

ZAVÁDĚNÍ EN 1992: „NAVYHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ“ DO PRAXE - PORUCHOVÉ OBLASTI

INTRODUCTION OF EN 1992-1-1 TO PRACTICE - DISTURBED REGIONS

SERIÁL
EN 1992

ALENA KOHOUTKOVÁ,
JITKA VAŠKOVÁ

Tento příspěvek, který je pokračováním části uveřejněných v předchozích číslech časopisu, je věnován problematice navrhování částí konstrukcí s geometrickou nebo statickou nespojitostí.

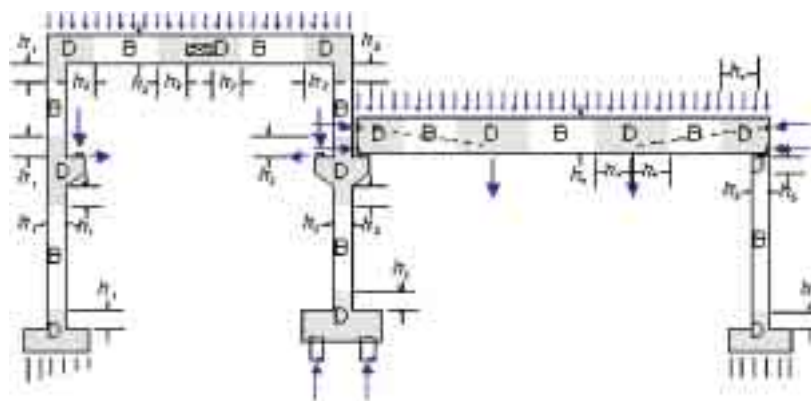
Following the introductory parts published in the previous numbers of the journal, this paper provides a brief overview of problems in design of regions with static or geometric discontinuities.

V řadě běžných případů postačí při analýze konstrukce globální výpočet, kdy je pro stanovení účinků zatížení konstrukce idealizována jako celek a na tyto účinky jsou průřezy konstrukce posouzeny. Pro určité části prvků a konstrukcí je třeba doplnit lokální výpočet. Je nezbytný všude tam, kde neplatí předpoklad lineárního rozložení poměrných přetvoření. Tyto části konstrukcí a prvků můžeme souhrnně nazvat poruchovými oblastmi. Praktický návrh poruchových oblastí jen na základě analogie s běžnými pravidly bývá nejčastější příčinou závad a poruch železobetonových konstrukcí. Patří sem např. části konstrukce:

- v blízkosti podpor
- v okolí soustředěných zatížení
- ve styčích konstrukčních prvků, např. v rámových styčnicích
- v kotevních oblastech předpjatých prvků
- při náhlých změnách průřezu
- v blízkosti otvorů
- ve zvláštních případech.

Při zobecnění uvedených úvah pro navrhování konstrukcí je tedy vhodné rozlišovat dva typy oblastí v konstrukcích. Konstrukce je rozdělena na B – oblasti s běžným chováním, ve kterých se může při dimenzování užít standardních postupů, a na oblasti – D (discontinuity – nespojitost), kde je porušen ustálený tok průběhu vnitřních sil, tj. poruchové oblasti se statickou nebo geometrickou nespojitostí (obr. 1).

V zásadě existuje několik možností, jak



Obr. 1 Příklad poruchových oblastí
Fig. 1 Examples of disturbed regions

poruchové oblasti řešit: oblíbené jsou přibližné a empirické vzorce, možný je rozklad sil, nejčastější a dobře propracovaná je metoda příhradové analogie. Nejpokročilejším nástrojem jsou programy pro nelineární výpočet betonových konstrukcí.

METODA PŘÍHRADOVÉ ANALOGIE

Napětí nebo vnitřní síly v konstrukci mohou být znázorněny ve formě trajektorií (obr. 2). Podobně lze znázornit tok sil v konstrukci užitím mechanické analogie mezi prouděním kapalin a silovými složkami v konstrukci. Toky sil směřující od zatíženého okraje konstrukce k podpoře jsou účinným nástrojem pro porozumění chování konstrukce. Pokud známe takové toky nebo trajektorie napětí, můžeme je kondenzovat a napřímít ve formě tlačných a tažených prvků příhradového modelu (obr. 5 až 10). Říká se jim modely **strut-and-tie** (modely složené ze vzpěr a táhel), protože původní soustavy měly obvykle jen málo prvků. Příhradové modely nebo modely příhradové analogie (jak jsou též nazývány) byly úspěšně používány od konce devatenáctého století pro nosníky, později pro krátké konzoly a zvláštní případy vyztužených konstrukcí.

Z historického pohledu původní příhradový model (Mörsch, 1912) pro nosník

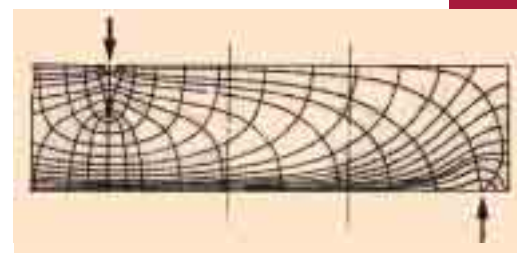
namáhaný smykem předpokládal vytvoření šikmých trhlin a skládal se z tlačných šikmých vzpěr a tažených prutů výztuže. Stal se základem pro další modely, často i dodnes používané.

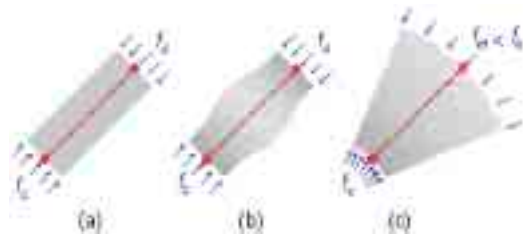
Příhradové modely byly propagovány a zobecněny pro praktické použití v pracích J. Schlaicha. Podobný přístup založený na polích napětí byl rozvíjen ve Skandinávii a ve Švýcarsku (např. Muttoni, Thürlimann), kde byly na základě teorie plasticity učiněny další pokusy o vysvětlení skutečné únosnosti betonových stěnových prvků.

Modelování železobetonových konstrukcí pomocí příhradových analogií má ovšem širší použití než jen v poruchových oblastech. Tradičně jsou tyto modely používány k výpočtu konstrukcí a rovinných prvků zatížených ve vlastní rovině – a zejména takových oblastí, u nichž neplatí jednoduché geometrické předpoklady pro stanovení deformací. Samostatnou sféru použití tvoří konstruování detailů.

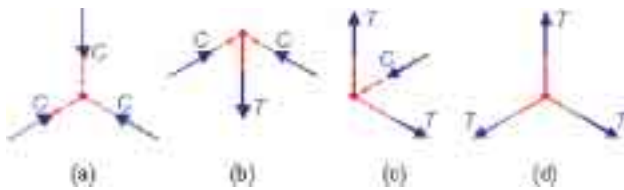
Obr. 2 Trajektorie napětí v nosníku
zatíženém osamělým břemenem

Fig. 2 Stress trajectories in a beam loaded with a concentrated force



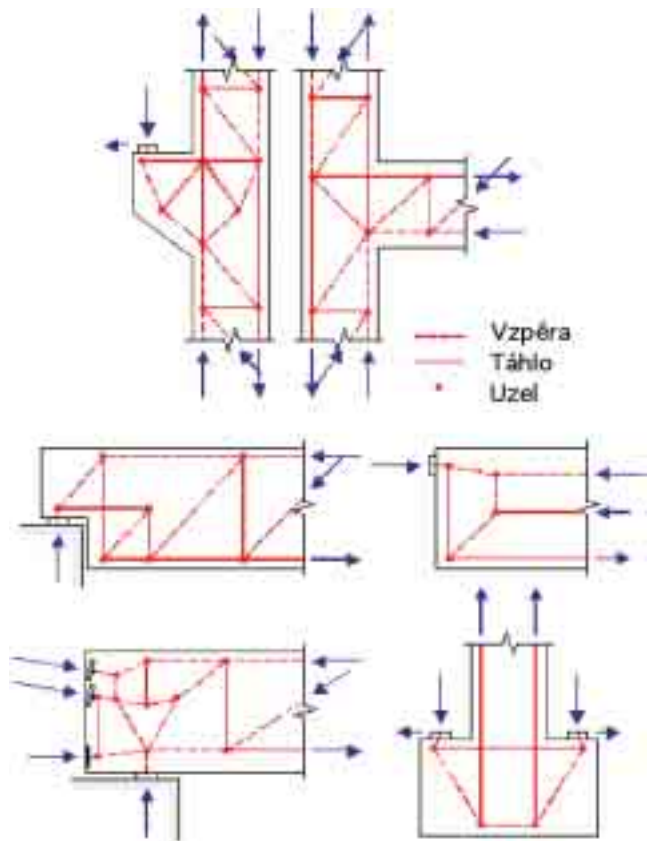


Obr. 3 Příklady tvarů vzpěr a) prizmatická, b) lahвовá, c) vějířová
Fig. 3 Examples of struts a) prismatic, b) bottle-shaped, c) fan-shaped



Obr. 4 Základní typy uzlů: a) tři vzpěry, b) a c) kombinace vzpěr a táhla, d) tři táhla
Fig. 4 Basic types of nodes: a) CCC, b) CCT, c) CTT, d) TTT

Obr. 5 Příklady modelů pro různé konstrukce a detaily
Fig. 5 Examples of models for various structures and details



V oblasti výzkumu pomáhají při modelování chování konstrukcí, jejich detailů a nových materiálových vlastností při simulaci experimentů.

PRINCIPY MODELOVÁNÍ

Příhradové modely pro výpočet železobetonových konstrukcí jsou obvykle vytvořeny koncentrací trajektorií hlavních napětí konstrukce do tlačných a tažených prutů, probíhajících podél střednic polí napětí, která znázorňují. Jako základ pro vytvoření modelu může sloužit pružné řešení oblasti analytickými metodami nebo nejčastěji metodou konečných prvků. Pomocí izolinií nebo izoploch hlavních napětí lze pak zkonstruovat soustavu náhradních prutů. Příhradové modely je možno řešit snadno dostupnými a hojně rozšířenými programovými systémy pro prutové konstrukce. Liší se od původních modelů obecnějším přístupem a umožňují s jistými omezeními i výpočet deformací.

Principy metody spočívají v tom, že příhradový model tvoří **táhla** (ties), **vzpěry** (struts) a **uzly** (nodes). Táhla jsou obvykle výslednice vrstvy prutů betonářské nebo předpínací výztuže, vzpěra reprezentuje výslednici pole tlakového napětí. Pole může mít tvar paralelní (např. tlačný pas

nebo skloněné vzpěry ve stěně) nebo vějířový, příp. lahвовý. Uzel je ohraničený objem betonu, kde se vzpěry buď protínají nebo jsou odkloněny táhly kotvenými v uzlech. Uzly jsou umístěny rovněž v místech, kde je odkloněna nebo stykována výztuž. Vzpěry, táhla i uzly musejí být navrženy tak, aby napětí od účinků návrhového zatížení nepřekročilo příslušná pevnostní kritéria a aby byly splněny příslušné konstrukční požadavky.

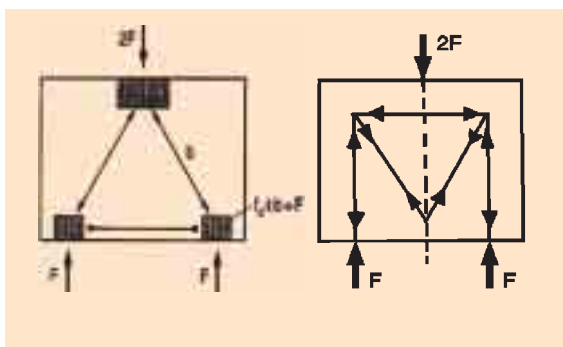
Veškeré síly v těchto prutových prvcích musejí být v rovnováze s vnějším zatížením a s reakcemi, jednotlivé prvky modelu mají být orientovány podle napětí stanovených pružným řešením. Model však může být upraven s ohledem na vznik trhlin v betonu a dosažení meze kluzu v oceli, poloha předpokládaných uzlů a táhla musí odpovídat uspořádání výztuže a zároveň musí být model v souladu s přílehlou B – oblastí.

Podle hodnot sil v tlačných prvcích je posuzováno napětí v betonu a ověřovány rozměry prvku. Síly v tažených prvcích určují množství výztuže včetně uvážení směru jejího vedení a tvaru výztužných prutů a v odpovídajícím uzlu musí být zajištěno jejich správné zakotvení. Návrh je doplněn požadavky na minimální plo-

chy výztuže případně i s ohledem na vznik a šířku trhlin.

Proces vytváření modelu se tedy skládá z pěti základních kroků. V prvním kroku jsou definovány hranice poruchové oblasti a určeny hraniční síly (mezní návrhové síly) – reakce a průřezové síly od zatížení. V druhém kroku je sestaven příhradový model a vyřešeny síly v jednotlivých prutech. Ve třetím kroku je zvolena plocha betonářské nebo předpínací výztuže odpovídající požadované únosnosti táhla a je zajištěno její řádné zakotvení v uzlech. V dalším kroku je stanovena velikost vzpěr a uzlů tak, aby jejich únosnost byla dostatečná k přenesení sil v jednotlivých prutech příhradoviny. V pátém kroku je navrženo uspořádání výztuže rozložené do několika prutů v místě každého táhla tak, aby byla zajištěna duktilita prvku.

Bezpečnost návrhu konstrukce tímto postupem je zaručena dolní mezí únosnosti vyplývající z teorie plasticity. Naopak nebezpečnost vzniká tím, že metoda automaticky nesplňuje podmínky kompatibility deformací a dostatečná duktilita konstrukce musí být zajištěna jiným způsobem. Je jím např. pravidlo „přilís“ se neodchylovat od pružného chování konstrukce.



Obr. 6 Jednoznačnost modelu – výběr vhodnější varianty

Fig. 6 Uniqueness of a model – choice of alternatives

Základní pravidla pro tvorbu jednoduchých modelů tedy jsou:

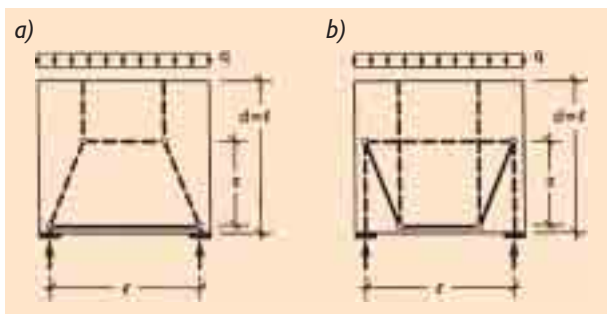
- vycházet z lineárně pružného stavu – modelové tlačené pruty orientovat pokud možno ve směru hlavních tlakových napětí,
- výztuž umístit podle skutečného způsobu vyztužení – raději přímé pruty,
- úhly, které svírají tlačené a tažené pruty v jednom uzlu volit blízké 45°,
- soustředěná zatížení jako jsou osamělá břemena, podporové reakce a kotevní síly působící na okraji nebo v rohu konstrukce pokud možno rozložit na větší plochu

• raději převzít a přizpůsobit osvědčený model nové situaci než experimentovat.

Obr. 6 ukazuje dvě možnosti modelu těžce oblasti, obě splňují podmínky rovnováhy. Pro výběr nejvhodnějšího modelu z možných variant obvykle platí pravidlo, že model s kratší délkou tahových prutů je účinnější. U složitějších konstrukcí je možno počítat s tvorbou staticky neurčitých modelů, kde se objevují otázky spojené s jejich optimalizací.

Obr. 8 Stěnový nosník, a) vhodný model, b) nevhodný model

Fig. 8 Deep beam, a) correct model, b) incorrect model

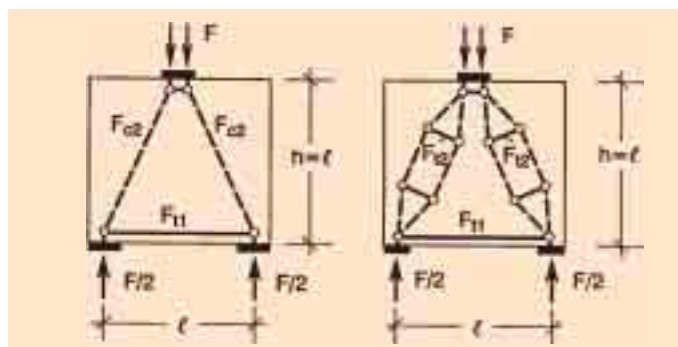


Modelů pro konkrétní případ může být celá řada, ale jen některé jsou vhodné. Podrobnější zhodnocení a pokyny je možno najít v [3]. Modely závisí na dalších parametrech, např. na místě působení zatížení. Obr. 7 ukazuje zpřesnění jednoduchého modelu tak, aby podrobnější model dokázal popsat příčné tahy ve vzpěrách. Na obrázcích F_c nebo C označují síly v tlačných prvcích neboli vzpěrách, F_s nebo T síly v tažených prvcích neboli táhlech. Při volbě je třeba zkušeností a je doporučováno užít raději ověřený model z literatury a příliš neexperimentovat, a tím se vyvarovat zásadních chyb.

Při srovnání modelů na obr. 8 je možno označit za nevhodný model b), který neodpovídá pravidlu volit modely s co nejkratšími táhly.

Vliv polohy zatížení na model, a tím i na vyztužení, ukazuje obr. 9 pro prvky zatížené soustředěným zatížením v blízkosti podpory nebo nad ní, např. osamělé břemeno umístěné v blízkosti rohu nosníku. Síly v táhlech T_3 znázorňují příčné tahy se štěpným účinkem na prvek. Platí obecně: tam, kde jsou umístěna táhla v modelu, je třeba navrhnout výztuž podle předepsaných zásad. Ale i naopak: předpokládáme-li příčné tahy v konstrukci a víme, že podle konstrukčních pokynů určité uspořádání výztuže v konstrukci bude vyžadováno, je třeba umístit v uvažovaném místě modelu táhla.

Obr. 10 ukazuje úzkou souvislost příhradových modelů s konstrukčními zásada-



Obr. 7 Zpřesňování modelu

Fig. 7 Refinement of a model

mi pro vedení výztuže. V příkladu je znázorněna doporučená velikost oblasti, v níž je rozmístěna výztuž odpovídající poloze jediného vodorovného táhla F_t modelujícího příčné tahy v konstrukci.

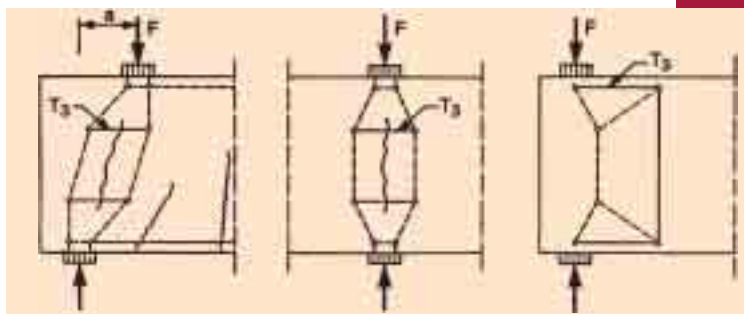
PŘÍHRADOVÉ MODEL V NORMOVÝCH PŘEDPÍSECH A DOPORUČENÍCH

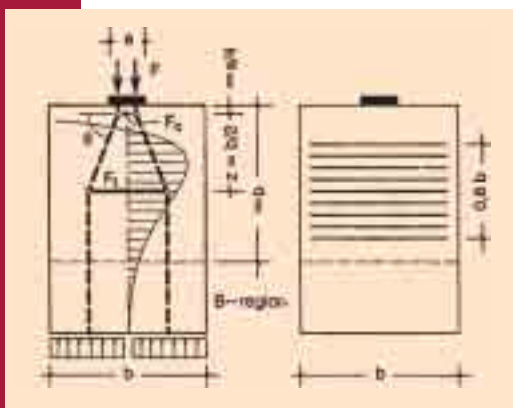
Oblíbenost modelů dokumentuje fakt, že většina norem a předpisů se k těmto modelům vyjadřuje, např. bibliografie ACI obsahuje na tři sta odkazů na toto téma.

Předběžná evropská norma [2] připouští, že některé prvky se smějí idealizovat staticky určitými příhradovinami vytvořenými z přímých tlačných prutů (přenášejících tlakové síly v betonu) a z tažených prutů (výztuž). Poměrně velkou roli hrály konstrukční požadavky (např. kotvení veškeré výztuže), jejichž dodržováním měl být zajištěn např. přenos sil vyvolávajících soustředěné zatížení ve styčnicích modelu. Při posouzení tlačných prutů modelu byla porovnáвана průměrná hodnota napětí betonu se sníženou (obvykle šedesátiprocentní) návrhovou pevností beto-

Obr. 9 Modely pro vodorovné vyztužení u soustředěného zatížení nad podporou

Fig. 9 Models for horizontal reinforcement for loads over support





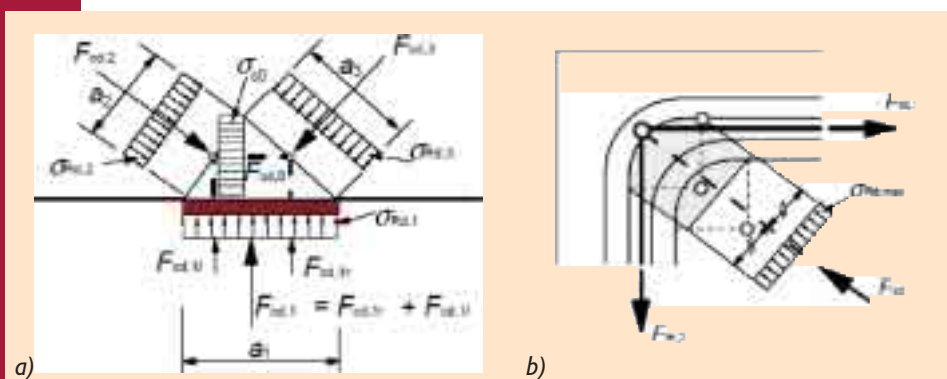
Obr. 10 Rozmístění výztuže pro příčný tah
Fig. 10 Corresponding reinforcement for splitting tension

nu v tlaku. Norma doporučovala přihlídnout ke snížení pevnosti vlivem příčných tahů, třhlin nebo smykových sil, ale blíže je neurčovala. Napětí v tažených prutech byla omezena návrhovou hodnotou meze kluzu výztuže. Příhradové modely byly doporučeny pro řešení krátkých konzol, stěnových nosníků, stěn a poruchových oblastí namáhaných soustředěnými břemeny, např. pro kotevní oblasti dodatečně předpjatých prvků. Sestavený model byl předveden pouze pro krátkou konzolu, u ostatních případů byla uvedena doporučení pro konstrukční uspořádání výztuže. Shrneme-li, informace v této normě byly stručné a velice obecné.

Naopak v doporučeních *fib* a v konečné verzi normy EN je věnován příhradovým modelům velký prostor. V pomůcce pro

Obr. 11 Posouzení uzlů: a) tlakový uzel, b) uzel s táhlem ve dvou směrech a vzpěrou

Fig. 11 Dimensioning of models: a) compression node, b) compression node with reinforcement provided in two directions



praktický návrh [3] najdeme nejdříve zcela netradičně zpracovanou samostatnou kapitolu zabývající se definováním tvarů a únosností vzpěr, táhel a uzlů, které tvoří prvky příhradových modelů a potom teprve vlastní postupy navrhování v mezních stavech. V bulletinu *fib* [4] jsou uvedeny propracované modely pro různé poruchové oblasti včetně důsledků ve vyztužení. Jsou zde zpracovány i číselné příklady návrhu.

Příhradový model představuje také základ pro jednotnou koncepci v navrhování železobetonových konstrukcí. Nejen pro oblasti nespojitosti, ale i pro běžné oblasti konstrukce dobře funguje představa příhradového modelu. Důležitým důsledkem je možnost v libovolném místě (např. v tlačném pásu nosníku) stanovit sílu od kombinace namáhání ohybem, smykem a normálovou silou a zároveň průřez navrhnout i posoudit. Uzel se může vložit v místě konstrukce, kde výztuž mění směr nebo je stykována. Vysvětlení a zavedení rozhodujících detailů, jako je uspořádání sil v místě uzlů, přenášení sil třením ve spoji nebo styku nebo přenášení sil přes trhlinu zároveň, ukazuje jejich vliv na únosnost prvků modelu (je tedy předpokládán i vznik trhlin). Konkrétní požadavky na tvary, přesahy a kotevní délky výztužných prutů vyplývající z tohoto uspořádání dávají úplnou a jasnou představu o vlastnostech prvků, a tím i o chování modelu. Jednotné pojetí představuje nový kvalitativní krok v přechodu od posuzování jednotlivých průřezů k posuzování celkového chování konstrukce.

Pro navrhování poruchových oblastí je v konečné verzi EN [1] přímo doporučeno použití analogických příhradových modelů. Zásady metody jsou obecně pojednány v kapitole o analýze konstrukcí. V samostatném oddílu je zde poprvé věnována pozornost návrhu vzpěr, táhel a uzlů, tj. částem modelů strut-and-tie.

Literatura:

- [1] pr EN 1992-1-1 Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings, CEN, Final draft 12/2003
- [2] ČSN P ENV 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí, Část 1.1, ČNI, 1994
- [3] Practical design of structural concrete, FIP (*fib*) Recommendations, 1999
- [4] Structural Concrete, Volume 1, 2, 3, Basis of design, *fib* Bulletin 1, 2, 3, 1999

Vzpěry, táhla i uzly musejí být navrženy tak, aby napětí od účinků návrhového zatížení nepřekročilo příslušná pevnostní kritéria a aby byly splněny příslušné konstrukční požadavky.

Únosnost **vzpěry** je odvozována z hodnoty jednoosé pevnosti v tlaku f_{cd} , která je počítána plnou hodnotou v případě, kdy v příčném směru není napětí nebo v případě dvojosé napjatosti, je-li příčné napětí tlakem. V případě víceosého tlaku je dovoleno hodnotu pevnosti zvýšit. Naopak hodnota návrhové pevnosti vzpěry je snižována, je-li v příčném směru tah a vznikají trhliny. Přesnější výpočty únosnosti vzpěr jsou uvedeny pro krátké konzoly a stěnové nosníky.

Pro únosnost **táhla** platí obecně pravidla o množství a uspořádání tahové výztuže. Explicitně jsou uvedeny vztahy pro táhla umístěná v tlakových polích.

Pro návrh a posouzení **uzlů** je uvedeno několik příkladů základních typů uspořádání uzlů (tlakový, různé kombinace táhel se vzpěrami). Musí být splněna rovnováha sil v uzlu a výztuž táhel řádně v uzlu zakotvena. V uzlu je opět nutno prokázat, že návrhová pevnost betonu v uzlu σ_{Rdmax} nepřestoupí stanovenou hodnotu, která je odvozena z hodnoty jednoosé pevnosti v tlaku f_{cd} a její hodnota snížena nebo zvýšena podle uspořádání uzlu. Pravidla pro uzly je v tomto smyslu možno použít pro libovolné místo v konstrukci, kde jsou přenášeny velké koncentrované síly jako jsou reakce, osamělá břemena, v kotevních oblastech předpjatých prvků, ve stýkacích nebo místech, kde výztuž mění směr, i když k návrhu nebyla použita metoda příhradová analogie. V normě jsou dále uvedeny příklady vhodných příhradových modelů pro řešení poruchových oblastí typu rámových rohů a krátkých konzol.

ZAVĚR

Navrhování poruchových oblastí pomocí analogických příhradových modelů má řadu výhod včetně možnosti ověřování experimentů. Metoda výpočtu je jednoduchá, názorná, získání výsledků není pracné a řešení je snadno ověřitelné. Obecně však platí, že v netypických případech je nutno zvažovat, zda je zjednodušení bezpečné a ve sporném případě

raději dát přednost nelineární metodě konečných prvků.

Navrhování poruchových oblastí pomocí analogických příhradových modelů je zcela v souladu se současnými trendy navrhování podle evropských norem.

Tento příspěvek byl vypracován za podpory VZ MSM 210000001.

Doc. Ing. Alena Kohoutková, CSc.

tel.: 224 353 740

e-mail: akohout@fsv.cvut.cz

Ing. Jitka Vašková, CSc.

tel.: 224 354 636

e-mail: jitka.vaskova@fsv.cvut.cz

obě: Stavební fakulta ČVUT

Katedra betonových konstrukcí a mostů

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

fax: 233 335 797

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ SE BUDE TÝKAT I VÝROBCŮ CEMENTU INTEGRATED POLLUTION REGISTER WILL ALSO APPLY TO CEMENT PRODUCERS

JAN MARŠÁK,
ZUZANNA HOKKYOVÁ

V roce 2003 vstoupil v platnost zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění a integrovaném registru znečištění (zákon o integrované prevenci). Zákon má za cíl kromě implementace směrnice Rady EU o integrované prevenci (96/61/EC) zřídít integrovaný registr znečištění životního prostředí (dále jen integrovaný registr znečištění – IRZ). IRZ bude koncipován jako veřejně přístupný informační systém veřejné správy. Z technicko-organizačního hlediska je IRZ připravován jako součást Jednotného informačního systému o životním prostředí (JISŽP).

Act No 76/2002 of the Coll. on Integrated Pollution Prevention and Reduction and the Integrated Pollution Register (act on integrated prevention) came into force in 2003. In addition to the implementation of the Directive of the Council of Europe on Integrated Prevention (96/61/EC), the Act is aimed to set up an integrated register of environmental pollution (hereafter referred to as the integrated pollution register – IPR). The IPR will be designed as a publicly accessible information system of public administration. Viewing technical and organizational aspects, the IPR is being composed as a component of the Unified Information System on the Environment.

Česká republika musí zřídít integrovaný registr znečištění z několika zásadních důvodů. V první řadě stát potřebuje rele-

vantní a věrohodná data o znečištění životního prostředí. Je nezbytné zajistit, aby každý měl přístup k důležitým informacím o znečištění životního prostředí. Česká republika musí plnit povinnosti z oblasti ochrany životního prostředí i v souvislosti se svým vstupem do Evropské unie. Data z integrovaného registru znečištění budou sloužit pro ohlašování do Evropského registru emisí znečišťujících látek (European Pollutant Emission Register – EPER). Česká republika bude podávat první ohlášení v roce 2006 za rok 2004.

Budování integrovaného registru znečištění by mělo přinést pozitivní efekty i pro sféru povinných osob. Jedná se zejména o hledání úspor ve výrobcích, případně nahrazování některých látek méně škodlivými, které nebudou v IRZ sledovány. Vzhledem k zavádění úspornějších technologií může dojít i ke zvyšování konkurenceschopnosti. V neposlední řadě je, díky ustanovením zákona o integrované prevenci, možné dosáhnout snížení administrativní zátěže ohlašovatelů a zefektivnění toku ohlašovaných dat mezi ohlašovatelem a subjekty pověřenými kontrolou či evidencí dat.

LEGISLATIVA K IRZ

Integrovaný registr znečištění zakládá zákon o integrované prevenci (Hlava III zákona). Legislativním aktem, který problematiku integrovaného registru znečištění upravuje, je nařízení vlády č. 368/2003 Sb. o integrovaném registru znečištění.

Zákon o integrované prevenci definuje základní pojmy (integrovaný registr zne-

čištění životního prostředí, uživatel registrované látky aj.), zřizuje IRZ, vymezuje ohlašovací povinnosti a ukládá vést evidenci údajů nezbytných pro splnění ohlašovací povinnosti. Zákon se zaměřuje i na způsob zveřejňování údajů z IRZ.

INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ

Pod pojmem integrovaný registr znečištění životního prostředí se rozumí databáze údajů o vybraných látkách, jejich přenosech a emisích. IRZ pokrývá problematiku emisí ohlašovaných látek do ovzduší, vody, půdy a v přenosech.

KDE HLEDAT INFORMACE

Pro snadnou dostupnost informací o problematice IRZ byla vytvořena internetová stránka www.irz.cz, kde možno najít podrobnější a aktuální údaje o registru, jako i odkazy na další zdroje informací. V rámci této stránky je zřízena také služba helpdesk IRZ, která zodpovídá na otázky odborné i široké veřejnosti a můžete ji kontaktovat na irz.info@env.cz.

Plné znění článku je uveřejněno na webových stránkách na adrese www.betontks.cz

Ing. Jan Maršák

MŽP, Odb. PVŽP a IPPC

Vršovická 65, 100 10 Praha 10

e-mail: jan_marsak@env.cz

Mgr. Zuzanna Hokkyová

ČEÚ, odd. IRZ/CO

Kodaňská 10, 100 10 Praha 10

e-mail: zuzanna.hokkyova@ceu.cz