

SMĚR VÝVOJE KABELŮ DODATEČNÉHO
PŘEDPÍNÁNÍ V OBDOBÍ FIB KONGRESU V ÓSACE

VLASTIMIL ŠRŮMA

HLAVNÍ SMĚRY SOUČASNÉHO
VÝVOJE

Technologie dodatečného předpínání betonových konstrukcí prochází i nadále trvalým vývojem, a to ve třech hlavních, vzájemně se ovlivňujících oblastech:

- **konstrukční řešení předpínacích kabelů** s ohledem na umístění kabelů vůči betonu konstrukce, míře soudržnosti s betonem vyztužované konstrukce a v závislosti na použitém materiálu lan, resp. drátů nebo tyčí;
- **protikorozní ochrana předpínací výztuže** s ohledem na systém jejího koncepčního návrhu, časovou fázi jejího vytvoření (průmyslově versus na staveništi, co nejdříve po instalaci výztuže versus s pohodlnou prodlevou) a použitý materiál;
- **nekovová předpínací výztuž**, zpravidla z uhlíkatých, případně skleněných vláken.

Technický vývoj se soustřeďuje do výzkumných a konstrukčních laboratoří předních světových producentů předpínacích výztuží a předpínacích systémů, do specializovaných pracovišť technických univerzit a do komisí mezinárodních odborných společností, z nichž *fib* je tou nej přednější. Aktuální literatura a hlavní zdroje informací jsou soustředěny v závěru článku.

STAV STANDARDIZACE
A SOUČASNÁ SITUACE NA TRHU
PŘEDPÍNÁNÍ

Evropa prochází procesem rozšiřování členů Evropské unie a svět obecně procesem globalizace a s ním souvisejícím omezováním překážek volného obchodu. Vzhledem k různorodým politickým a hospodářským zájmům jednotlivých zemí, vzhledem k jejich různorodé kulturní a sociální úrovni a nekompatibilitě právních a ekonomických systémů se ovšem jedná o pracný a často rozporuplný proces. Jeho charakteristickým rysem v oblasti evropské standardizace předpínání je, že mnohé technické normy, které mají kontinent sjednocovat, jsou pořád ještě ve fázi pouhých přednorem. Evropa se sice naštěstí už dokázala sjednotit na základních normách pro navrhování betonových konstrukcí (Eurokód 2) a požadavcích na beton (EN 206-1), vydání evropských standardů pro betonářskou

výztuž (EN 10080) a přepínací výztuž (EN 10138) se však již dlouhé roky nehýbe z místa. Evropské normy EN 1991 a EN 1992 s odpovídajícími normami pro stavební materiály, provádění a zkoušení tvoří systém kvalitních a pokrokových norem, jejich závazné zavedení v Evropě však nelze očekávat dříve než za 4 až 8 let. Nároky na praktické zvládnutí jejich koncepce jsou poměrně značné a jejich používání proto nebude pro běžné uživatele vždy snadné. Jiným důvodem ke kritice EN 1992 je přetvárající vysoká hodnota povoleného napětí přepínací výztuže při napínání ($0,95 f_{p0,1k}$), která může vést při souběhu negativních okolností (zvýšené tření výztuže v důsledku povrchové koroze, nepřesnost měřidel napínacího lisu aj.) k překročení meze pružnosti předpínací výztuže. I z tohoto důvodu se v Německu, Rakousku, Švýcarsku i jinde objevily národní modifikace těchto norem, které objektivně nejsou nezbytně nutné, a které se mohou navíc stát základem nových obchodních omezení.

V budoucnosti se budou v Evropě postupy dodatečného předpínání schvalovat podle směrnice ETAG 013 Systémy dodatečného předpínání pro betonové konstrukce z roku 2002. Tato směrnice obsahuje bývalé národní normy, např. starší směrnice FIP pro kotvení a nové doporučení německého DIBt pro deviátory. Požadavky na provádění byly však z této směrnice z formálních důvodů vyřaty a budou obsahem navazujícího předpisu.

Za této situace jsou na poli vyztužování i z nezbytnosti velmi aktivní národní a mezinárodní odborné asociace (*fib*, PTI, ASBI), které připravují a vydávají svoje směrnice a doporučení. Ty se zabývají vedle spolehlivosti vyztužovaných konstrukcí stále více i zvýšením jejich trvanlivosti a optimalizací celkových nákladů na vyztužovanou konstrukci, včetně nákladů na její údržbu a budoucí demolici. Novým požadavkem, který se do těchto předpisů promítá, je zachování kvalitního životního prostředí pro příští generace.

Obsáhlý příspěvek na téma problematiky a pokroku v konstrukčním řešení kabelů v dodatečně předpínaném betonu [1] měl v Ósace profesor Dieter Jungwirth (firma DSI, Mnichov), který je i v ČR dobře známý, např. z koncepčního řešení dop-

nutí dálničního mostu přes Sedlický potok.

Pro současnou situaci na evropském (i světovém) trhu předpínání je charakteristický nadbytek kapacit, který přivedl k bankrotům řadu specializovaných firem a způsobil v posledních čtyřech letech pokles cen v řádu 3 až 5 %. Stavební trh je dnes trhem kupujícího, a to platí i pro předpínání. Neznamená to ovšem zaručenou kvalitu prací. Volání po tom, že by investoři neměli upřednostňovat ty nejlevnější nabídky, ale obracet se na nejkvalifikovanější dodavatelské firmy s dostatečnými referencemi, zní unisono z různých koutů světa. Ovšem košile láce je bližší kabátu spolehlivosti u staveb menší publicity až příliš často a vybírat dodavatele předpínání, kteří nabízejí optimální celkovou cenu a záruku s ohledem na celou dobu životnosti konstrukce, se vždy prostě nedaří.

KONSTRUKCE PŘEDPÍNACÍCH
KABELŮ

Celosvětově stále dominuje klasická, za studena tažená a patentovaná přepínací výztuž v podobě lan pevností až 2000 MPa. Požadavky na její vlastnosti předepisuje prEN 10138. Nejdůležitějším úkolem při použití této vysoce kvalitní výztuže zůstává její patřičná ochrana proti korozi. Kabely ze skleněných nebo uhlíkových vláken, které představují určité materiálové alternativy, zůstávají, navzdory řadě technicky zvládnutých použití, stále jen doplňkovými produkty. Jejich úspěšnému rozšíření na trhu brání stále ještě velmi nevýhodný poměr ceny a užitné hodnoty. Jedinými dvěma oblastmi, v nichž význam těchto materiálů nabyl již dnes seriózního významu, je použití tyčí ze skleněných vláken při ražbě tunelů a použití kabelů z uhlíkových vláken u předpjatých mostů.

Jednotlivé prvky systémů dodatečného předpínání (typicky kotvy, spojky, řešení deviátorů) různých výrobců se v rámci postupující technické optimalizace stále více sblížují. Například konstrukční řešení lanových kotev s násobnými roznášecími nálitky jsou dnes u předních světových výrobců (BBRV, DSI, Freyssinet, VSL, SUSPA a VT) prakticky totožná (obr. 1 až 5), navíc je lze použít jak u hutného, tak i u lehkého nebo vysokopevnostního betonu. Velký prostor pro další zdokonalování předpínacích systémů je ale ve vývoji indi-

viduálních komponentů, které systém optimálně dotvářejí s ohledem na konkrétní podmínky, a v promyšleném ukládání výztuže do konstrukce. To se týká např. ukládání celých, předem zkompletovaných kabelů do konstrukce, protože právě to může být často technologicky i ekonomicky výhodné.

Standardním prostředkem, kterým je celosvětově zajišťována soudržnost **vnitřních kabelů** s vlastní betonovou konstrukcí a zároveň jejich základní protikorozní ochrana, je pořádek normální cementová injektážní malta. Řada přetrvávajících závad injektáže v různých zemích světa a rozvoj stavební chemie však vedly ke zvýšení požadavků na úroveň injektážní malty a na celý proces injektáže kabelů. K dosažení této vyšší úrovně se doporučuje buď užívat kvalitnější maltu s koloidními vlastnostmi, speciálními druhy cementu a přísadami (dražší řešení), anebo „alespoň“ systematicky zvýšit kontrolu jakosti celého procesu injektáže – viz nové normy EN 445 až EN 447 zavedené i do systému našich ČSN. Pro zvýšení úrovně protikorozní ochrany kabelů se rozšiřuje používání PP/PE trubek místo trubek ocelových k vytváření kabelových kanálků. Trubky z plastu navíc snižují tření lan kabelů a vedou k vyšší únavové pevnosti přepínací výztuže; jsou ovšem vždy dražším řešením. Kabely bez soudržnosti (monostrendy) se ve vzrůstající míře používají ve stropních konstrukcích budov, v nádržích a pro příčné předpínání mostních konstrukcí.

Vnější kabely jsou většinou sestavovány z lan chráněných proti korozi již při tovární výrobě, např. z monostrendů. Jejich ochrana je tak zajištěna navzdory případnému porušení betonové konstrukce trhlinami. Používaná konstrukční řešení jsou různá (obr. 6). Jejich škála sahá od řešení zcela totožného se standardní konstrukcí vnitřních kabelů se soudržností, tj. místo monostrendů se použije obyčejných ocelových lan a kabel se v trubce injektuje cementovou injektážní maltou, až po náročná řešení ochrany lan dvojitými obaly vyplněnými speciálními izolačními hmotami. Tyto sestavy jsou samozřejmě výrazně dražší a používají se pouze ve speciálních případech.

Relativní náročnost zajištění spolehlivé injektáže normální cementovou maltou vede k trvalé snaze najít pro protikorozní ochranu kabelů jinou spolehlivou a přiměřeně levnou hmotu. V principu lze

použít tzv. mikrovosk (parafín s nízkým obsahem oleje) nebo minerální tuky (směsi mastných kyselin kovů a minerálních olejů). Obě tyto hmoty navíc prakticky odstraňují korozi výztuže v důsledku tření při únavovém zatížení. Dosud však nejsou standardizovány požadavky na řadu jejich rozhodujících vlastností, jakými jsou tekutost, odlučování oleje, nasákavost, zmýdlovatění, mikrobiologická odolnost a teplotní roztažnost. Pro použití mikrovosku a minerálních tuků musí být vypracována také striktní pravidla provádění. Je totiž třeba např. zabránit předčasnému ochlazení těchto materiálů, protože se při něm vytvářejí kavemy.

Zcela specifikovány nejsou dosud ani požadavky na PP/PE trubky kabelových kanálků a obalů vnějších kabelů. Intenzivní výzkum probíhá např. na TU v Čáchách. U těchto výrobků je třeba věnovat zvláštní pozornost především teplotní stálosti jejich vlastností a jejich odolnosti vůči mechanickému poškození při výrobě i během všech fází jejich použití. Principiálně musí být systém volných kabelů v celém svém viditelném a dostupném rozsahu robustní, tj. dostatečně tuhý, opravitelný, a také přiměřeně odolný vůči ohni, ultrafialovému slunečnímu záření a vandalismu. Tyto požadavky ovšem opět lépe splňuje klasická cementová injektáž než trubky vyplněné voskem nebo tuky. Zásadní možnosti konstrukčního řešení vnějších kabelů jsou dnes tyto:

- HDPE trubka, standardní ocelová lana, cementová injektážní malta;
- HDPE trubka, standardní ocelová lana, spirála zajišťující krytí, cementová injektážní malta;
- HDPE trubka, standardní ocelová lana, injektáž minerálním tukem (mikrovoskem);
- HDPE trubka, monostrendy, bez injektáže;
- HDPE trubka, monostrendy, cementová injektážní malta;
- HDPE extrudovaný povlak monostrendů usměrněných do skupin.

Hrubé relativní cenové srovnání jednotlivých druhů kabelů (délka kabelu 45 m, dva deviátory):

- kabel ze standardních ocelových lan, injektáž cementovou maltou, ocelové trubky (100 %),
- kabel z monostrendů, bez injektáže, ocelové trubky (120 %),
- kabel ze standardních ocelových lan, injektáž cementovou maltou,



Obr. 1 Lanová kotva DYWIDAG, typ MA



Obr. 2 Lanová kotva VSL, typ CS 2000

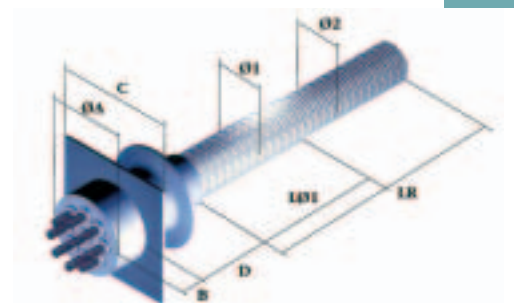


Obr. 3 Lanová kotva Freyssinet, typ C a R



Obr. 4 Lanová kotva TENSACCIAI, typ MTAI

Obr. 5 Lanová kotva MK4, typ MSA



- spirála zajišťující krytí, HDPE trubky (150 %),
- kabel z monostrendů, injektáž cementovou maltou, HDPE trubky (200 %),
- kabel z monostrendů zalitých ve skupinách do HDPE extrudovaných povlaků (200 %),
- kabel z galvanizovaných lan, bez injektáže, HDPE trubky (200 %).

**VNITŘNÍ KABELY
Z MONOSTRENDŮ BEZ
SOUDRŽNOSTI S BETONEM**

Tyto kabely se uplatňují stále více v Německu, protože narůstá počet klientů, kteří se chtějí vyhnout některým nevýhodám vnějších kabelů. Konstrukce těchto vnitř-

ních kabelů umožňuje jak jejich částečné napnutí bezprostředně po odpovídajícím ztvrdnutí betonu, tak i výměnu jednotlivých lan a postupně i celých kabelů. Typické uspořádání je na obr. 7. Vzhledem k působení příčného tlaku a možným poškozením třením a při výměně, se často používá dvojitě ochrany lan PE povlaky a obaly. Standardní ocelová lana v PE obalech (monostrendy) lze dále zaměnit nebo postupně vyměnit za lana galvanizovaná nebo PE potažená a tím dále zvýšit jejich ochranu. To vše už bylo úspěšně realizováno. Náklady na předpínací kabely tím ovšem dále stoupají. Výhledově se pracuje na přechodu z kruhových patentovaných drátů na lana z patentovaných drátů se čtvercovým průřezem 6,2/6,2 mm o smluvní mezi kluzu 1550 MPa. U těchto lan, uspořádaných navíc ještě do usměrněných svazků, by totiž mělo výrazně klesnout příčné tlakové namáhání oceli lan v deviátorech.

**SYSTÉMOVÉ
POJETÍ PROTIKOROZNÍ OCHRANY
PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE**

Ve snaze dát systémům protikorozní ochrany předpínací výztuže určitý jednotný systém se ustáluje rozeznávání čtyř úrovní ochrany:

- **1. úroveň:** Základní (koncepční) ochrana výztuže vyplývající z uvážlivého (koncepčního) návrhu konstrukce jako celku. Tato úroveň je považována za rozhodující. Zásadou je omezit už vhodným koncepčním řešením konstrukce nebezpečí možného přístupu vody a korozivních médií k výztuži na minimum.
- **2. úroveň:** Vodotěsná izolace povrchů betonové konstrukce v kritických oblastech možného ohrožení předpínací výztuže.
- **3. úroveň:** Používání dostatečně hutné-

ho betonu s co nejnižší vodopropustností v kritických oblastech možného ohrožení předpínací výztuže.

- **4. úroveň:** Vlastní ochrana předpínací výztuže jejím vhodným konstrukčním řešením.

Tato 4. úroveň se ještě z hlediska způsobu vytvoření ochrany dělí na dvě kategorie:

- průmyslově (předem) vytvořená protikorozní ochrana předpínací výztuže nebo celých kabelů,
- protikorozní ochrana předpínací výztuže nebo celých kabelů vytvořená (dodatečně) na staveništi.

Tovární protikorozní ochrana dnes zahrnuje v principu tyto možnosti:

- obalení lan tenkým PE obalem vyplněným minerálním tukem;
- galvanizaci povrchu lan zinkem nebo směsí zinku a hliníku;
- obalení lan epoxidovým potahem;
- systémy zpožděné soudržnosti (After-Bond Systems), které jsou založeny na postupně tvrdnoucí epoxidové pryskyřici, která umožňuje kabelům chovat se v první fázi jako by bez soudržnosti a ve fázi druhé, po vytvrzení, už se soudržností.

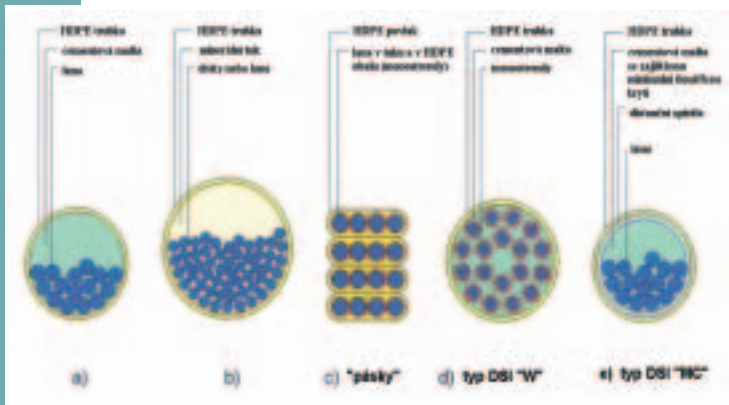
Běžně používané možnosti **staveništní protikorozní ochrany:**

- injektáž cementovou maltou (dnes často modifikovanou),
- injektáž trubek mikrovoskem nebo minerálním olejem,
- vodotěsné trubky a celý systém z HDPE (dnes někdy i elektricky izolovaný).

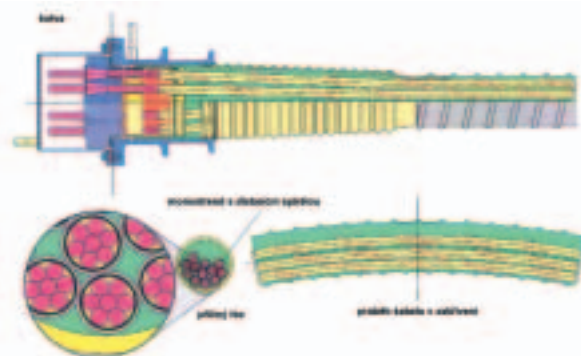
Literatura

- [1] Jungwirth, D.: Problems, solutions, developments and applications at different kinds of post-tensioning tendons from the European point of view. Proceedings of the first fib Congress 2002, Osaka 2002
- [2] fib Bulletin 7: Corrugated plastic ducts for internal bonded post-tensioning. Technical report, fib, Lausanne 2000
- [3] fib Bulletin 11: Factory applied corrosion protection of prestressing steel. State-of-art report, fib, Lausanne 2001
- [4] fib Bulletin 15: Durability of post-tensioning tendons. Technical report, fib, Lausanne 2001
- [5] fib Bulletin 20: Grouting of tendons in prestressed concrete. Guide to good practice, fib, Lausanne 2002
- [6] Ganz, H. R.: Recent developments in the protection of prestressing steels. In Proceedings of the first fib Congress 2002, Osaka 2002

Obr. 6 Typické průřezy vnějších předpínacích kabelů



Obr. 7 Typické uspořádání vnitřního kabelu z monostrendů bez soudržnosti s betonem



Ing. Vlastimil Šrůma, CSc.
Česká betonářská společnost ČBSI
Samcova 1, 110 00 Praha 1
tel.: 222 316 173, fax: 222 311 261
sruma@cbz.cz, www.cbz.cz