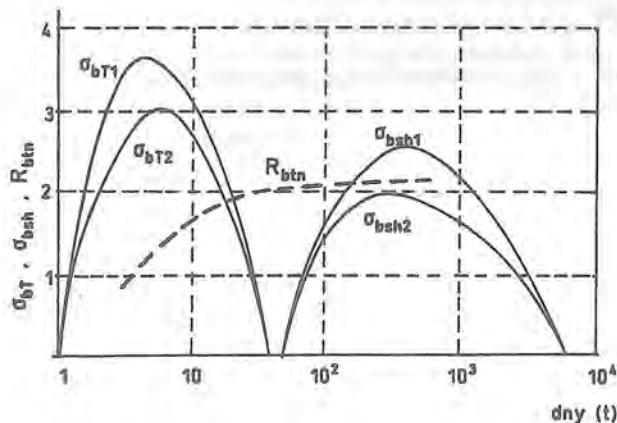


Obr.8 - Izolinie a napětí na nosníku, který nemá vazby na okolí



Obr.9 - Napětí od teploty a smršťování v betonové příčli mostu

Na obr. 9 je znázorněn průběh napětí σ_{bT} od hydratačního tepla a od smršťování (σ_{bsh}) těsně pod povrchem (σ_{b1}) a v hloubce přibližně 0,08 m (σ_{b2}) v masivním prahu mostu pod Barrandovem. Je v něm také vyznačen průběh nárůstu pevnosti betonu v tahu R_{btm} podle CEB-FIP s ohledem na normové hodnoty podle ČSN 73 1201. Tam, kde je napětí σ_b vyšší než R_{btm} , se očekávaly povrchové trhliny.

5 Masivní základové konstrukce

Jsou-li masivní prvky použity jako základové konstrukce, leží na podloží tak, že se nemohou zcela volně posouvat a napětí vyvozená hydratačním teplem a smršťováním tím budou ovlivněna.

To je třeba při výpočtech respektovat, avšak i zde je možno napětí vypočítat jednoduchým způsobem (odst. 1.2) v těch částech nosníku, které jsou dosti vzdáleny od jeho konců. Je však třeba znát pole přetvoření od hydratační teploty a od smršťování (odst. 2 a 3).

Literatura

- [1] Alexandrovskij S. V.: *Rasčet betonnych i železobetonnych konstrukcij na temperaturnyje i vlažnostnyje vozdežystvija*, Stroizdat, Moskva, 1966
- [2] Slovák J., Šmerda Z., Vajner J.: Vplyv hydratačního tepla a vlhkosti na napatost masivnej betónovej mostnej dosky, *Inženýrské stavby* č. 5, 1986, str. 285-289
- [3] Mejzlík L., Medek I.: Teplotní napětí v masivních betonových deskách, *Inženýrské stavby* č. 1, 1987, str. 1-14

Prof. Ing. Dr Zdeněk Šmerda, CSc.

Ing. Jan Šmerda

VIAPONT, Mendlovo nám. 1a,

603 00 Brno

Konstrukce s nesoudržnými a vnějšími kabely

Jaroslav Procházka

V červnu 1993 bylo subkomisí CEN (TC 250/SC2) schváleno anglické znění části 1-5 Eurokódu 2, týkající se konstrukcí s nesoudržnými a vnějšími kabely. V druhé polovině roku 1993 byla tato část přeložena do němčiny a francouzštiny. Na začátku roku 1994 se sjednocují jazykové mutace a pravděpodobně v březnu má být tato část předložena k oficiálnímu schválení komisí.

CEN/TC 250. Po konečném schválení bude tato část rozeslána jednotlivým národním normalizačním institutům jako přednorma ENV 1992-1-5 k zavedení do soustavy národních norem. Doba platnosti této přednormy je stanovena na tři roky. Po dvou letech budou shromážděny připomínky k této ENV a bude rozhodnuto zda bude prodloužena doba platnosti, popř. tato ENV upravena nebo přepracována na normu EN.

Při zavádění ENV 1992-1-5 do soustavy národních norem bude nutné v každém státě vypracovat Národní aplikační dokument (uvádějící odkazy na národní normy v případech, kdy související normy EN, popř. ENV nebyly ještě vypracovány, doplňující ustanovení apod.).

Účelem tohoto příspěvku je seznámení s podstatou ENV 1992-1-5 a osvětlení některých jejich důležitých částí.

Rozsah

ENV 1992-1-5 navazuje na základní část ENV 1992-1-1 a uvádí pouze pozměňující a doplňující ustanovení, které platí pouze pro betonové konstrukce s nesoudržnými a vnějšími kabely.

Předpětí nesoudržnými kabely, které je předmětem této normy, lze realizovat dvěma rozdílnými technologiemi:

- předpětí malými kabely, obvykle monostrandy, umístěnými v plastických obalech malého průměru, které jsou zabotovány;
- předpětí velkými kabely, umístěnými vně betonu, obvykle uvnitř komůrkového průřezu nebo mezi stojinami konstrukcí vytvořených z několika nosníků.

První způsob je obvykle používán ve stropních konstrukcích budov, zatímco oblasti použití druhého jsou mostní konstrukce.



Použití však není přesně vymezené, neboť na jedné straně některé desky silničních mostů mohou být vyztuženy nesoudržnými vnitřními kabely a naopak vnější předpětí je často používáno též u trámů v průmyslových budovách vyrobených z prefabrikovaných segmentů. S přihlédnutím k tomuto, je vhodné porovnat návrhové zásady a aplikační pravidla pro obě technologie, i když mají rozdílnou podstatu.

Montované konstrukce mohou mít styky vyztužené a nevyztužené, spáry mohou být s nebo i bez výplňového materiálu. Při návrhu prvků s nevyztuženými styky musí být uvažovány zvláštní návrhové modely uvažující geometrické a mechanické důsledky otevření styků.

Výpočet

Metody výpočtu uvedené ve 2.5.3 ENV 1992-1-1 lze použít pokud jsou splněna následující omezení:

- pokud je pro zajištění duktility konstrukce nutná betonářská výztuž, pak nesoudržné kabely se ve výpočtu neuvažují a jejich účinek se uvažuje jako vnější síla;
- u konstrukcí z pre-fabrikovaných segmentů s nevyztuženými styčnými spárami nelze použít redistribuci momentů a sil.

Účinky předpětí lze vyjádřit nahrazením každého kabelu souhrnem sil namáhajícím beton a to:

- soustředěnými silami v podporách;
- radiálními silami o intenzitě P_m/r , kde r je poloměr křivosti obrysu a P_m je střední hodnota předpínací síly, (viz ENV 1992-1-1, 2.5.4.2);
- tangenciálními silami o intenzitě $\partial P_m/\partial s$, kde ∂s je přírůstek zakřivené části obrysu a P_m střední síla v kabelu.

U vnitřních kabelů konstrukcí pozemního stavitelství lze předpokládat:

- síla v kabelu je konstantní podél celého rozpětí;
- u vodorovných prvků s kabely odkloněnými ve svislém směru působí radiální síly ve svislém směru;
- obrys kabelů je vytvořen z parabolických nebo přímých úseků.

U vnějších kabelů lze považovat kabely mezi deviátory za přímé.

MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI

Tato část je doplněna zejména požadavky na ochranu kabelů, uspořádání kotev a deviátorů.

Vnější kabely se běžně chrání proti korozi jejich uložením do trubek vyplněných cementovou maltou nebo jiným ochranným prostředkem (mazivo, speciální vosk). Dále je uvedena řada požadavků na ochranné trubky.

Vnitřní nesoudržné kabely, sestávající se z několika drátů, lan nebo prutů uložených v ohebných a vodotěsných obalech, musí být podélně posuvné v obalu; proto se dutiny v obalu vyplňují mazi-
vem.

Kotvy a deviátory mají možnost vyjmutí kabelu bez poškození konstrukčního prvku.

Deviátor má vyhovovat následujícím požadavkům:

- odolat podélným a příčným silám vyvozeným kabelem a přenést tyto síly do konstrukce;
- zajistit plynulé spojení mezi dvěma rovnými úseky kabelu.

Pokud nejsou přesnější údaje, lze uvažovat minimální poloměr zakřivení kabelu v oblasti deviátoru podle *tab. 3.1-D*.

Tab. 3.1-D Minimální poloměr zakřivení v oblasti deviátoru

| Předpínací jednotka | Min. poloměr |
|----------------------------|--------------|
| 19 Ø 13 mm nebo 12 Ø 15 mm | 2,5 m |
| 31 Ø 13 mm nebo 12 Ø 15 m | 3,0 m |
| 55 Ø 13 mm nebo 37 Ø 15 mm | 5,0 m |

Mezilehlé hodnoty lze interpolovat

Výpočet ztrát předpětí

U vnějších kabelů sestávajících z rovnoběžných drátů nebo lan lze zanedbat ztrátu předpětí vyvozenou nezamýšlenou úhlovou změnou. Pokud nejsou přesnější údaje, lze u vnějších kabelů uvažovat hodnoty součinitele tření mezi kabely a jejich kanálky podle *tab. 4.1-D*.

Tab. 4.1-D Součinitel tření μ pro různé druhy nesoudržných kabelů

| Součinitel tření | Ocelová trubka | HDPE ¹⁾ trubka |
|------------------|----------------|---------------------------|
| lana s mazivem | 0,18 | 0,12 |
| dráty s mazivem | 0,16 | 0,10 |
| lana bez maziva | 0,25 | 0,14 |
| dráty bez maziva | 0,24 | 0,12 |

1) Hutný polyetylén (high density polyethylene)

U vnitřních kabelů vytvořených monostrandy s mazivem lze uvažovat, pokud nejsou k dispozici přesnější údaje, tyto hodnoty:

- součinitel tření mezi kabelem a obalem $\mu = 0,05$
- nezamýšlená úhlová změna $\varphi_l = 0,006$ rad/m.

Při výpočtu dlouhodobých ztrát nesoudržných kabelů lze užít rov. (4.10) v čl. 4.2.3.5.5 ENV 1992-1-1 za předpokladu, že hodnoty přetvoření od smršťování a dotvarování betonu se uvažují středními hodnotami:

- podél přímého úseku kabelu zahrnujícího uvažovaný úsek vnějšího kabelu;
- podél celé délky kabelu, jedná-li se o vnitřní kabel.

Mezní stavy únosnosti

Ohyb a osová síla

Uvádí se doplňující ustanovení.

Pro vnější nesoudržné kabely:

U vnějších kabelů se předpokládá konstantní přetvoření předpínací výztuže v mezním stavu únosnosti mezi dvěma následnými body spojení kabelu s konstrukcí (kotvy nebo deviátory). V mezním stavu únosnosti při namáhání ohybem a normálovou silou je přetvoření předpínací výztuže rovné poměrnému přetvoření od předpětí (viz 2.4.4.3 ENV 1991-1-1) zvětšenému o střední poměrné přetvoření betonu mezi dvěma následnými fixačními body (viz 4.3.1.2.5 ENV 1991-1-1). Při zjednodušeném posouzení průřezu lze zanedbat přírůstek přetvoření předpínací výztuže.

Dílčí součinitel γ_p (viz tab. 2.21 čl. 2.3.3.1 ENV 1992-1-1) se vztahuje k předpínacím silám určeným podle předchozího.

Polohu kabelu je třeba fixovat v dostatečném počtu průřezů, aby se zabránilo škodlivým účinkům druhého řádu.

Pro vnitřní nesoudržné kabely:

Při ověřování mezních stavů únosnosti při namáhání ohybem a normálovou silou lze u běžných budov (viz čl. 1.1.2 (2) ENV 1992-1-1), pokud se neprovádí přesnější výpočet, uvažovat přírůstek napětí 100 MPa v kabelech délky nepřesahující jedno rozpětí. Pokud je délka kabelu větší, měla by být tato hodnota snížena s přihlédnutím k počtu polí a působicímu zatížení.

Smyk

Zvláštní pozornost je věnována segmentovým konstrukcím, pro které jsou uvedeny doplňující ustanovení.

Při návrhu segmentové konstrukce s nevyztuženými styky se použijí pravidla platná pro vyztužený beton; vnitřní napětí ve stycích se pokládá za vnější silové působení na betonový segment. Při přenosu sil ve styku se předpokládá, že působí pouze betonová tlačná plocha; při přenosu posouvající síly nevyztuženými styky se považuje tato síla za vnější sílu působící na betonový segment.

Je třeba věnovat pozornost náhlému zmenšování výšky tlačené oblasti v případech vzrůstajících ohybových momentů.

V běžných budovách lze předpokládat, že podélná síla v nevyztuženém styku působí v těžišti tlačných částí průřezu.

Při působení nejnepríznivějšího zatížení podle 2.8(a) nebo 2.8(b) ENV 1992-1-1, pokud není ověřeno dřívějšími zkušenostmi jinak, výška tlačené oblasti nevyztuženého styku by měla být nejméně rovna 2/3 celkové výšky průřezu. Pozornost je třeba věnovat účinkům kroucení, zejména u komůrkových průřezů.

Mezní stavy použitelnosti

Mimo kombinací zatížení uvedených v 2.3.4 ENV 1992-1-1 je třeba uvažovat rozdíl teploty $\pm 10^\circ\text{K}$ mezi vnějším kabelem a betonovou konstrukcí. Při přímém oslunění vnějších kabelů jsou nezbytné přesnější údaje.

Při kontrole mezních stavů použitelnosti lze při zjednodušeném výpočtu předpokládat, že beton není porušen trhlinami.

Při výpočtu síly ve vnějším kabelu, vyvozené nahodilým zatížením, lze předpokládat deviátory za fixní body (neuvažuje se relativní posun mezi kabelem a betonovou konstrukcí).

Omezení napětí

Pokud všechny kabely jsou vnější nebo vnitřní a nesoudržné, neplatí ustanovení 4.4.1.1(4) ENV 1992-1-1; pokud se jedná o trvanlivost, lze uplatnit pravidla pro železový beton.

Mezní stav trhlin

Pokud všechny kabely jsou vnější nebo vnitřní a nesoudržné, neplatí ustanovení 4.4.2.1 ENV 1992-1-1; pokud se jedná

o trvanlivost, použijí se analogicky pravidla platná pro železový beton.

U prvků s nevyztuženými kontaktními styky a předpjatých vnějšími kabely se při vyjíměčné kombinaci zatížení nepřipouští tahové napětí ve spárách. Při tomto ověřování lze uvažovat předpínací sílu střední hodnotou P_m .

U prvků monolitických nebo s vyztuženými styky a předpjatých vnějšími kabely neplatí ustanovení 4.4.2.2(8) ENV 1992-1-1, tj. předpínací výztuž nelze započíst do minimální plochy betonářské výztuže.

Pokud jsou všechny kabely vnější nebo vnitřní a nesoudržné, nelze při omezení rozvoje trhlin bez přímého výpočtu použít ustanovení platná pro předpjatý beton uvedená v 4.4.2.3 ENV 1992-1-1, ale použijí se analogicky ustanovení platná pro železový beton.

Pokud jsou všechny kabely vnější nebo vnitřní a nesoudržné, nelze při výpočtu šířky trhlin využít ustanovení uvedená v 4.4.2.4.

Konstrukční ustanovení

Doplňují se požadavky týkající se

- výměny nesoudržných kabelů,
- omezení příčných vibrací vnějších kabelů,
- geometrického tvaru deviátorů,
- minimálního poloměru zakřivení monostrandů ($R_{min} = 1\text{m}$).

Zásada 5.3.2 (1) týkající se krycí vrstvy betonu neplatí pro nesoudržné vnitřní kabely, krycí vrstva těchto kabelů nemá být menší než 20 mm.

Doplňují se požadavky týkající se omezení škod od mimořádných zatížení. Čl. 5.5.2 ENV 1992-1-1 týkající se dimenzování táhel se doplňuje, neboť konstrukce předpjaté průběžnými nesoudržnými kabely jsou citlivější na progresivní kolaps, neboť lokální porucha se může projevit v odlehých částech konstrukce.

Pokud jsou nesoudržné kabely součástí systému táhel, je třeba zajistit /např. vhodnou soudržnou výztuž/ redistribucí sil v případě lokální poruchy kabelu. U spojitéch desk je třeba ověřit, že při současném porušení kterýchkoliv dvou přilehlých nesoudržných kabelů nedojde ke kolapsu konstrukce.

Literatura:

- [1] ČSN P ENV 1992-1-1: *Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.*
- [2] ENV 1992-1-5: *Navrhování betonových konstrukcí. Konstrukce s nesoudržnými a vnějšími předpínacími kabely.*

Doc. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.

KBK SF ČVUT Praha, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ČBS děkuje projektovému ústavu a stavebním podnikům

PPP s.r.o., Pardubice

PREMING a.s., Chrudim

Průmstav s.r.o., Pardubice

kteří jako sponzoři umožnili bezplatné užívání místnosti pro vydavatelství našeho časopisu.