

HYBRIDNÍ SYSTÉM SMYKOVÝCH VÝZTUŽNÝCH STĚN

A HYBRID SHEARWALL SYSTEM

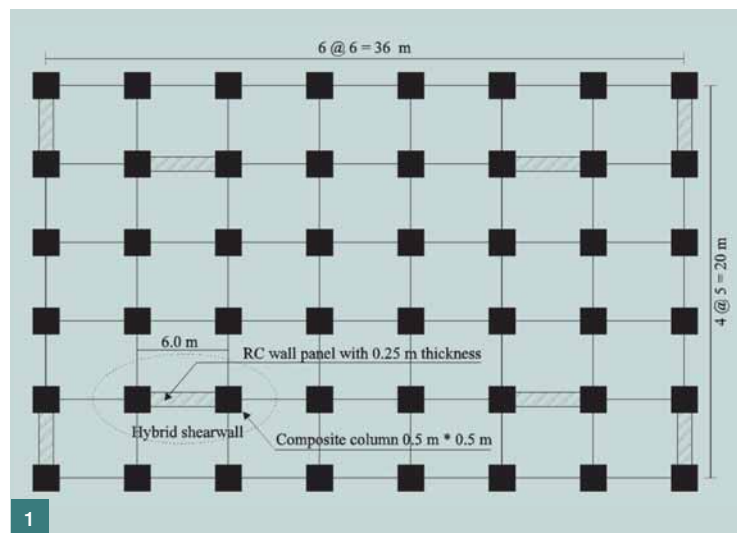
Ulrich Wirth, Nuri Shirali, Vladimír Křístek

Na základě výsledků série zatěžovacích zkoušek s řízenou deformací bylo ověřeno, že navržený systém smykových výztužných stěn je vhodným a efektivním řešením pro návrh železobetonových staveb na účinky vodorovných zatížení. Hybridní systém smykových výztužných stěn sestává z typické vyztužené smykové stěny a kompozitních okrajových prvků tvořených kompozitními sloupy z obdélníkových ocelových uzavřených profilů vyplněné betonem. Návrh a optimalizace připojení smykové výztuže stěny a kompozitního sloupu byl hlavním záměrem při vývoji hybridního systému smykových výztužných stěn. ■ Based on a series of alternating, displacement-controlled load tests to study the behavior of the interface of a hybrid shear wall system, it was proved that the concept of the hybrid construction is feasible and very efficient. The hybrid shear-wall system consists of typical reinforced concrete shear walls with composite edge members or flanges. The edge members, which are formed by composite hollow steel square column sections with infilled concrete and reinforcing bars connected to typical shear wall reinforcing steel, are prefabricated with reinforcing bars extending through the wall of the column for connection to the shear wall reinforcing steel. The remainder of the building is constructed like a typical reinforced concrete structure.

I když současné normy poskytují doporučení pro návrh železobetonových staveb na účinky vodorovných zatížení, popř. na účinky vynucených změn okrajových podmínek podepření, i nadále tyto jevy, např. seismické nebo vlivy podzemní činnosti, působí rozsáhlá poškození. Ve většině případů jde o selhání sloupů v dolních patrech železobetonových rámu. Také selhání železobetonových smykových výztužných stěn je obvykle způsobeno místními poruchami okrajových sloupů, ve většině případů vyvolaných nedostatečným nebo nevhodným uspořádáním tržníků v koncových oblastech sloupů. K poruchám tohoto druhu obvykle vede nedostatečné sevření betonového jádra a související vybočení podélné výztuže. S ohledem na tyto skutečnosti byl navržen (Bouwkamp [12] (1992) a TU Darmstadt) nový hybridní konstrukční systém s cílem zvýšení ohybové odolnosti rámu a smykové odolnosti výztužné stěny budovy.

V podstatě se tento systém vyznačuje tím, že typické železobetonové sloupy nebo okrajové prvky smykových výztužných stěn jsou nahrazeny kompozitními sloupy z obdélníkových ocelových uzavřených profilů vyplněných betonem. Konceptně je zbývající část konstrukčního systému uspořádána stejně jako typická železobetonová budova. Ocelový uzavřený profil poskytuje účinné sevření betonového jádra a zároveň slouží jako podélná výztuž (v závislosti na tloušťce stěny sloupu), další typická výztuž sloupu obvykle nutná není. Samozřejmě je však možno minimalizovat tloušťku stěny ocelového profilu jen pro splnění požadavků sevření a navrhnout podélnou výztuž jako u normálního, nekompozitního železobetonového sloupu. Nicméně proto, že hlavním záměrem při vývoji hybridního konstrukčního systému je návrh připojení stěnových železobetonových prvků k spřaženým ocelobetonovým sloupům, není optimalizace ocelobetonových sloupů předmětem této studie, která je zaměřena na rozsáhlé experimentální a numerické studie chování navrhovaného hybridního systému.

Hlavní úsilí se soustředilo na návrh a uspořádání výztuže

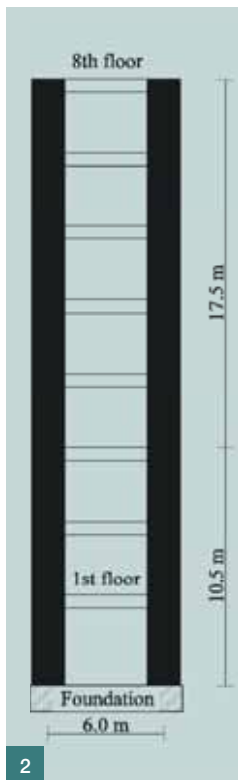


na rozhraní mezi kompozitními sloupy a betonovou smykovou stěnou. Experimentálně, při cyklickém zatížení smykem působícím podél sloupu v rozhraní se stěnou, byla zkoumána různá konstrukční řešení. V dalším textu jsou prezentována experimentální zjištění a doporučení pro efektivní a ekonomické řešení připojení rozhraní a smykové výztužné stěny.

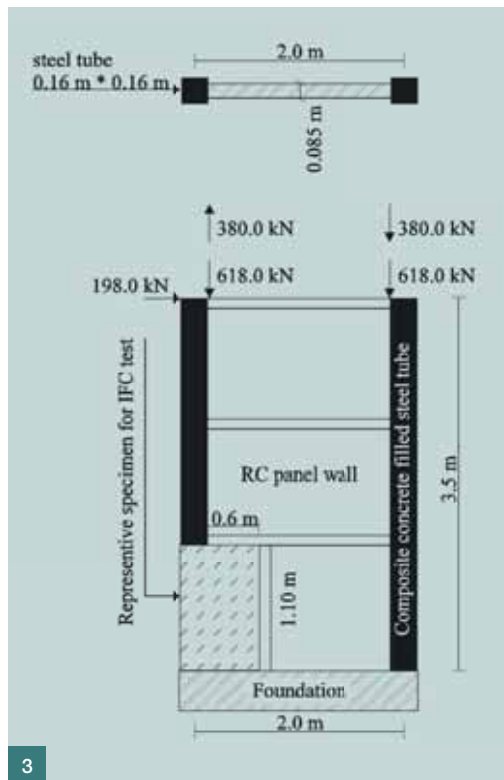
Vzhledem k procesu výstavby hybridního systému, kompozitní sloupy mohou být buď prefabrikované (např. ve zvláštním stavebním dvoře), nebo vyrobeny na místě. Před vyplněním dutého sloupu betonem musí být pomocí předvrtaných otvorů ve stěnách sloupu instalována výztuž rozhraní. Tato výztuž má na jednom konci háky pro uchycení do jádra betonu sloupu a na druhé straně dostatečnou délku pro připojení k smykové výztužné stěně. Kompozitní obdélníkové ocelové uzavřené profily vyplněné betonem jsou osazovány podobně jako prvky ocelové konstrukce.

Při vývoji optimálního návrhového řešení připojení panelu výztužné stěny a kompozitního okrajového sloupu bylo vyšetřováno a zkoušeno několik alternativních návrhů. Pro tento účel byl v souladu s ustanoveními EC-8, část 4, proveden návrh hybridní smykové výztužné stěny osmipatrové budovy s půdorysnými rozměry 36 x 20 m o výšce 28 m. Návrh výztuže stěny byl založen na ustanoveních EC-2. Návrh v podstatě vyhovuje také UBC 1991, část 3, a požadavkům US kódu ACI-318-89. Konstrukční uspořádání, jak je znázorněno na obr. 1, obsahuje čtyři smykové stěny orientované paralelně ke dvěma hlavním osám v každém směru. Osmipatrová smyková stěna, široká 6 m, je znázorněna na obr. 2.

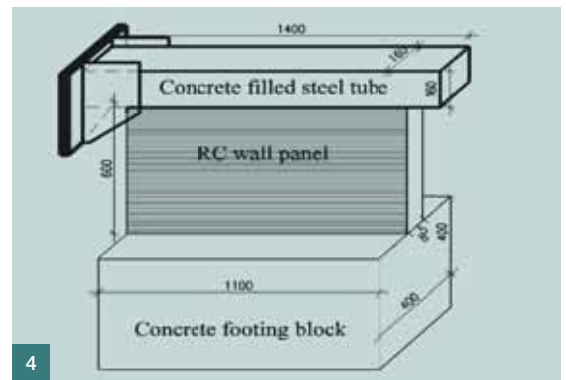
Vzhledem k finanční náročnosti a omezeným zkušebními kapacitám mohl být experimentální program realizován pouze v redukovaném rozměrovém měřítku. Pro výstižné vyšetřování odezvy alternativních modelů připojení smykové stěny k okrajovému sloupu v režimu cyklického zatěžování nelze rozměrové uspořádání redukovat více než na třetinu, a to zejména pro možnost použití prutů betonářské výztuže běž-



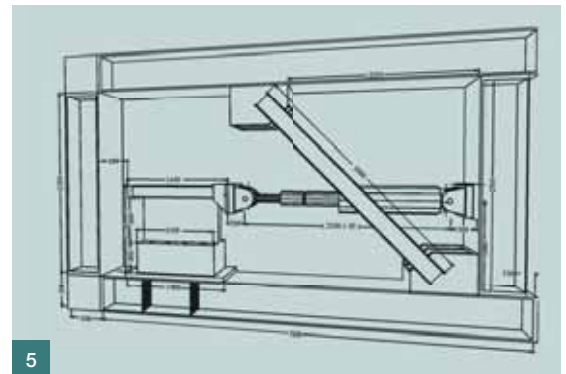
2



3



4



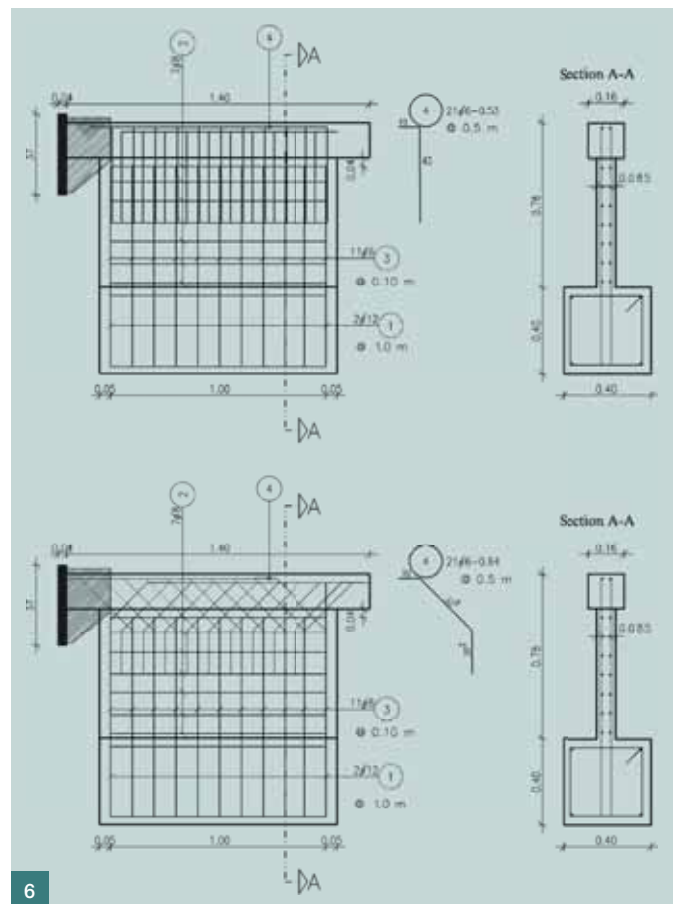
5

ných rozměrů. Vzhledem k prostoru a omezeným parametřům zkušebních kapacit, nebylo možné testovat celou jednu třetinu rozsahu smykové výztužné stěny modelu nebo třípatrový výsek jeho části (obr. 3). Proto, s cílem studovat alternativy připojení v rozhraní mezi sloupem a panelem železobetonové smykové stěny, byly zkoušky zaměřeny na okrajovou oblast prvního patra smykové stěny.

Typický zkušební vzorek je znázorněn na obr. 4. Vzhledem k laboratorním zkušebním podmínkám bylo nutné uspořádat zatěžovací zařízení vodorovně. Proto musel být kompozitní okrajový sloup s vnějšími rozměry 160 x 160 mm a tloušťce stěny 5,6 mm umístěn ve vodorovné poloze. Výsek stěnového panelu o délce 1 100 mm a výšce 680 mm představuje zhruba jednu třetinu z prvního patra modelové smykové výztužné stěny. Tloušťka stěny panelu byla 85 mm (tj. zhruba 1/3 z prototypové tloušťky stěny 250 mm). Aby bylo možné ukotvit zkušební vzorek do zkušebního rámu, byla stěna vybetonována společně s betonovým patním blokem s celkovými rozměry 400 x 400 x 1100 mm.

Celkový pohled na zkušební sestavu zobrazující zkušební vzorek, dvojčinný pohon a zkušební rám je uveden na obr. 5. Při horizontálním posunu řízeného cyklického zatěžování bylo nutno zabránit deformaci horní příruby spodního ocelového nosníku zkušebního rámu, a proto byly přidány vertikální výztuhy vyztužující horní přírubu pod zkušebním vzorkem. Poloha pohonu byla určena tak, aby se úroveň působící síly shodovala s úrovní rozhraní mezi okrajovým prvkem a smykovou výztužnou stěnou.

Bylo vyšetřováno celkem deset různých uspořádání a ukotvení výztužných prutů při cyklickém namáhání smykovými silami působícími na rozhraní mezi sloupem a panelem smykové stěny. Pět zkušebních vzorků s přímými (horizontálními) kotevními pruty a čtyři vzorky s diagonálně orientovanou kotevní výztuží procházející otvory ve stěně sloupu. Desátý vzorek měl pruty vodorovně výztuže přivařeny k ocelové stěně kompozitního sloupu. Ve všech případech byly pruty betonářské oceli ve sloupu připojeny k výztuži stěny pře-



6

Obr. 1 Půdorys budovy ■ Fig. 1 Plan view of building

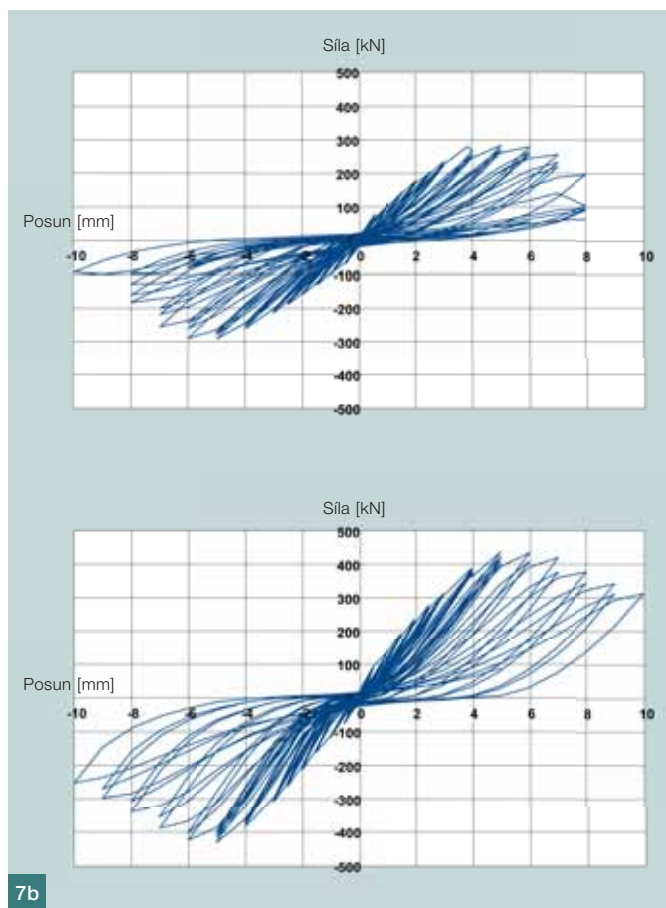
Obr. 2 Příčný řez ■ Fig. 2 Cross section

Obr. 3 Hybridní výztužná smyková stěna v měřítku 1 : 3 ■ Fig. 3 1/3 scale of hybrid shear wall (HSW)

Obr. 4 Zkoušený model ■ Fig. 4 View of test specimen

Obr. 5 Uspořádání zkoušek ■ Fig. 5 Test setup

Obr. 6 Alternativy vyztužení zkušebních vzorků ■ Fig. 6 Reinforcement details at interface connection



sahem. Dvě alternativy způsobu vyztužení a připojení stěny a sloupového prvku jsou ukázány na obr. 6.

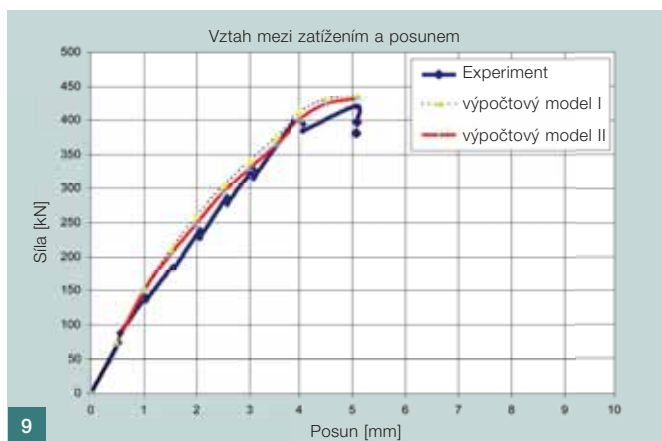
Zkoušky byly prováděny v režimu řízené deformace, střídavé posuny byly zvyšovány v krocích 0,5 mm v intervalu +/- 0,5 až 3 mm; v dalších intervalech v krocích o velikosti 1 mm, v závislosti na chování konkrétního zkušební vzorku. V každém kroku posunu, až do +/- 4 mm, byl vzorek podroben třem zatěžovacím cyklům. Následně, s cílem posoudit zhoršující se chování, byly provedeny čtyři cykly při opakovaných posunech; v konečné fázi byl každý krok byl proveden dvakrát.

Z velmi rozsáhlého souboru výsledků experimentálního sledování jsou na obr. 7, jako ukázka, uvedeny diagramy závislosti působící síly a deformace pro dva případy uspořádání zkušebních vzorků znázorněné na obr. 6.

Charakter hysterezních křivek záznamů závislosti síla x posun je, jako ukázka, znázorněn pro dva vzorky na obr. 7. Kromě vzorků 1 a 2, které zaznamenaly nejvyšší únosnost 320 resp. 390 kN, byla maximální únosnost u ostatních vzorků v rozmezí hodnot mezi 420 až 450 kN.

Výsledky ukázaly, že diagonálně uspořádané pruty výztuže pro připojení sloupu na stěnu vykazovaly při cyklickém smykovém zatěžování lepší působení než spojení s vodorovnými pruty. V tomto druhém případě hmoždíkové působení přímo v rozhraní způsobuje jistý pokluz mezi sloupem a stěnou.

Alternativní provedení s vodorovnými kotevními pruty přivařenými na stěnu sloupu vykazuje menší pokluz mezi krajním sloupem a stěnou. Proto, pro zajištění tuhého, integrovaného chování smykové stěny s krajními sloupy, lze doporučit buď diagonálně uspořádané pruty vycházející ze sloupu, nebo vodorovné vložky přivařené na výztuž smykové stěny. Avšak v případě, kdy by bylo požadováno měkčí připojení



Obr. 7 Diagram závislosti velikosti působící síly a deformace, a) zkušební vzorek HSW2, b) zkušební vzorek HSW5 (obr. 6) ■
Fig. 7 Force – displacement diagram a) for specimen HSW2, b) for specimen HSW5 (see fig. 6)

Obr. 8 Charakter porušení – zkušební vzorek HSW2 ■
Fig. 8 Cracking pattern of specimen HSW2

Obr. 9 Porovnání experimentálních a výpočtových výsledků: zkušební vzorek HSW9 ■ Fig. 9 Force-displacement comparison for specimen HSW9

krajního sloupu a smykové stěny, je možno použít uspořádání s přímými pruty, protaženými skrz stěnu sloupu a připojenými k výztuži stěny.

Studie též zahrnovala porovnávací výpočet MKP v systému ANSYS za použití cihlových prvků schopných postihnout chování integrovaného betonu, oceli a stěnových panelů. Byly vytvořeny speciální výpočtové modely s cílem postihnout chování v rozhraní mezi okrajem sloupu a smykové stěny. Ze srovnání experimentálních a numerických výsledků vyplývá výborná shoda a prokazuje se výstižnost matematického modelu, vyvinutého v rámci popsané studie, pro popis nelineární odezvy vyšetřovaného hybridního stěnového systému (obr. 9).

ZÁVĚR

Numerický model vyvinutý a ověřený v rámci studie poskytuje možnost výstižného popisu chování sledovaného hybridního systému, zejména v oblasti rozhraní mezi stěnou a sloupem. Na tomto základě, který umožňuje realizovat výpočtové parametrické studie a optimalizovat tuhostní relace detailu připojení s možností řízení duktility, lze navrhnout vysoce efektivní stěnový systém pro dané konkrétní podmínky.

Z hlediska konstrukčního uspořádání se prokázalo, že pro

Literatura:

- [1] ACI 318-89, 1989, Building code requirements for reinforced concrete, Detroit, Michigan: American Concrete Institute, USA
- [2] ANSYS, 2001, User's – Theory Manual for Revision 5.7, Swanson analysis system's Inc., USA
- [3] *Ashadi H. W.*: 1997, A Hybrid Composite-Concrete Structure Earthquake Resistant System, Dissertation, Technische Universität Darmstadt
- [4] Architectural Institute of Japan, 1987, AIJ standard for structural calculation of steel reinforced concrete structures. Revised 1991
- [5] *Bažant Z. P.*: 1976, Instability, Ductility and Size Effect in Strain Softening Concrete, Journal of Eng. Mechanics, ASCE, Vol. 102(2), pp. 331–344
- [6] *Bažant Z. P., Belytschko T. B., Chang, T.-P.*: 1984, Continuum Theory for Strain Softening, Journal of Eng. Mechanics, ASCE, Vol. 110, pp. 1666–1692
- [7] *Bažant Z. P., Prat P.*: 1988, Microplane model for brittle plastic materials. I: Theory, II: Verification, Journal of Eng. Mechanics, ASCE, Vol. 114, pp. 1672–1702
- [8] *Belytschko T., Liu W. K., Moran B.*: 2000, Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures, John Wiley & Sons, New York, USA
- [9] *Bergmann R.*: 1981, Traglastberechnung von Verbundstützen, Mitteilung Nr. 81-2, Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen Institut für Konstruktiven Ingenieurbau Ruhr-Universität Bochum
- [10] *Betten J.*: 1993, Kontinuumsmechanik, Springer-Verlag, Berlin
- [11] *Boresi A. P., Chong K. P.*: 1987, Elasticity in Engineering Mechanics, Elsevier Science Publishers, England
- [12] *Bouwkamp J. G., Ashadi H. W.*: 1992, A seismic hybrid composite structural frame system for buildings, Inter. symp. on Earthquake disaster prevention, Mexico City, Mexico
- [13] *Chen W. F.*: 1982, Plasticity in Reinforced Concrete, McGraw-Hill Book Company Inc., USA
- [14] *Chen W. F., Han D. J.*: 1988, Plasticity for Structural Engineers, Springer-Verlag, New York Inc. USA
- [15] Comite International pour le developement et etude de la construction tubulaire, 1970, Concrete filled hollow section steel columns, British edition, London
- [16] *Darwin D., Pecknold D. A.*: 1976, Analysis of RC Shear Panels under Cyclic Loading, Journal of the Struct. Division, ASCE, Vol. 102, No. ST2, pp. 355–369, USA
- [17] European Committee for standardization, 1992, Eurocode-4, common unified rules for composite steel and concrete structures, ECSC-EEC-EAEC, Brussels: Luxembourg
- [18] *Wirth U.*: 2011 Seismic resistance of a hybrid shearwall system, Disertace, Fakulta stavební ČVUT v Praze

zajištění tuhého, integrovaného chování systému je zejména výhodné použití šikmých diagonálně uspořádaných prutů nebo vodorovných vložek přivařených na výztuž smykové stěny.

Článek byl zpracován v rámci řešení projektu 103/09/2016 GA ČR a VZ 04 CEZ MSM 6840770005.



Dr.-Ing. Nuri Shirali
Odenwaldring 27, 64380 Roßdorf
Germany

Dipl.-Ing. Ulrich Wirth, PhD.
PWW-Ingenieurbüro für Bauwesen
Moosbergstr. 97b, 64285 Darmstadt
Germany



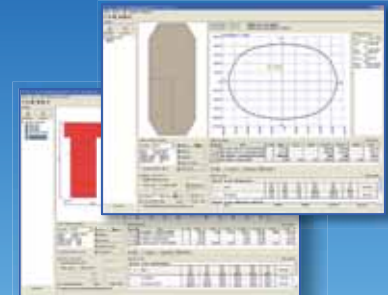
Prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc., FEng.
Stavební fakulta ČVUT
Odborná společnost pro vědu výzkum
a poradenství ČSSI



První autor obdržel za projekt popsany v článku Cenu ČBS za vynikající disertační práci. Text článku byl posouzen odborným lektorem.

structural engineering FIN EC

Statika a dimenzace stavebních konstrukcí



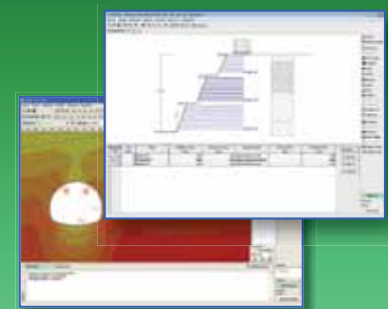
EN - 1990, 1991, 1992, 1993, 1995, 1996

- dimenzování betonu, oceli, dřeva, zdiva podle aktuálních Eurokódů
- automatická generace kombinací podle zatěžovací normy
- možnost zadat součinitele podle libovolné Národní přílohy
- posouzení požární odolnosti
- posouzení MSÚ i MSP (mezni stav napětí a trhlin) v betonech
- Beton 3D - posouzení libovolného tvaru průřezu na všechny vnitřní síly

geotechnical software suite GEO5

verze 13

Geotechnické programy podle Eurokódů



GEO5 verze 13

- nový program Vyztužené násypy
- nové možnosti programů:
 - zemětřesení EN 1998
 - napjatost + proudění v MKP
- volba dostupných Národních aplikačních dokumentů
- výpočet podle všech tří návrhových přístupů

www.fine.cz

fine

tel.: +420 233 324 889
fax: +420 233 321 754
E-mail: hotline@fine.cz