

PREFABRIKOVANÝ DESKOSTĚNOVÝ KONSTRUKČNÍ SYSTÉM VÍCEPDLAŽNÍCH BUDOV SE SPOJITOU STROPNÍ KONSTRUKCÍ ■ PREFABRICATED WALL-SLAB STRUCTURAL SYSTEM OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH A CONTINUOUS FLOOR STRUCTURE

Jiří Witzany

Prefabrikovaný deskostěnový konstrukční systém vícepodlažních budov pro bytové a občanské stavby se spojitou stropní konstrukcí vyrobený z technologicky příbuzných dílců se vyznačuje variabilitou skladby svíslé a vodorovné nosné konstrukce. Aplikace efektivních statických principů umožňuje dosáhnout větších rozponů stropní desky (cca o 30 %) vytvořené z plných stropních dílců výšky do 160 mm (rozpon 6,6 až 7,2 m) v porovnání s běžným řešením nosníkové stropní desky stávajících prefabrikovaných systémů a panelových budov. Nosný systém umožňuje vytvářet velké otvory v nosných vazbách, a tím dosáhnout volnější propojení, popř. sdružení sousedních trav. Řešení svíslé nosné konstrukce na principu stěn a stěnových pilířů shodné tloušťky (150 až 200 mm) umožňuje po výšce nosné vazby „hladký“ přechod stěn do stěnových pilířů a naopak bez průvlaků, a tím dosáhnout značné rozmanitosti řešení konstrukce po výšce budovy. Tzv. nulové uložení stropních dílců na deskové stropní nosníky umožňuje vytvořit hladký pohled stropní konstrukce. ■ The prefabricated wall-slab structural system of multi-storey buildings for residential and public buildings with a continuous floor structure produced with technologically similar units is characterised by the variability in the composition of the vertical and horizontal load-bearing structure. The application of efficient structural principles allows reaching greater spans (by approx. 30 %) of the floor slab made up of solid floor units with a depth of up to 160mm (spans of 6.6 to 7.2 m) as compared to standard compositions with a beam-slab system used in existing prefabricated and other panel buildings. The load-bearing system allows designing large openings in load-bearing elements thus reaching

a looser connection between adjacent traves. Design of a vertical load-bearing structure using the principle of walls and wall columns of identical width (150 to 200mm) enables a “smooth” transition of walls into wall columns and vice versa without girders along the height of the structure thus allowing considerable variability in the design. The so-called zero bearing of floor units onto slab floor joists allows a smooth ceiling of the floor structure to be achieved.

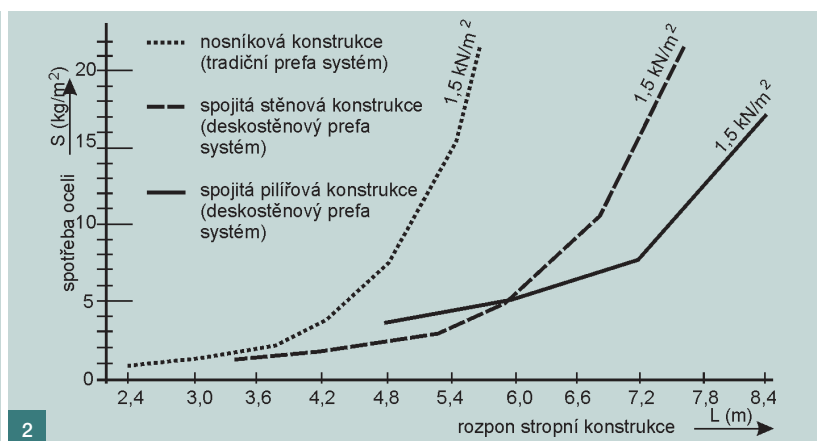
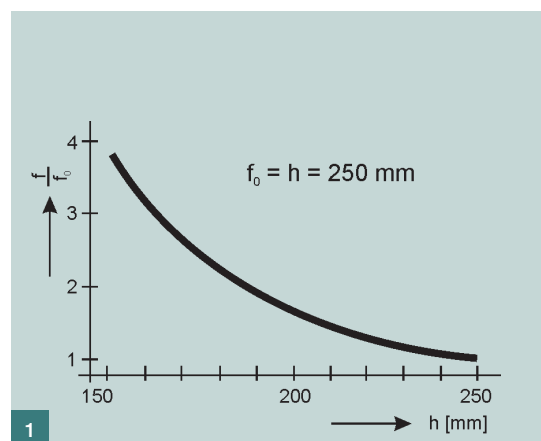
Prefabrikovaná stropní konstrukce panelových budov je vytvořena z jednotlivých stropních dílců prostě uložených – jako nosníkové desky – na horní zhlaví stěnových dílců. Kloubové uložení stropních dílců na stěnové dílce je určující z hlediska jejich dimenze, především tloušťky a množství výztuže. Neúměrně zvyšování podílu vlastní hmotnosti zejména plných stropních dílců při zvětšování rozponu na jejich celkovém zatížení vyžaduje vylehčování průřezu dutinami (kruhové, oválné apod.), popř. předepnutí výztuže dílců (obr. 1). Oba tyto požadavky vyžadují náročnější technologii výroby stropních dílců. V případě stropních dílců žebírkových nebo trámových je nutné doplnit stropní konstrukci akustickými podhledy a zvětšit konstrukční výšku, a tím i částečně zvýšit energetickou náročnost budov s těmito stropními konstrukcemi v porovnání s deskovými dílci.

Jak prokázaly dílčí statické analýzy optimální rozpon plných nosníkových stropních dílců obvyklé tloušťky 150 mm je nejvýše 4,8 m (obr. 2, [1]). Překročení této hranice je spojeno s neúměrným nárůstem množství oceli výztu-

že. Na rozdíl od nosníkové prefabrikované stropní konstrukce zajišťuje monolitická stropní konstrukce v důsledku své spojitosti nad podporami podstatně příznivější rozdělení ohybových a deformačních účinků, a v důsledku toho výrazné snížení množství oceli v porovnání s prefabrikovanou stropní deskou při stejném uspořádání a zatížení, popř. umožňuje při stejné dimenzi a zatížení dosáhnout větší rozpon stropní konstrukce, a tedy i snížení celkové materiálové náročnosti.

PREFABRIKOVANÝ DESKOSTĚNOVÝ KONSTRUKČNÍ SYSTÉM SE „SPOJITOU“ STROPNÍ KONSTRUKCÍ

Navržené řešení prefabrikované stropní konstrukce vytvořené z deskových stropních nosníků a stropních dílců se svým statickým působením blíží monolitické desce. Je to důsledek přesunu kloubů z podpor do míst přibližně nulových ohybových momentů monolitické desky stejného tvaru, podepření a zatížení. Skryté stropní nosníky mají v oblasti podpor souvislý – monolitický – průřez, a proto mohou přenášet ohybové účinky nejen ve směru podpor, ale zejména kolmo k nim. Tím je zajištěno, že stropní deska vytvořená z jednotlivých dílců působí v podstatě jako monolitická při účinném využití statické funkce nezbytných kloubů mezi stropními dílci (obr. 3, [1, 2]). Jsou-li styky mezi stropními dílci správně konstruovány, přenášejí krouticí momenty, čímž zprostředkují „žaluziové“ působení stropní desky jako celku. Přízni-



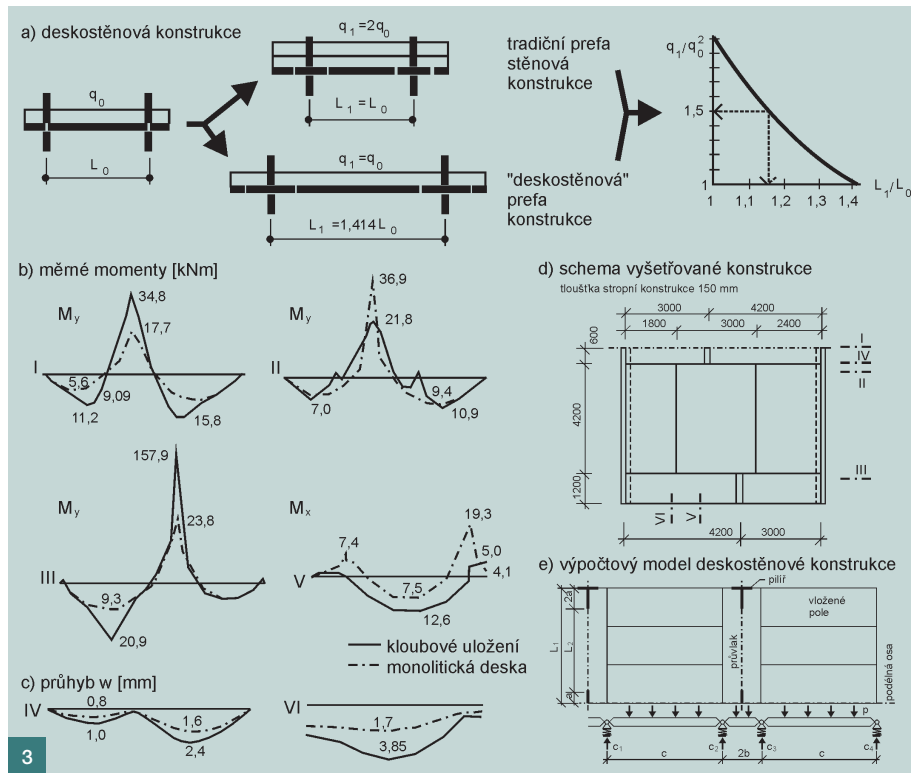
vý účinek kroucení lze dále zvýraznit rozdílným způsobem podepření sousedních skrytých deskových stropních nosníků.

Stropní deskový nosník může být uložený na stěnových pilířích, stěnách, popř. sloupech v rovině své podélné osy nebo na svém obvodu, popř. i v mezi-lehých rovinách tak, aby byla zajištěna,

s přihlédnutím k účinku tuhosti v kroucení deskového nosníku a přilehlých stropních polí a ke způsobu zatížení stropní konstrukce, jeho stabilita proti překlopení a požadovaná únosnost konstrukce vhodným rozmístěním stěn a stěnových pilířů. Uložení stropních dílců na deskové nosníky umožňuje vytvářet v nosných

stěnách velké otvory, popř. uložit nosník pouze na stěnové pilíře – pilířový systém – obdoba sloupového systému (obr. 4).

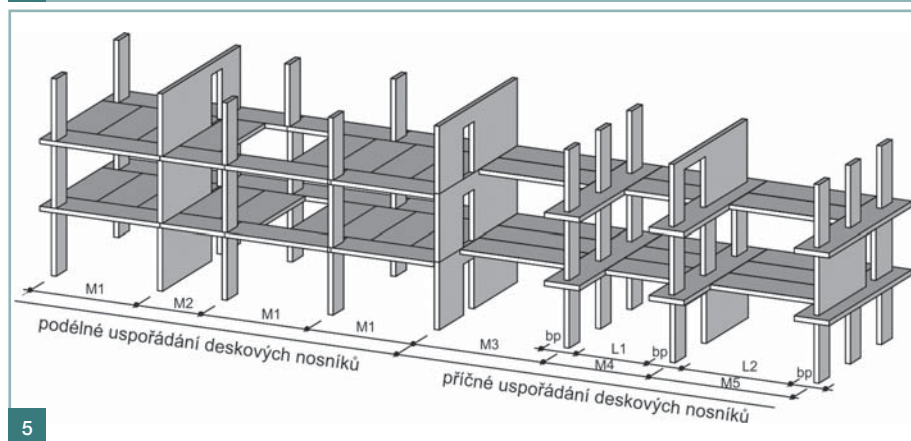
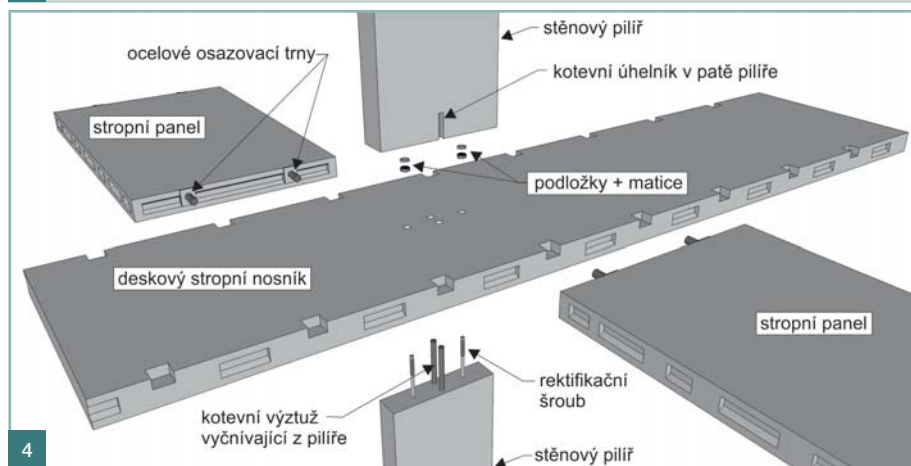
Shodná tloušťka stěn a stěnových pilířů umožňuje plynulý přechod mezi stěnami a pilíři v půdorysu i po výšce budovy. Při řešení skladby svíslé nosné konstrukce je nutné respektovat kritérium



Obr. 1 Vztah mezi výškou průřezu a poměrem f/f_0 | Fig. 1 Relation ship between the height of the cross section and the f/f_0 ratio

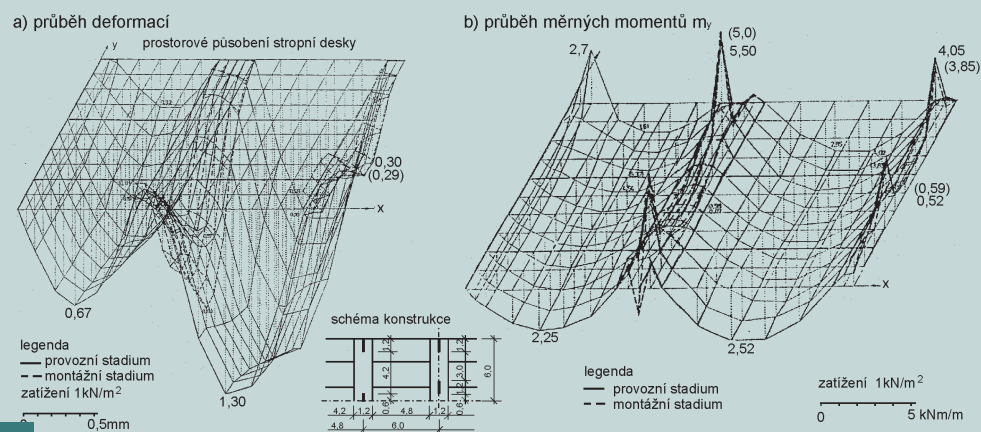
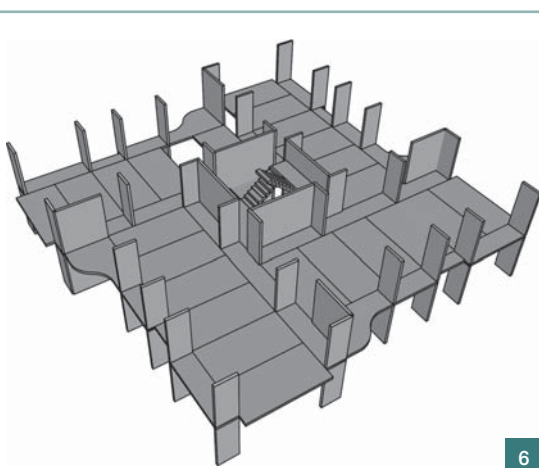
Obr. 2 Porovnání spotřeby oceli výztuže v deskové stropní konstrukci tloušťky 150 mm pro případ „nosníkové“ a spojitě deskové prefabrikované stropní konstrukce [1] | Fig. 2 Comparison of the amount of reinforcement in the 150mm thick floor slab required for the beam and slab, and continuous slab prefabricated floor structure [1]

Obr. 3 a) Optimalizace šířky deskových nosníků a rozponu vložených stropních dílců, b) příklad obousměrného roznašení účinků svíslého zatížení spojitou deskovou stropní konstrukcí a porovnání statického působení spojitě prefabrikované a monolitické stropní konstrukce, c) porovnání průhybu prefabrikované deskové spojitě konstrukce a monolitické konstrukce, d) schéma vyšetřované konstrukce, e) výpočtový model spojitě deskostěnové stropní konstrukce | Fig. 3 a) Optimisation of the width of slab beams and the span of inserted floor units, b) example of bidirectional distribution of the effects of vertical load via a continuous slab floor structure and comparison of the structural action of a continuous prefabricated and in-situ floor structure, c) comparison of the deflection of a continuous prefabricated slab structure and a in-situ structure, d) layout of the investigated structure, e) computational model of a continuous wall-slab floor structure



Obr. 4 Uložení deskového stropního nosníku s převislým koncem na stěnové pilíře situované v ose deskového nosníku | Fig. 4 Detail of the support of a slab floor beam by a cantilevered end of wall columns situated in the axis of the slab beam

Obr. 5 Varianty uspořádání nosného systému (integrovaných nosných vazeb) s prefabrikovanou deskovou stropní konstrukcí | Fig. 5 Alternative solutions of a load-bearing system (integrated load-bearing frames) with a prefabricated concrete floor slab



spolehlivého přenosu sil a účinků z vrchní stavby do základové konstrukce a stability deskových stropních nosníků.

Nosný prefabrikovaný systém tvoří soustava stěnových pilířů, (popř. sloupů), rovinných nebo zalomených stěn a soustava stropních dílců a deskových stropních nosníků (obr. 5). Stropní tabule je prostřednictvím styků zmonolitněna tak, aby zajišťovala požadovanou redistribuci vodorovných sil a účinků do prostorově působícího nosného systému. Stabilitu nosného systému zajišťují stěnové pilíře a stěnové útvary. Skladba nosného systému je charakteristická uspořádáním skrytých deskových stropních nosníků a způsobem tvarování a rozmístění stěnových pilířů [2].

Uspořádáním nosného systému – deskových nosníků a stěnových pilířů – lze vytvořit řadu variant v souladu s funkčními a dispozičními požadavky (obr. 6). Rozmístění stěn a stěnových pilířů je třeba navrhovat z hlediska obousměrného působení stropní tabule. Optimální šířka a rozpon vkládaných stropních dílců je vhodné navrhnout v souladu s průběhem ohybových momentů na zmonolitněné stropní desce (obr. 3). Jak vyplývá z průběhu ohybových momentů na spojitým nosníku, je optimální šířka deskových nosníků přibližně rovna 0,3násobku modulové vzdálenosti sousedních svislých podpor a rozpon vkládaných stropních dílců 0,7násobek modulové vzdálenosti sousedních svislých nosných konstrukcí. Hodnoty momentů pro dimenzování jsou určovány z analýzy momentového pole stanoveného výpočtem MKP. Výsledné (dimenzační) momenty je nutné stanovit z ohybových i kroutících momentů. Styky mezi jednotlivými stropními dílci a styky mezi stropními dílci a deskovými stropními nosníky lze modelovat jako přímkové klouby.

Efektivní řešení stropní konstrukce

z hlediska spotřeby oceli výztuže dílců souvisí jednak se způsobem jejího uložení (rozmístění a tvaru podpor) a jednak s polohou přímkových kloubů ve stropní desce. Optimální poloha styků deskových stropních nosníků a stropních desek by se měla přibližně shodovat s polohou nulových momentů monolitické desky shodných rozměrů, zatížení a uspořádání.

Na obr. 7 jsou znázorněny průběhy svislých deformací a měrných momentů před zmonolitněním styků (čárkovaná čára) a po zmonolitnění styků dílců stropní konstrukce (plná čára). Poloha přímkových kloubů ve stropní tabuli významně ovlivňuje spotřebu nosné výztuže.

Teoretické rozborů jednoznačně prokazují výrazné prostorové působení prefabrikované stropní desky po zmonolitnění styků, obousměrné roznašení zatížení a příznivý vliv nepravidelného uspořádání svislé nosné podporující konstrukce. Z obr. 7 je zřejmé, že po zmonolitnění stropní desky klesla hodnota průhybu deskového nosníku z 1,1 mm před zmonolitněním při jednotkovém zatížení stropní konstrukce (zatížení deskového nosníku na hraně 2,4 a 2,7 kN/m) na hodnotu 0,57 mm, tj. na 51,8 %.

Zmonolitnění stropní desky je realizováno provedením diskretních svařovaných spojů, příp. závlčkovou výztuží a vyplněním styků mezi dílci s účinně tvarovanými bočními stykovými plochami stykovým betonem.

Na obr. 8 jsou uvedeny výsledky analýzy a porovnání konstrukčně statických vlastností prefabrikované spojitě stropní deskostěnové konstrukce s dosavadními běžnými typy prefabrikovaných nosníkových stropních konstrukcí. Z uvedených grafických znázornění jsou patrné pozitivní důsledky staticky účinného uspořádání nos-

Obr. 6 Příklad skladby nosné konstrukce vícepodlažního bytového objektu ■ Fig. 6 Example of the composition of a load-bearing structure of a multi-storey residential building

Obr. 7 a) Průběh deformací před a po zmonolitnění styků deskové stropní konstrukce, b) průběh měrných momentů m_y před a po zmonolitnění styků deskové stropní konstrukce ■ Fig. 7 a) Pattern of deformations n before and after the elimination of joints within a slab floor structure, b) diagram showing specific moments m_y before and after the elimination of movement in joints within a slab floor structure

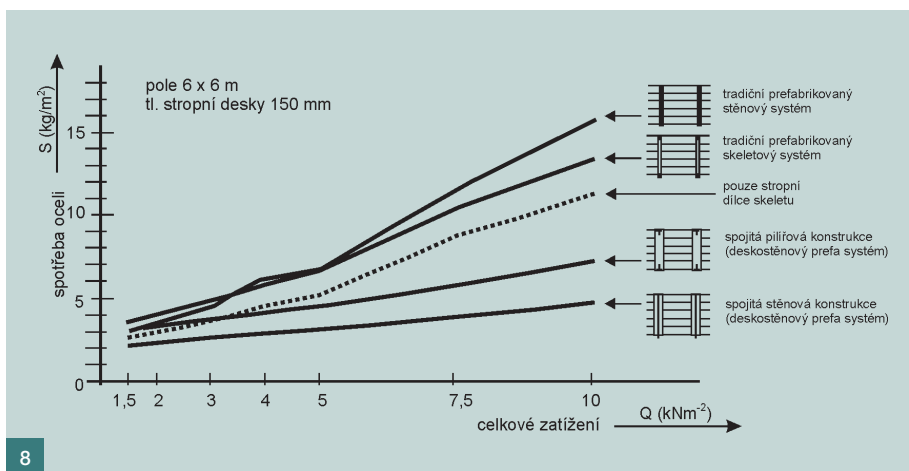
Obr. 8 Porovnání účinnosti konstrukčně statických principů uplatňovaných v prefabrikovaných konstrukcích z hlediska spotřeby oceli [1] ■ Fig. 8 Comparison of the efficiency of structural principles applied in prefabricated concrete structures in terms of consumption of steel [1]

Obr. 9 a) Schéma konstrukčního řešení styku stropních dílců a deskového stropního nosníku, b) uložení stropního dílce, c) montáž stropních dílců s úložnými trny, d) experimentální zkouška styku stropních dílců a deskového stropního nosníku] ■ Fig. 9 a) Outline of a structural design of joints between floor units and a slab floor beams, b) support for a floor unit, c) assembly of floor units with mounting pins, d) experimental testing of a joint between floor units and a slab floor beam

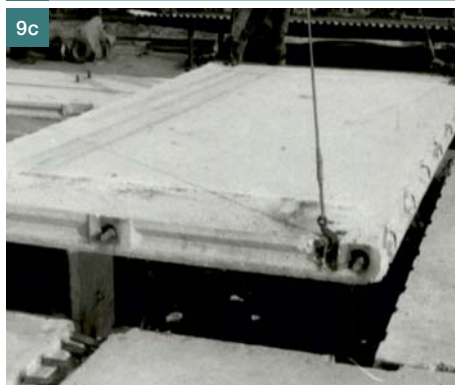
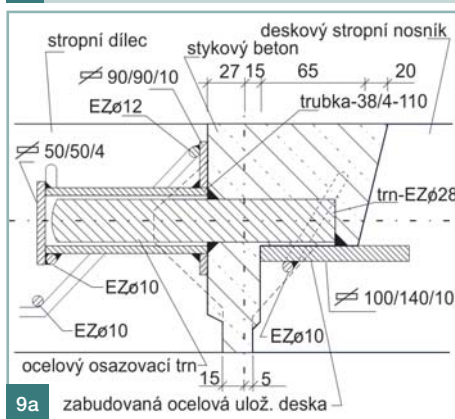
ného systému, zejména vliv spojitosti deskové stropní konstrukce nad podporami a vhodného rozmístění liniových kloubů.

KONSTRUKČNÍ A STATICKÉ ŘEŠENÍ STYKŮ

Charakteristickým stykem deskostěnového systému s hladkým podhledem je styk „deskový stropní nosník – stropní dílec“, řešený na principu tzv. nulového uložení stropního dílce prostřednictvím ocelových trnů zabudovaných před montáží do čel stropních dílců a staticky účinného tvarování stykových ploch dílců. Experimentální ověření prokázalo požadovanou statickou únosnost a spolehlivost navrženého



8



řešení styku, které umožňuje shodnou úpravu čela stropních dílců při jejich uložení na deskové stropní nosníky, popř. na stěny (obr. 9).

INTEGROVANÉ NOSNÉ VAZBY

Hlavním úkolem tzv. integrovaných nosných vazeb (obr. 5.), u nichž je uspořádání svislé nosné konstrukce tvořené po výšce vícepodlažního objektu stěnovými a pilířovými prvky rozdílné, je spolehlivý přenos vodorovných a svislých účinků mezi jednotlivými podlažními a do základové konstrukce.

Obdobné tvarové řešení pilíře jako stěny (např. shodná tloušťka) a zejména jeho uspořádání v rovině stěny zabezpečuje potřebný kontakt stěnové a pilířové konstrukce a v důsledku toho i rovnoměrnější přenos sil v přechodu, např. stěny na stěnový pilíř, popř. stěnového pilíře na stěnu (tzv. nekontaktní styk) prostřednictvím stropního nosníku „přímo“ bez průvlaku, popř. masivní rámové příčle, jak je v řadě případů běžně řešen při přechodu stěn na sloupovou podnož. Kontakt mezi stěnovou konstrukcí a stěnovými pilíři stejné, popř. přibližně stejné tloušťky, příznivě ovlivňuje napjatost konstrukce v této oblasti jak z hlediska normálových napětí σ_x a σ_y , tak i z hlediska smykových napětí τ_{xy} . To je zásadní rozdíl oproti „přechodu“ stěny na podstatně rozdílný rozměr (šířku) sloupové konstrukce podnože s masivní příčlí. Průvlak v těchto případech zprostředkuje i rovnoměrnější přenos smyku ve vodorovné spáře. V konečném, provozním, stadiu průvlak (příčle) plní především funkci táhla (zpravidla se neuplatňuje jeho ohy-

Ověřte Vaši konstrukci programem ATENA!

Připojte se ke špičkovým inženýrům, kteří používají počítačovou simulaci pro kontrolu a navrhování bezpečných a spolehlivých staveb.



Nabízíme:

- jedinečný software pro nelineární analýzu a hodnocení bezpečnosti - programy ATENA Engineering, ATENA Science, SARA
- uživatelskou podporu a údržbu
- poradenství v oblasti nelineárních výpočtů a spolehlivosti konstrukcí

Použití pro:

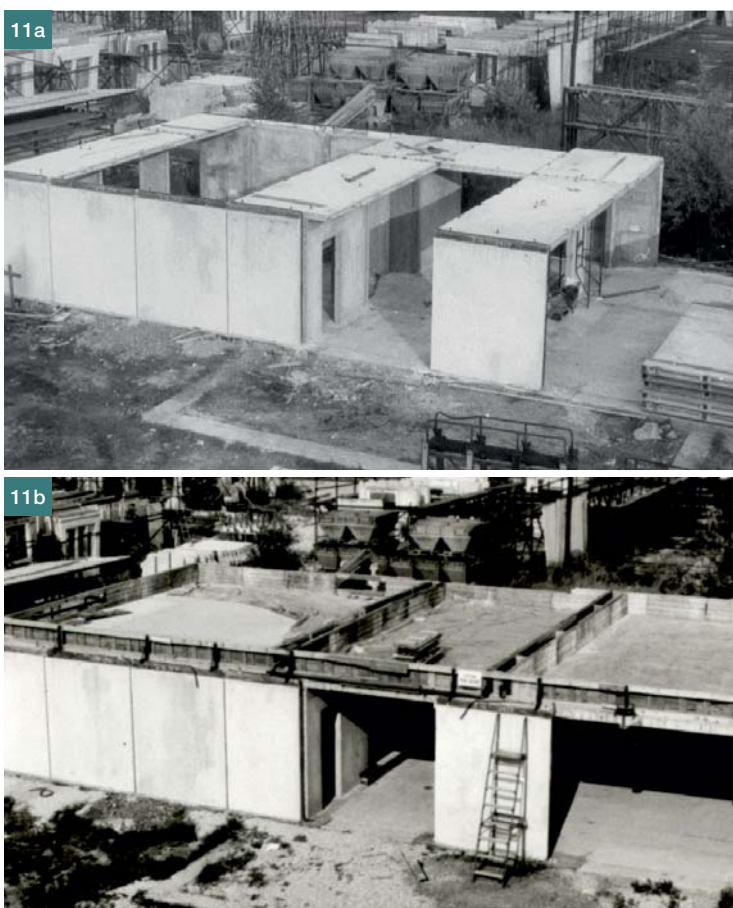
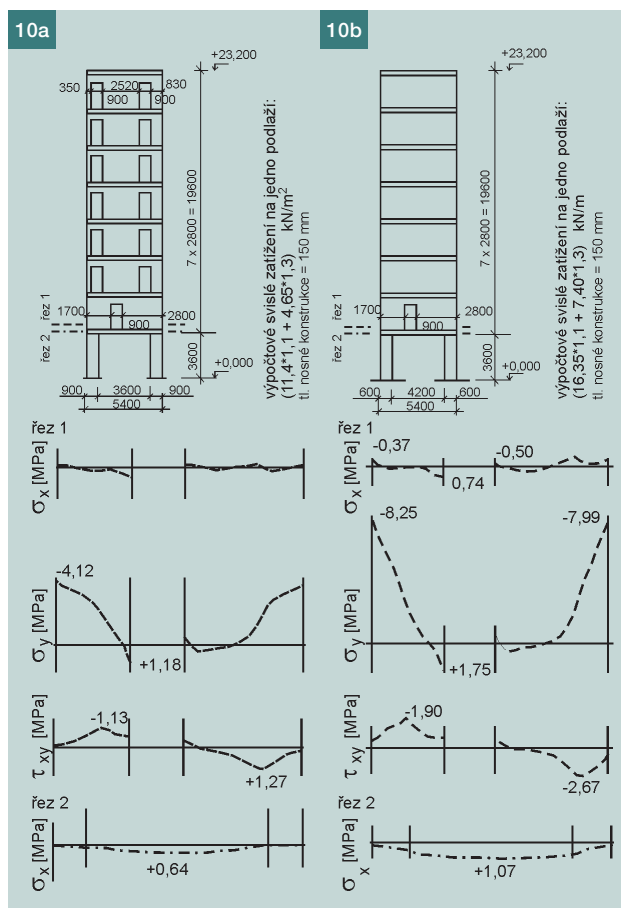
- budovy, mosty, energetické, vodohospodářské a podzemní stavby
- prostý a vyztužený beton, drátkobeton, vláknobeton
- stanovení šířky trhlin, průhybů, optimalizaci výztuže
- ověření únosnosti, odolnosti, spolehlivosti, zesilování konstrukcí



Na Hřebenkách 55 • 150 00 Praha 5

Tel: +420 220 610 018 • e-mail: cervenka@cervenka.cz • web: www.cervenka.cz

Firemní prezentace



bová tuhost). Tato skutečnost, na rozdíl od deskostěnového systému, je závažnou překážkou pro bezkolizní změnu v uspořádání svislé nosné konstrukce v jednotlivých podlažích vícepodlažního objektu se sloupovou podnoží.

K redistribuci namáhání způsobené uložení stěny na stěnové pilíře a naopak není zpravidla již nutné přihlížet v následujících vyšších, popř. nižších podlažích se shodnou skladbou svislé nosné konstrukce. Tuto skutečnost je nutno prokázat statickým výpočtem. Pozornost je nutné věnovat přenesení tahových sil (resp. tahových normálových napětí $+\sigma_x$) v patě stěny nad pilířovou konstrukcí („podnože“) s maximálními hodnotami uprostřed pole mezi podporami (stěnovými pilíři). Při malých šířkách deskového stropního nosníku se na přenosu vodorovných sil podílí i část přiléhající stropní konstrukce (nutno prokázat výpočtem). Smykové síly v ložné spáře mezi svislou nosnou konstrukcí a deskovým stropním nosníkem zprostředkovávají přenos vodorovných normálových napětí do deskového stropního nosníku (obr. 10). Významnou roli z hlediska přenosu vodorovných sil mají stabilizující normálová napětí v tlaku v ložné spáře styku stěna – deskový stropní nosník – pilíř, které zabraňují smykovým prokluzům (tu-

to skutečnost je nutné prokázat výpočtem, [3]). Ložnou spáru je vhodné „převázat“ výztuží (tuto funkci mohou částečně převzít i montážní šrouby, kotvené výztuž apod.). Tahové síly je nutné zachytit výztuží zabudovanou v deskovém stropním nosníku.

Konstrukčně statické řešení prefabrikovaného deskostěnového konstrukčního systému vícepodlažních budov se spojitou stropní konstrukcí bylo ověřeno na několika experimentálních stavbách a rozsáhlým experimentálním výzkumem, technologickými, statickými a dynamickými zkouškami na reálných konstrukcích v měřítku 1:1, (obr. 11).

Na konstrukčně statickém a technologickém řešení systému se významně podíleli Ing. Ivo Stařecký, Ing. Petr Opletal, CSc., Ing. Bedřich Krejzar a pracovníci vývojového oddělení Pozemních staveb Olomouc.

Příspěvek byl vypracován za podpory TA02010837 „Víceúčelový demontovatelný železobetonový prefabrikovaný stavební systém s řízenými vlastnostmi styků a možností opakovaných využití“.

Prof. Ing. Jiří Witzany, DrSc.
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
e-mail: witzany@fsv.cvut.cz



Obr. 10 Numerická analýza integrovaných nosných vazeb – průběh normálových napětí σ_x , σ_y a smykových napětí τ_{xy}

Obr. 11 Experimentální výzkum únosnosti a odolnosti prefabrikovaného deskostěnového systému, a) montáž nosného systému (statické zatížení realizováno vodou), b) výzkum dynamické odolnosti systému (dynamické zatížení elektrodynamickým budičem – celkem cca 850 000 kmitů s frekvencí 10 až 20 Hz)

Fig. 10 Numerical analysis of integrated load-bearing frame – diagram showing of normal stresses σ_x , σ_y and shear stresses τ_{xy}

Literatura:

- [1] Witzany J., Stařecký I.: Pilířový konstrukční systém s deskovou stropní konstrukcí, Pozemní stavby 1, 1987
- [2] Witzany J. et al.: Otevřená montovaná soustava pro komplexní bytovou výstavbu, studie, FSV ČVUT Praha, 1987
- [3] Horáček E.: Pevnost betonu s vrstvou nižší pevnosti při jednoosém namáhání, Stavebnický časopis č. 1, 1981
- [4] Witzany J. et al.: Návrh optimálního variabilního konstrukčního systému pro bytové a občanské stavby, Studie IPS, FSV ČVUT v Praze, 1999