroze s tvorbou odlupujících se šupin. Korozně oslabeno až 8,38 % průřezové plochy.
	Výrazné oslabení s přerušením patentovaných drátů. Korozně oslabeno až 21,34 % průřezové plochy.



▲ Obr. 9 Záznamy z kontrolních vrtnů, kde byla indikována přítomnost injektážní malty (9a, 9b, 9c)

Další vhodnou lokací pro provedení kontrolních vývrtů byla dolní pásnice příhradového vazníku. V tomto případě byly vedeny kontrolní vývrty ve vzdálenosti 700 mm a 1 300 mm od dolní kotevní oblasti. Dále pak byly provedeny vývrty ve vzdálenosti 4 500 mm a 5 100 mm, které byly situovány před a za styčnou spárou krajního a středového segmentu. Ačkoliv jsou v dolní pásnici prvku situovány celkem čtyři svazky předpínací výztuže, byla navržena vždy stejná dvojice kanálků v hloubce cca 35 mm od dolního líce vazníku.

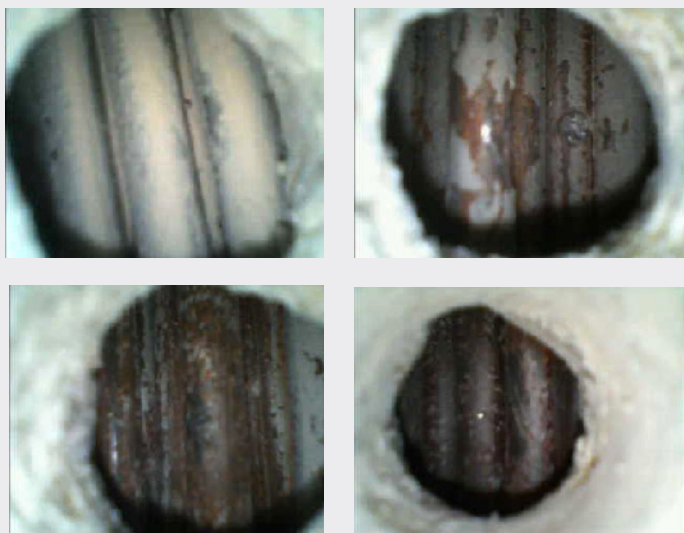


▲ Obr. 10 Schéma umístění kontrolních vývrtů pro endoskopický průzkum vazníku



▲ Obr. 11 Ilustrační pohledy na kontrolní vývrty endoskopického průzkumu na levém krajním diagonálním prutu vazníku (11a, 11b) a v levé části dolního pásu vazníku ve vzdálenosti 1 300 mm od dolní kotevní oblasti (11c, 11d)

na kterékoli stavbě zastřešené systémem SPP ZIPP. Současně s hodnocením technického stavu konstrukcí byla zjištěna i řada modifikací jednotlivých konstrukčních soustav systému ZIPP na prohlížených stavbách. Tyto modifikace často nejsou dohledatelné v dostupné projektové dokumentaci a vyžadují ověření skrze stavebně-technický průzkum. Z tohoto důvodu je vhodné přistupovat ke každému takovému objektu individuálně a provést komplexní diagnostiku stavby tak, aby zjištěné informace tvořily dostatečný podklad pro následnou statickou analýzu konstrukce i návrh její sanace. ■



▲ Obr. 12 Příklad různých rozsahů korozního napadení předpínací výztuže (12a, 12b, 12c, 12d)

Postup práce při endoskopickém průzkumu spočíval v následující posloupnosti pracovních kroků:

- vyhledání kanálků předpínací výztuže detektorem výztuže a zakreslení polohy;
- navrtání kontrolního otvoru  $\varnothing 6$  mm, po potvrzení polohy kanálku následné rozšíření otvoru na  $\varnothing 10$  mm;
- kontrola kanálku inspekčním videoskopem a provedení záznamu;
- zaměření polohy vrtů a fotodokumentace kontrolního místa včetně podstatných návazností.

## Shrnutí

Výše uvedené zkušenosti byly sepsány na základě výsledků z realizovaných stavebně-technických průzkumů na objektech v Moravskoslezském kraji, Středočeském kraji a Kraji Vysočina. Vzhledem k podobnosti poruch na vzájemně nezávislých stavbách lze předpokládat výskyt výše popsaných defektů

## Zdroje:

- [1] ŠPALEK, R. 2019. VÝZVA: Opakované havárie betonových předpínaných vazníků. *Zprávy a informace ČKAIT* [on-line]. 2019 [cit. 24.01.2020]. Dostupné z <http://zpravy.ckait.cz/vydani/2019-01/vyzva-opakovane-havarie-betonovych-predpinanych-vazniku>
- [2] Armovací výkres střešního předpjatého vazníku SPP 12-18/6 – krajní díl – typový podklad
- [3] Armovací výkres střešního předpjatého vazníku SPP 12-18/6 – středový díl – typový podklad
- [4] FARHIDZADEH, A., A. EBRAHIMKHANLOU and S. SALAMONE. *Corrosion damage estimation in multi-wire steel strands using guided ultrasonic waves. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 2015, vol. 9437. DOI: 10.1117/12.2084053.
- [5] ČSN 6221 73 Prohlídky mostů pozemních komunikací. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

## english synopsis

### Post-tensioned Roof Truss Constructions, Part 3

The paper summarises the experiences gained from structural and technical surveys and diagnostic work in hall buildings. Its load-bearing structure was designed using the ZIPP construction system with SPP 6-18/6 and SPP 12-18/6 prestressed truss girders. Visual inspection of critical localities is important, and 3D scanning, drones and endoscopic surveying can be used in this work too.

### klíčová slova:

průzkumy, modelování, diagnostika staveb, konstrukce předpjaté, konstrukce nosné, vazníky, výztuž

### keywords:

surveys, modelling, diagnostics of buildings, prestressed structures, load-bearing structures, trusses, reinforcement