

TECHNOLOGIE PŘEDPÍNÁNÍ KLIZNÝMI KABELY

Odborný garant sekce: Ing. Pavel Čížek

PŘEDPÍNÁNÍ KLIZNÝMI A VOLNÝMI PŘEDPÍNAČÍMI PRVKY

Přehled způsobu předpínání betonu - kluzná lana typu MONO-STRAND - kluzné kabely - předpínání vnějšími kabely - statické působení konstrukcí předepjatých kabely bez soudržnosti

1. Úvod

Předpětí lze vnést do betonové konstrukce řadou způsobů, z nichž každý má své přednosti a nedostatky. Je v rukou konstruktéra, aby volil pro daný případ nejvhodnější způsob. V podstatě lze rozdělit způsoby předpínání takto:

1. Podle polohy předpínacích prvků (tj. kabelů, tyčí, drátů, lan), vzhledem k betonové konstrukci rozeznáváme:

1.1 Předpínání vnitřními předpínacími prvky

Prvky procházejí v kanálcích betonovou konstrukcí nebo jsou do napnutí do konstrukce zabetonované a jsou předpínány po nebo před zatvrdnutím betonu (předpínání předem a dodatečně).

1.2 Předpínání vnějšími předpínacími prvky

Prvky jsou vedeny vně betonové konstrukce buď uvnitř jejího obrysu (v dutinách komorového průřezu nebo mezi trámy trámového průřezu) nebo vně jejího obrysu (vzpínadla, závěsy).

2. Podle spojení předpínacích prvků s betonovou konstrukcí rozeznáváme:

2.1 Předpínání se soudržností

Předpínací prvky jsou neposuvně spojeny s betonovou konstrukcí:

2.1.1 po celé své délce (vyinjektováním kanálků cementovou maltou nebo - dnes vyjimečně - dodatečným spojením vnějších předpínacích prvků s konstrukcí přibetonováním jejich obalu k boku konstrukce) a v kotvách - vnitřní předpínací prvky se soudržností

2.1.2 zabetonováním do konstrukce - předem předpjaté předpínací prvky

2.1.3 pouze v kotvách a v místech lomů - vnější předpínací prvky se soudržností.

2.2 Předpínání bez soudržnosti

Předpínací prvky jsou neposuvně spojeny s betonovou konstrukcí pouze v kotvách. Přitom předpínací prvky mohou být:

2.2.1 vnitřní, vedené v trubkách vyplněných speciálním voskem nebo tukem - kluzné kabely nebo kluzná lana systému monostrand - neposuvně spojené s konstrukcí pouze v kotvách

2.2.2 vnější, vedené vně betonové konstrukce, neposuvně spojené s konstrukcí pouze v kotvách, v místech lomů spojené posuvně.

Předpínací prvky jsou chráněny proti korozi obalem, galvanizováním nebo obojím - volné kabely.

K dnes nejrozšířenějšímu klasickému způsobu předpínání vnitřními předpínacími prvky se soudržností přibývá v posledních asi deseti letech užívání vnitřních předpínacích prvků bez soudržnosti, tj. kluzných lan systému monostrand nebo kluzných kabelů, a dále vnějších předpínacích prvků bez soudržnosti, tj. volných kabelů.

Předpínání kluznými lany

Kluzná lana typu monostrand mají obvykle \varnothing 12,5 mm nebo 15,5 mm. Jsou složena z 1 \varnothing P 4,5 + 6 \varnothing P 4 mm nebo z 1 \varnothing P 5,5 + 6 \varnothing P 5 mm. Lano je ve výrobně opatřeno polyethylenovým obalem vyplněným speciálním voskem nebo tukem, který dokonale chrání lano před korozi v rozmezí teplot -20 až +70°C, kdy výplň zůstává plastická. Odpor obalu na 1 bm délky proti posouvání lan v něm je max. 75 N při teplotě +20°C, takže ztráta předpětí třením není tím téměř ovlivněna. Lano se dodávají ve svitcích. Kotví se každé lano samostatně, v oblasti kotev se zbavuje obalu. Lana dodávají specializované firmy. Do ČR se dodávají lana monostrand od firmy Austria Draht z Rakouska nebo fy Kablo Bratislava ze Slovenska. Zatím se v ČR užívají většinou k sestavení vnějších volných kabelů a závěsů zavěšených mostů.

Kluznými lany se dnes v zahraničí (především v USA, ve Velké Británii a ve Švýcarsku) předpínají zvláště deskové, bezhlavicové stropy s větším rozpětím a velkým užitečným zatížením, jako jsou stropy výrobních hal, garáží, skladů apod. Lana jsou vedena v zakřivených dráhách tak, aby momentový účinek předpětí přibližně vyrovnával účinek zatížení stálého a 1/4 užitečného. Z hlediska zvýšené meze únosnosti a s

ohledem na příznivý účinek na namáhání v protlačení v okolí sloupů je účelné umístit 50 až 70 % všech lan v poli do podporových pruhů a zbytek rovnoměrně rozdělit do mezipodporových pruhů, přičemž vzdálenost lan by neměla být větší než šestnásobek tloušťky desky. Tuto vzdálenost lze zvětšit, anebo popř. zcela soustředit lana jen do podporových pruhů, užíje-li se dostatečně silná betonářská výtzuž omezující šířku trhlin. Toto řešení se jeví jako nejehospodárnější. Betonářskou výtzuž v minimálním rozsahu 0,075 % plochy betonového průřezu je třeba umístit vždy též při horním povrchu v oblasti sloupů, aby se zmenšilo nebezpečí tvoření trhlin, které značně zmenšuje smykovou únosnost průřezů. Lana se vedou bez přerušování několika poli, avšak jejich celková délka by neměla přesahovat 45 m. Při velkých délkách lan se doporučuje umístit na lanech mezilehlé kotvy, neboť jinak je spehlnivost zavedeného předpětí v celé délce lana závislá jen na bezpečnosti krajních kotev. Síla vnesená do lan zůstává i při změnách zatížení prakticky stejná. Jako u každé předpjeté konstrukce je třeba i u těchto konstrukcí umožnit volné zkrácení konstrukce při předpínání. Přestože jsou lana ve svých polyethylenových obalech volně pohyblivá, je obtížné poškozené lano po zabudování z obalu vytáhnout a nahradit novým.

Hlavní přednosti stropů předpjetých kluznými lany jsou:

- malá konstrukční výška (tloušťka desky je minimálně 1/42 rozpětí a nejméně 125 mm,)
- nízké výrobní náklady
- výhodné použití i při velkém užitém zatížení
- malá spotřeba oceli
- snadné provádění s nízkou pracností
- snadné přizpůsobení konstrukce požadavkům složitěho tvaru půdorysu.

Podmínkou úspěšné realizace je pečlivé dodržení předpokladů projektu, především pokud jde o polohu lana a geometrický tvar jejich drah (polohu lan je třeba fixovat betonářskou výtzuží) a pokud jde o velikost vnesené předpínací síly a o postup předpínání.

Předpínání kluznými kabely

Kluzné kabely se liší od běžně užívaných kabelů pro dodatečné předpínání tím, že kanálky, v nichž jsou vedeny, nejsou vyinjektované cementovou maltou, nýbrž speciálním voskem nebo tukem. Dnes se dává přednost vosku, kterým se kanálky injektují při teplotě 80°C až 90°C. Operace je náročná, vyžaduje dokonalé utěsnění všech spojů trubek kanálků, neboť jinak vzniká nepřijemné znečištění konstrukce a často ohrožení pracovníků vytékajícím horkým voskem. Trubky kanálků jsou buď ocelové nebo z tvrzeného polyethylenu. Jejich profil závisí na velikosti kabelů. Dnes se kluzných kabelů vedených uvnitř betonové konstrukce užívá zřídka. Hlavní předností této úpravy předpínací výtzuže je, že je možné kdykoliv kontrolovat a korigovat velikost předpínací síly v kabelu. K tomu je třeba upravit kotvy tak, aby bylo možné kdykoliv po zakotvení znovu uchopit konce drátů nebo lan kabelu do předpínacího zařízení a vložením podložek pod kotvu novou předpínací sílu fixovat. Další předností kluzných kabelů je možnost jejich výměny, jsou-li poškozeny. Je-li to vyžadováno, je třeba užít konstrukci kotev, která by umožňovala odkotvení. Není-li na tento detail pamatováno, kotva se při odkotvení zničí. Odkotvený kabel se z kanálku vytáhne a provlékne se nový.

Kluzný kabel lze též sestavit z jednotlivých kluzných lan, tj. z lan v obalu z tvrzeného polyethylenu vyplněného voskem. Kabelové kanálky jsou vyinjektovány buď cementovou maltou nebo speciálním voskem. Obě tyto úpravy poskytují dvojitou ochranu lan proti korozi, pouze při vyinjektování kanálků voskem je možná jejich výměna.



Prof. Ing. Lubor Janda, DrSc
Stavební fakulta ČVUT, Praha

Předpínání vnějšími kabely

Popsaných konstrukčních úprav kabelů se častěji než pro vnitřní kluzné kabely užívá pro kabely vnější a pro závěsy zavěšených mostů. Trubky, v nichž jsou vnější kabely umístěny, jsou buď ocelové nebo z tvrzeného polyethylénu. Lze však užití i kabelů sestavených z lan systému monostrand vedených volně, bez trubky. Dvojitá ochrana proti korozi lze dosáhnout též užitím kabelů sestavených z lan z pokovovaných drátů v trubce vinyjektované cementem nebo voskem. Závěsy zavěšených mostů a někdy i vnější kabely štíhlých konstrukcí jsou opakovaně namáhány proměnnými silami závislými na pohyblivém zatížení. Kromě únavového namáhání v kotvách mohou v tomto případě vzniknout nepříznivé jevy tzv. koroze z tření, která vzniká v místech, kde se o sebe třou lana nebo kde se lana třou s jinou kovovou částí, jako je ocelový povrch trubky, do níž je kabel uzavřen nebo deviátor, tj. kovový přípravek umožňující změnu směru vnějšího kabelu. Tomuto jevu lze zabránit speciálními distančními vložkami fixujícími polohu lan v kabelu. Je-li kabel sestaven z lan systému monostrand, docílí se účinného fixování jejich polohy vinyjektováním prostoru ochranné trubky kabelu před předpínáním lan cementovou maltou. U štíhlých konstrukcí by se mělo vždy výpočtem prokázat, že tření v deviátorech je dostatečné, takže při pohyblivém zatížení nevzniká v deviátorech posun a tím nebezpečí vzniku koroze z tření.

Moderní, zvláště mostní konstrukce se dnes velmi často předpínají kombinací vnitřních a vnějších kabelů nebo někdy i jen vnějšími kabely. Tento způsob předpínání dává možnost

- odstranit ze stěn tenkostěnných komorových průřezů vnitřní kabely a tím usnadnit zpracování betonové směsi
- dosáhnout značného vylehčení konstrukce
- zjednodušit vedení kabelů a zmenšit ztráty předpětí
- usnadnit vizuální a mechanickou kontrolu předpětí a výměnu kabelů nebo zvětšení jejich počtu.

Podmínkou úspěšné realizace je přesnost provedení a dodržení předpokladů projektu.

Poznámka ke statickému působení konstrukcí předepnutých kabely bez soudržnosti s betonem:

V porovnání s konstrukcemi předpínanými předpínacími prvky se

soudržností vykazují konstrukce předpínané kluznými lany nebo kabely, tedy prvky bez soudržnosti s betonem, asi o 15 % menší stupeň bezpečnosti proti dosažení meze únosnosti. Je to způsobeno tím, že změny přetvoření kluzných lan nebo kabelů nejsou funkcí deformace betonu v místě předpínacího prvku, jako je tomu v případě prvků se soudržností, nýbrž jsou funkcí změny deformace celé konstrukce. Na mezi únosnosti tedy nepůsobí soudržná předpínací výtuz jako výtuz betonářská, jako je tomu u konstrukcí předepnutých prvků se soudržností. Změny napětí v kluzných lanech nebo kabelech jsou při provozním zatížení vzhledem k tuhosti konstrukce obvykle velmi malé. Na mezi únosnosti se vytvoří plastické klouby, o jejichž vzniku rozhoduje pevnost betonu v tlaku. O velikosti největšího pootočení v kloubu rozhoduje mezní přetvoření betonu na mezi únosnosti. Při dosažení tohoto přetvoření není obvykle pevnost kluzné předpínací výtuz vyčerpána. Spotřeba betonářské výtuz je poněkud větší než u konstrukcí předepnutých předpínacími prvky se soudržností. Lze využít předností částečného předpětí a nahradit účinek soudržné předpínací výtuz účinkem betonářské výtuz.

Závěr

Vývojem technologie kluzných lan a kabelů a předpínání vnějšími kabely se dále rozšiřují konstrukční možnosti předpjetého betonu. Nové detaily a konstrukční úpravy zvyšují spolehlivost a efektivnost předpjetých konstrukcí a umožňují výhodné užití předpjetých konstrukcí i v oblastech stavebnictví, v nichž je dosud málo rozšířeno, tj. v oblasti pozemních staveb.

Prof. Ing. Lubor Janda, DrSc

profesor na katedře betonových konstrukcí a mostů Stavební fakulty ČVUT v Praze

Obor činnosti: Konstrukce z předpjetého betonu, zvláště mostní a inženýrské, vlastnosti betonu při dlouhodobém a víceosém namáhání.

Kontaktní adresa:

Stavební fakulta ČVUT
Tháškova 7, 166 29 Praha 6
tel. (02) 3324622, byt 545459,
fax 3117362

KONSTRUKCE Z PŘEDPJETÉHO BETONU S VOLNÝMI KABELY

Obecný úvod o výzkumu a uplatnění volných kabelů - realizace v zahraničí - stropní konstrukce, mosty a rekonstrukce.

1. Úvod

U betonových konstrukcí, dodatečně předepnutých kabely, se obvykle zajišťuje soudržnost předpínací výtuz s betonem. Děje se to tak, že se kabelové kanálky, které jsou v betonu vytvořeny a v nichž jsou osazeny kabely, po napnutí kabelů vyplní injektážní maltou. Injektážní malta z portlandského cementu zajistí jednak soudržnost kabelů s betonem a jednak vytváří alkalické prostředí. Soudržnost umožní předpokládat, že se předpínací výtuz přetváří stejně jako sousedící beton a že průřez konstrukce, složený z betonu a kabelů, zůstává při zatížení rovinný. To umožní plně využít mechanických vlastností předpínací výtuz a to jak při působení návrhového zatížení, tak na mezi únosnosti. Alkalické prostředí chrání v běžném prostředí účinně předpínací výtuz před korozi.

Popsané zajišťování soudržnosti kabelů s betonem ale vyžaduje, aby se prováděly pracné výrobní operace spojené s vytvářením kabelových kanálků. Proto se od samého počátku vývoje předpjetého betonu projevovaly snahy o zavedení volných kabelů, tj. kabelů, jejichž soudržnost s betonem není zajištěna a které se neukládají do kabelových kanálků. U nás se to dalo na úrovni výzkumu. Tehdy se nepodařilo najít spolehlivou ochranu předpínací výtuz před korozi a od sledování využití volných kabelů se upustilo. V tu dobu se v zahraničí volné kabely již používaly. Jelikož však nebyla zajištěna dostatečná ochrana předpínací výtuz před korozi, dostaly se konstrukce s volnými kabely záhy do havarijního stavu. Z tohoto důvodu se i v zahraničí volné kabely přestaly používat.

Během dalšího vývoje předpjetého betonu se v zahraničí vyvinuly možnosti účinné ochrany předpínací výtuz před korozi a v nedávné době se volné kabely začaly v širokém rozsahu používat.

2. Volné kabely

Mezi volnými kabely (dále pouze kabely) a betonem není zajištěna soudržnost, takže se vůči betonu posouvají. S betonem jsou spojeny pouze na koncích kotvami. Pro kabely se užívá běžná předpínací výtuz. Rozeznávají se vnitřní a vnější kabely. Vnitřní kabely jsou

uloženy v betonovém průřezu konstrukce a vnější kabely vně betonového průřezu. Aby se zabránilo soudržnosti mezi vnitřními kabely a betonem nebo aby se vnější kabely chránily před škodlivými vlivy, ukládají se volné kabely do ochranného obalu z plastového povlaku nebo z plastových trubek. Ochranný obal se vyplňuje ochrannou výplní, nejčastěji mazivem, která má chránit kabely před korozi.

Vnitřní kabely procházejí betonem a při změně směru se k němu přimykají. Jejich průběh bývá plynule zakřivený. Často jsou složeny z jednotlivých lan, které již výrobce (např. fa Austriadraht) opatřuje plastovým povlakem vyplněným mazivem. Tato lana se před napnutím zabetonují.

Vnější kabely procházejí převážně mimo beton, o něž se opírají v kotevních blocích, kde jsou zakotveny, a v sedlech, kde mění směr. Jejich průběh bývá lomený s přímými úseky. Obvykle se ukládají do plastových trubek, které se vyplňují mazivem.

Ochranný obal, nejčastěji z polyetylénu, má bránit přístupu betonu a korozních činitelů ke kabelu a průniku maziva k betonu. Jako mazivo se užívají anorganické tuky, živice a vosky, které jsou chemicky stálé a neobsahují škodlivé látky.

Při výpočtu konstrukce se předpokládá, že se kabely vůči betonu posouvají. Síla v kabelech tedy závisí na přetvoření celé konstrukce. Proto kabel při zatížení konstrukce nespolečně působí podstatně s betonem. Napětí betonu v jednotlivých průřezech je totiž úměrné účinkům zatížení (ohybovým momentům), které působí v těchto průřezech, ale síla v kabelu je v celé jeho délce stejná. Na mezi únosnosti je spolupůsobení kabelů a betonu ještě menší, protože se beton v rozhodujícím průřezu přetváří plasty, zatímco síla v kabelu je opět v celé jeho délce stejná.



Prof. Ing. Bohumír Voves, DrSc.
Stavební fakulta ČVUT Praha