PREFABRIKOVANÝ SLOUPOVÝ SYSTÉM VÍCEPODLAŽNÍCH BUDOV S DEMONTOVATELNÝMI STYKY ▮ PRECAST COLUMN SYSTEM OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH DEMOUNTABLE JOINTS

Jiří Witzany

Charakteristickým článkem prefabrikovaného železobetonového stavebního systému pro vícepodlažní budovy s řízenými statickými a dynamickými vlastnostmi jsou demontovatelné styky nosných železobetonových prefabrikovaných dílců s vysokou duktilitou, schopných absorbovat přetvárnou energii, které umožňují omezení intenzity zejména dynamických a cyklických účinků na úroveň, která nezpůsobí narušení stavby a jejích částí. Významnou vlastností těchto styků je také možnost eliminace vnějšího hluku (doprava, stavební činnost, průmyslová činnost) pod prahovou úroveň slyšitelnosti, a tím dosažení vyšší kvality vnitřního prostředí, možnost zástavby v oblastech se zvýšenou hlučností, dopravou apod. Podobně lze aplikovat systém v oblastech se zhoršenými základovými podmínkami, s podzemní dopravou, v oblastech poddolovaných a v oblastech s vysokou pravděpodobností výskytu přírodní seismicity. ▮ A significant part of a demountable precast reinforced concrete building system with controlled properties of joints for multi-storey buildings is the contact joint of load-bearing reinforced concrete precast units with high ductility able of absorbing energy. This allows limitation of the intensity of dynamic effects to a level that does not cause the failure of a building or its parts. An essential characteristic of such joints is also the elimination of outside noise (traffic, building and industrial activity) below the threshold of audibility thus enhancing the quality of the internal environment, permitting construction in areas with increased noise levels, traffic, etc. The system may analogically be applied in areas with substandard foundation conditions, with underground traffic, in undermined zones and in areas with high probability of the occurrence of natural seismicity.

K současné společnosti patří výrazná dynamika změn a to jak v oblasti ekonomické a správní, tak i v oblasti společenské. Rozvoj ekonomiky vyžaduje nejen častou rekvalifikaci a mobilitu pracovních sil ale také pružné stavební systémy, které umožňují demontáž a přemístění staveb podle potřeby a jejich další využití v novém prostorovém a funkčním uspořádání a místě. Této dynamice neodpovídají možnosti současných stavebních železobetonových systémů, které se vyznačují zpravidla omezenou adaptabilitou a vysokou náročností při změně užití. Jakékoliv přemístění stavby vyvolané výrobními, dopravními, popř. demografickými požadavky je u současných systémů stavění zpravidla spojeno s úplnou nebo částečnou demolicí objektu. Také zkušenosti s řadou objektů tzv. občanské vybavenosti (objekty předškolního a základního vzdělávání apod.) v rezidenčních čtvrtích ukázaly na potřebu generační mobility – přemístitelnosti – staveb. Obdobnou potřebu mají i objekty určené pro výrobu z hlediska jejich přemístění do míst s dostatečnou pracovní silou apod.

Současně používané monolitické železobetonové konstrukce jsou energeticky a materiálově velmi náročné. Především výroba energeticky náročného cementu a oceli má negativní důsledky na životní prostředí. Možnost „recyklace“ železobetonové konstrukce na úrovni prefabrikovaných dílců proto představuje významné energetické i materiálové úspory a snížení negativního vlivu na životní prostředí v porovnání s dosud běžnou recyklací stavebních materiálů. K významným vlastnostem patří i odolnost systému s demontovatelnými styky vzhledem k dynamickým účinkům a vibracím, a tím omezení negativních vlivů na kvalitu vnitřního prostředí staveb vystavených těmto účinkům.

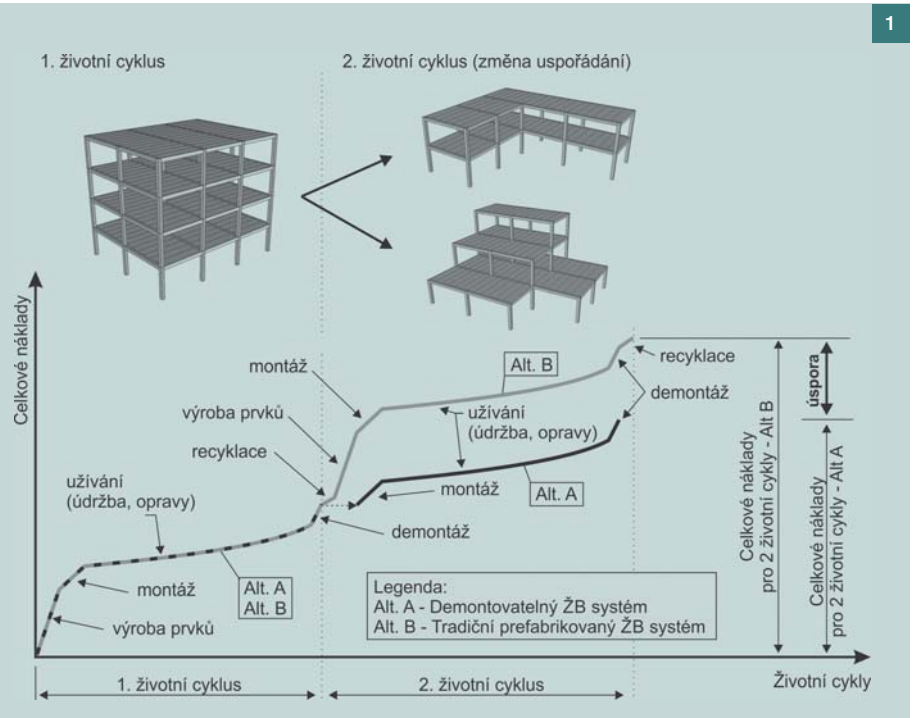
Obr. 1 Využití životnosti železobetonových prefabrikovaných dílců nosného systému s demontovatelnými styky v novém prostorovém a funkčním uspořádání (2. životní cyklus) ▮ Fig. 1 Exploitation of the service life of precast reinforced concrete units of a load-bearing system with demountable joints in a new spatial and functional arrangement (2nd life cycle)

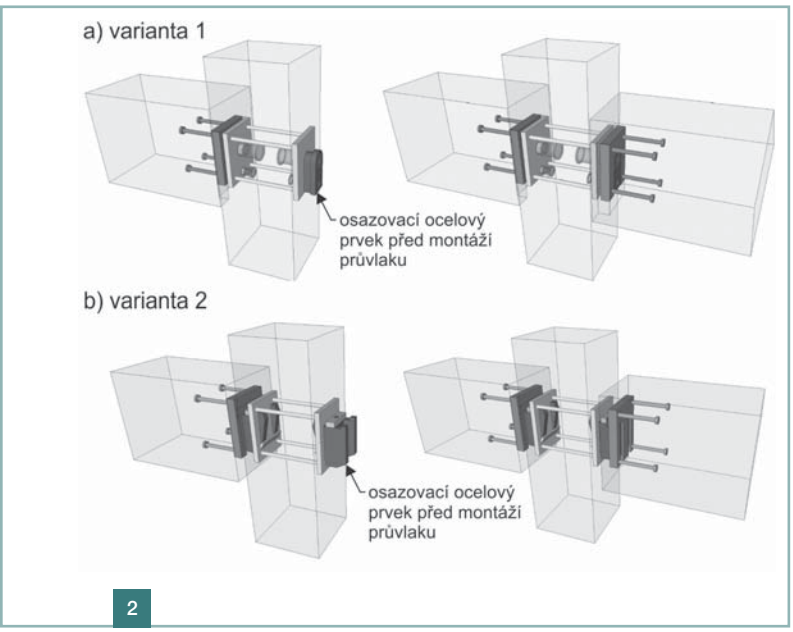
Obr. 2 Konstrukčně statické a skladebné řešení demontovatelného styku prefabrikovaných nosných dílců „sloup – průvlak“ ▮ Fig. 2 Structural design and composition of a “column-girder” demountable joint of precast load-bearing units

Obr. 3 Numerická analýza MKP kotevního, osazovacího a úložného ocelového prvku demontovatelného styku „sloup – průvlak“ prefabrikovaných nosných dílců programem ANSYS ▮ Fig. 3 FEM numerical analysis of an anchoring, fitting and mounting steel element of a “column-girder” demountable joint of precast load-bearing units in the ANSYS programme

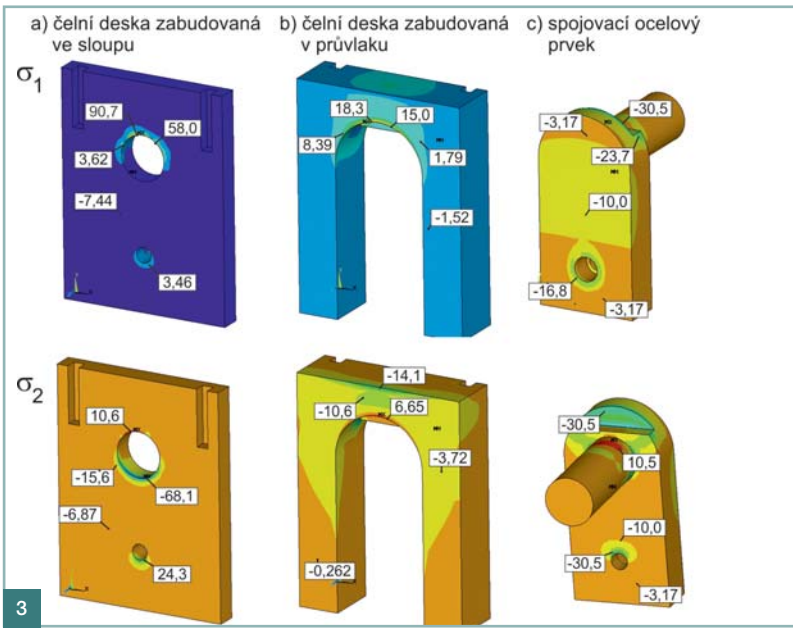
Obr. 4 Konstrukčně statické řešení demontovatelného kloubového styku „sloup – sloup“ prefabrikovaných dílců ▮ Fig. 4 Structural solution of a “column-column” demountable articulated joint of precast units

Obr. 5 Konstrukčně statické řešení demontovatelného kloubového styku „sloup – sloup“ prefabrikovaných dílců s vloženým pryžovým ložiskem ▮ Fig. 5 Structural solution of a “column-column” demountable articulated joint of precast units with an inserted rubber bearing





2



3

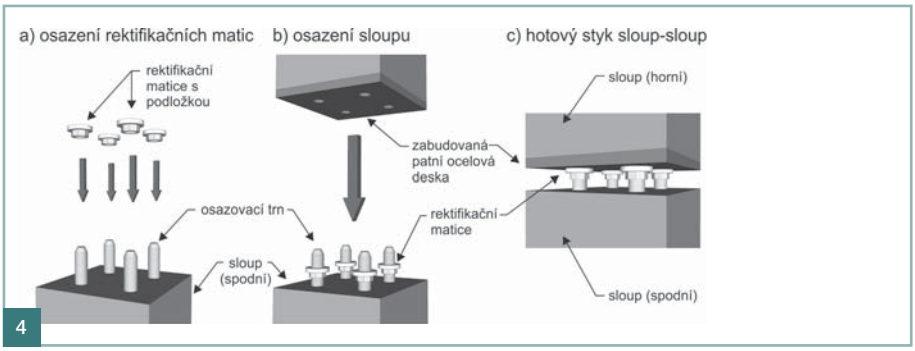
Opakované využití prefabrikovaných železobetonových dílců s vysokou životností v rámci nového stavebního řešení umožňuje dosáhnout značných materiálových a energetických úspor, na místo náročné demolice a následné recyklace složek betonu a výztuže dochází k opakovanému využití jednotlivých prefabrikovaných dílců, a dosáhnout souladu mezi životností železobetonových dílců a funkční životností stavby (např. přemístění objektu pro předškolní a základní vzdělávání, ubytovacích a hotelových objektů, objektů dočasného využití, objektů pro výrobní činnost při změně výrobního programu apod.). Demontovatelnost dává možnost nového prostorového uspořádání stavby v čase – rozšíření nebo zmenšení stavby – podle aktuálních požadavků uživatele stavby, postupné dostavby, řešení generačních cyklů apod. (obr. 1).

V rámci výzkumného projektu TA ČR TA02010837 byl navržen ve spolupráci s Prefa Praha, a. s., „Víceúčelový demontovatelný železobetonový prefabrikovaný stavební systém s řízenými vlastnostmi styků a možností opakovaného využití“. V současné době se uskutečňuje vývoj systému a připravuje se experimentální výzkum (statické, dynamické a požární zkoušky, technologické a ekonomické analýzy) prefabrikovaného sloupového systému s demontovatelnými styky.

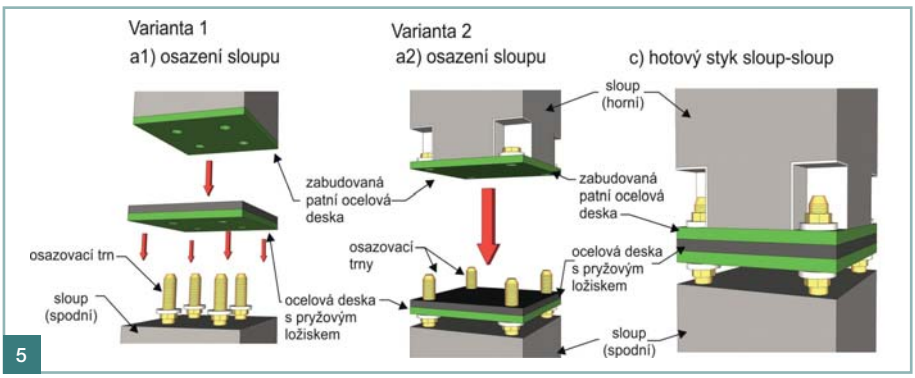
KONSTRUKČNÍ A STATICKÉ ŘEŠENÍ DEMONTOVATELNÝCH STYKŮ

Demontovatelný styk průvlaku a sloupu („sloup – průvlak“) sestává z ocelových kotevních a úložných desek zabudovaných v prefabrikovaném sloupu a průvlaku a při montáži dodatečně osazených spojovacích ocelových prvků. Spojovací ocelové prvky, které jsou neposuvně připevněny pomocí šroubového spoje, popř. pomocí speciálního zámkového spoje do kotevních desek zabudovaných ve sloupech, vytváří krátké konzolky, na které jsou následně uloženy prostřednictvím ocelových úložných desek průvlaky (obr. 2). Demontovatelný styk „sloup – průvlak“ je navržen tak, aby umožňoval jednoduchou montáž sloupové konstrukce s použitím prefabrikovaných sloupů o výšce jednoho, dvou až tří podlaží. Ze statického hlediska je demontovatelný styk „sloup – průvlak“ navržen jako kloubový. Je dimenzován na svislou a vodorovnou posouvající sílu a na krouticí moment od účinku jednostranného uložení dílců v krajních polích. Navržené řešení bylo podrobeno 3D numerické analýze programem ANSYS (obr. 3).

Styk sloupů („sloup – sloup“) je navržen na principu stavěcích šroubů opatřených osazovacími a zároveň rektifikačními maticemi pro vyrovnání sloupu vyššího podlaží do požadované výškové a svislé polohy. Zhlaví sloupu nižšího podlaží se čtyřmi osazovacími šrouby s maticemi (varianta 2) a kotevními trny (varianta 1) je vzhledem k technologickým a statickým požadavkům situováno nad stykem „sloup – průvlak“ (na úrovni horního líce průvlaků a stropních dílců). Pata sloupu vyššího podlaží



4



5

má zabudovanou ocelovou desku s otvory pro uložení sloupu na osazovací šrouby s maticemi (varianta 2) a kotevními trny (varianta 1). V patě sloupu jsou zabudovány speciální (neoprenové, polypropylenové) hmoždinky, které procházejí otvory v ocelové desce (obr. 4). Pro případ eliminace vibrací z nižšího do vyššího podlaží a snížení odezvy nosného systému vzhledem k dynamickým účinkům je tuhost styku „sloup – sloup“ snížena. Na výškově vyrovnané šrouby a kotevní trny vyčnívající ze zhlaví sloupu nižšího podlaží je uložena ocelová roznášecí deska opatřená pryžovým ložiskem s požadovanou tuhostí tak, aby bylo dosaženo tlumení vibrací určitých frekvencí, popř. dosaženo požadované úpravy dynamických vlastností nosného sloupového systému. Styk „sloup – sloup“ s kotevními trny (varianta 1, obr. 4), který umožňuje jednodušší montáž styku, vyžaduje v průběhu montáže příslušného podlaží stabilizaci sloupu. Styk „sloup – sloup“ se šroubovými spoji (varianta 2, obr. 5) umožňuje v závislosti na výšce sloupu (sloup na jedno, dvě, popř. tři podlaží) použití jednodušší stabilizace sloupu.

Ocelové zabudované prvky jsou navrženy z oceli S355J0. Pro případ vystavení styků prostředí s vysokou relativní vlhkostí (větší než 75 %), popř. agresivnímu prostředí se předpokládá užití oceli žárově pozinkované, popř. nerez oceli odpovídající třídy. Řešení styku „sloup – průvlak“ je z technologického hlediska navržené tak, aby nenarušovalo obrys prefabrikovaných dílců a umožnilo jednoduchou a přesnou výrobu dílců (obr. 6).

PREFABRIKOVANÝ DEMONTOVATELNÝ SYSTÉM S ŘÍZENÝMI DYNAMICKÝMI VLASTNOSTMI

Řízené dynamické vlastnosti nosného sloupového systému vytváří předpoklady pro užití systému v extrémních podmínkách a situacích a umožňují do značné míry eliminovat dynamické a seismické účinky způsobené lidskou činností, dopravou, stavební a výrobní činností (technická a indukovaná seismicita), popř. přírodními seismickými účinky. Vedle samotného omezení intenzity dynamických účinků na úroveň, která nezpůsobí narušení stavby a jejích částí, prostřednictvím kompenzačních článků vložených do styků schopných absorbovat energii s danými dynamickými charakteristikami, je také významnou vlastností těchto styků eliminace vnějšího hluku (doprava, stavební činnost, průmyslová činnost) pod prahovou úroveň slyšitelnosti, a tím dosažení vyšší kvality vnitřního prostředí, možnost zástavby v oblastech se zvýšenou hlučností. Podobně lze aplikovat systém v oblastech se zhoršenými základovými podmínkami, s podzemní dopravou, v oblastech poddolovaných a v oblastech s vysokou pravděpodobností výskytu přírodní seismicity.

Pro prefabrikované systémy je charakteristický mechanismus přetváření a porušování, při němž meznímu stavu konstrukce jako celku předchází porušování styků zpravidla překročením meze úměrnosti, při němž konstrukce přechází z lineárně pružného chování do nelineárně pružného až plastického stavu. Zajištění bezpečnosti nosného systému proti ztrátě stability, popř. překročení jeho únosnosti vyžaduje, aby při disipaci přetvárné energie převládal mechanismus plastického přetváření v kritických místech nosného systému a nedošlo k úplnému vyřazení příslušné statické vazby. V prefabrikovaných systémech mají z tohoto hlediska zpravidla rozhodující úlohu styky prefabrikovaných dílců, pro které je charakteristická jejich vyšší tuhost a tomu neodpovídající jejich pevnost – styky „na sebe váží“ v důsledku své tuhosti namáhání větší, než je jejich únosnost (pevnost). Významnou úlohu má stropní deska svazující jednotlivé svislé prvky v nosný prostorový systém, přičemž zajištění této funkce je především závislé na pevnosti styků mezi prefabrikovanými stropními dílci. U běžně užívaného řešení styků prefabrikovaných sloupových systémů, u nichž plné využití duktility styků – rozsahu nelineárně pružných a plastických deformací – je spojeno s postupným rozvojem trhlin a porušováním styků (postupné snižování tzv. vratné síly a nárůstu plastických přetvoření), které předchází selhání – kolapsu styků. Vložení pružných článků do styků nosných dílců výrazně rozšiřuje pružnou oblast a duktilitu a snižuje extrémní hodnoty namáhání pod mez jejich únosnosti.

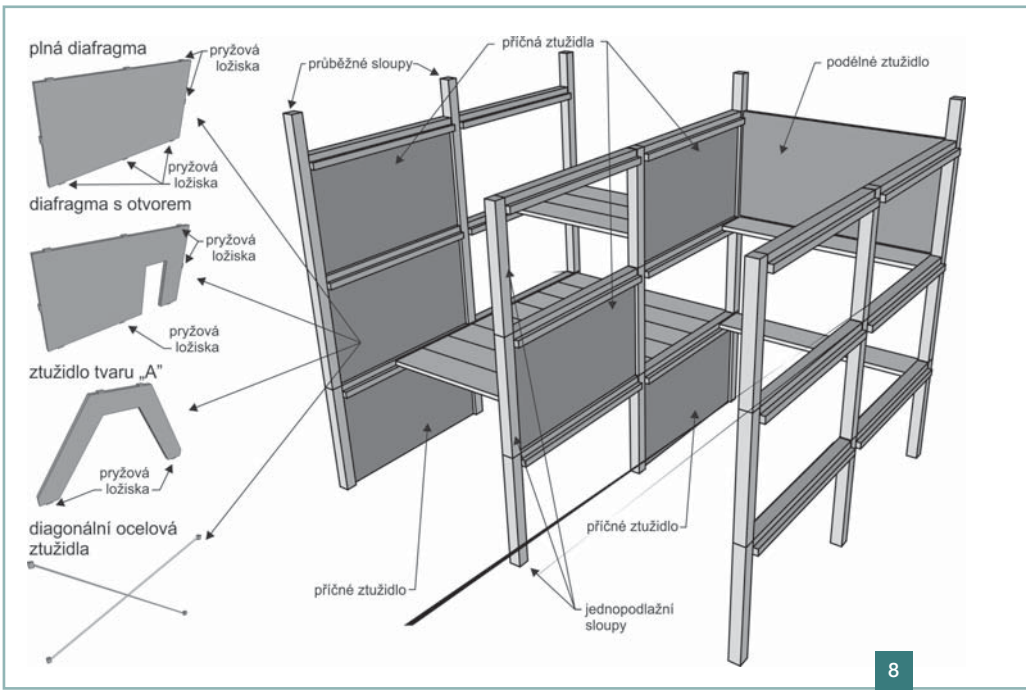
Řešení problematiky seismického zatížení a odezvy stavebních objektů na účinky přírodní, technické a indukované seismicity je v současnosti celosvětově věnována mimořádná pozornost a to nejenom u stavebních objektů nacházejících se v oblastech zvýšené přírodní seismické aktivity, ale zejména v důsledku narůstající intenzity dopravy a objemu stavební činnosti jak povrchové, tak podpovrchové, i u objektů dotčených účinky technické a indukované seismicity. Vysoká citlivost železobetonových prefabrikovaných zejména stěnových, popř. sloupových systémů vícepodlažních budov s „tuhými“ styky (s malou duktilitou – oblastí pružně plastických deformací) vzhledem k účinkům vynucených deformací, přetvoření a otřesů zvyšuje míru rizika selhání statické funkce nosného systému vystaveného dlouhodobě intenzivním vibracím a otřesům, popř. seismickým účinkům.

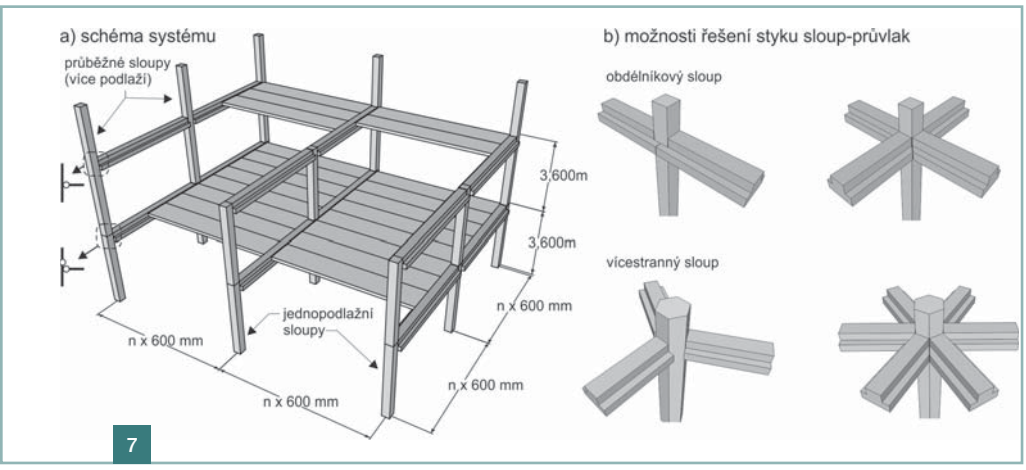
Charakteristickým znakem nosných systémů se styky s řízenými vlastnostmi je jejich schopnost absorbovat jis-

Obr. 6 Ocelové kotevní, osazovací a spojovací prvky [a, c) varianta 1; b, d) varianta 2], prefabrikované železobetonové dílce se zabudovanými kotevními a úložnými ocelovými deskami [e) úložná deska zabudovaná v průvlaku, f) kotevní a spojovací ocelové prvky zabudované ve sloupu] ▮ Fig. 6 Anchoring, fitting and connecting steel elements [a, c) variant 1; b, d) variant 2], precast reinforced concrete units with built-in anchoring and mounting steel plates [e) built-in mounting plate in a girder, f) built-in anchoring and connecting steel elements in a column]

Obr. 7 Schéma nosného systému a možnosti řešení styku „sloup – průvlak“ ▮ Fig. 7 Scheme of a load-bearing system and possible solutions of the “column-girder” joint

Obr. 8 Schéma konstrukčního řešení a uspořádání ztužujících konstrukcí v „rámové konstrukci“ demontovatelného prefabrikovaného sloupového systému ▮ Fig. 8 Scheme of a structural solution and composition of stiffening structures in the “frame structure” of a demountable precast column system





té množství přetvárné energie vyvolané účinkem mimořádného zatížení, přírodní seismicitou, popř. dlouhodobě působícím cyklickým, proměnným účinkům zatížení.

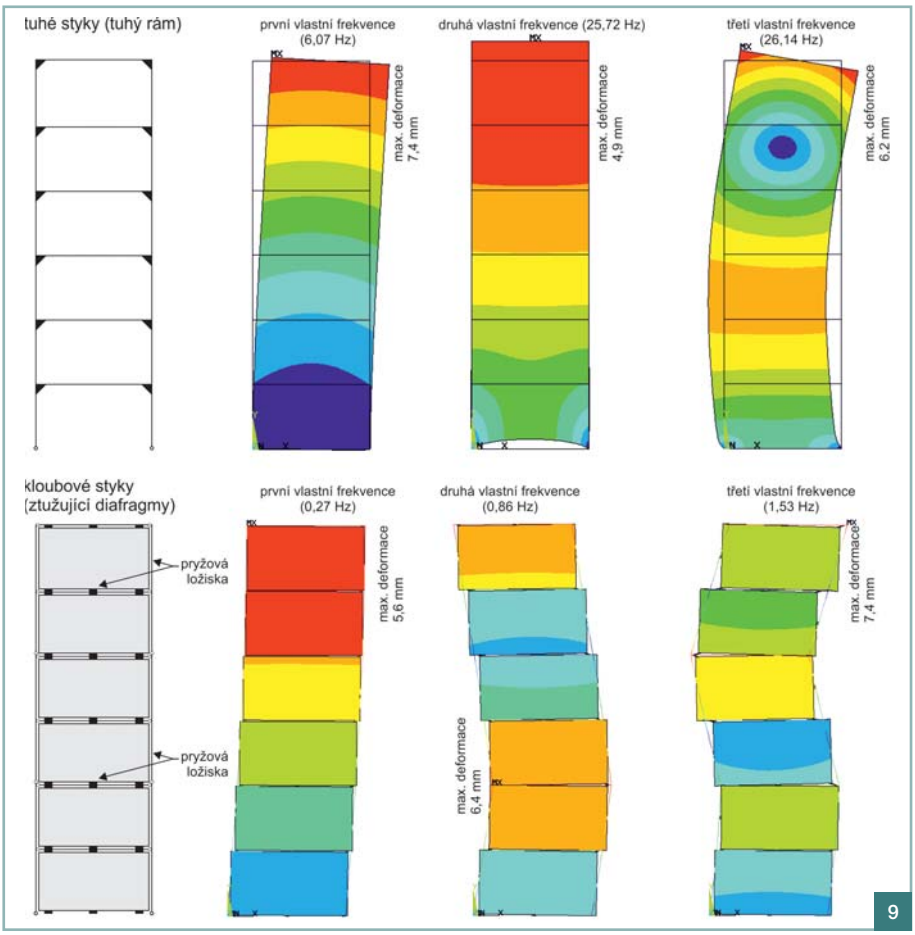
Požadované snížení tuhosti, zvýšené poddajnosti styků prefabrikovaných dílců je dosaženo vložením pružných částí do oblasti jejich vzájemného kontaktu a odstraněním betonových zálivek jako nedílné součásti řešení styků nosných dílců. Tuhost (poddajnost) tohoto pružného článku je třeba stanovit s ohledem na statické požadavky vyplývající ze zatížení a účinků přenášených stykovanými dílci a s ohledem na požadavek tlumení vibrací a dynamických účinků určitých charakteristik. Např. technická seismicita od účinků dopravy se od přírodní liší především vyššími frekvencemi, které se šíří do okolí a častým opakováním, při němž může dojít k překročení meze únavy materiálu. Frekvence dopravních otřesů se pohybují v rozmezí 10 až 200 cyklů/s, nejčastěji 30 až 150 cyklů/s, amplitudy otřesů jsou malé a dosahují nejvíce několik desítek mikrometrů. Přírodní seismicita má přibližně 100krát nižší frekvence kmitání, přičemž amplitudy otřesů jsou naopak o několik řádů vyšší. Zrychlení dopravních otřesů odpovídá hodnotám katastrofálních zemětřesení 10. až 12. stupně Richterovy stupnice. Vibrace od silniční dopravy, které se šíří okolním prostředím do blízké zástavby, jsou zpravidla na dominantních frekvencích v rozsahu přibližně 5 až 25 Hz. Vibrace od povrchové kolejové dopravy (tramvaje, vlaky na železnici) mají dominantní vibrace přibližně od 5 do 50 Hz.

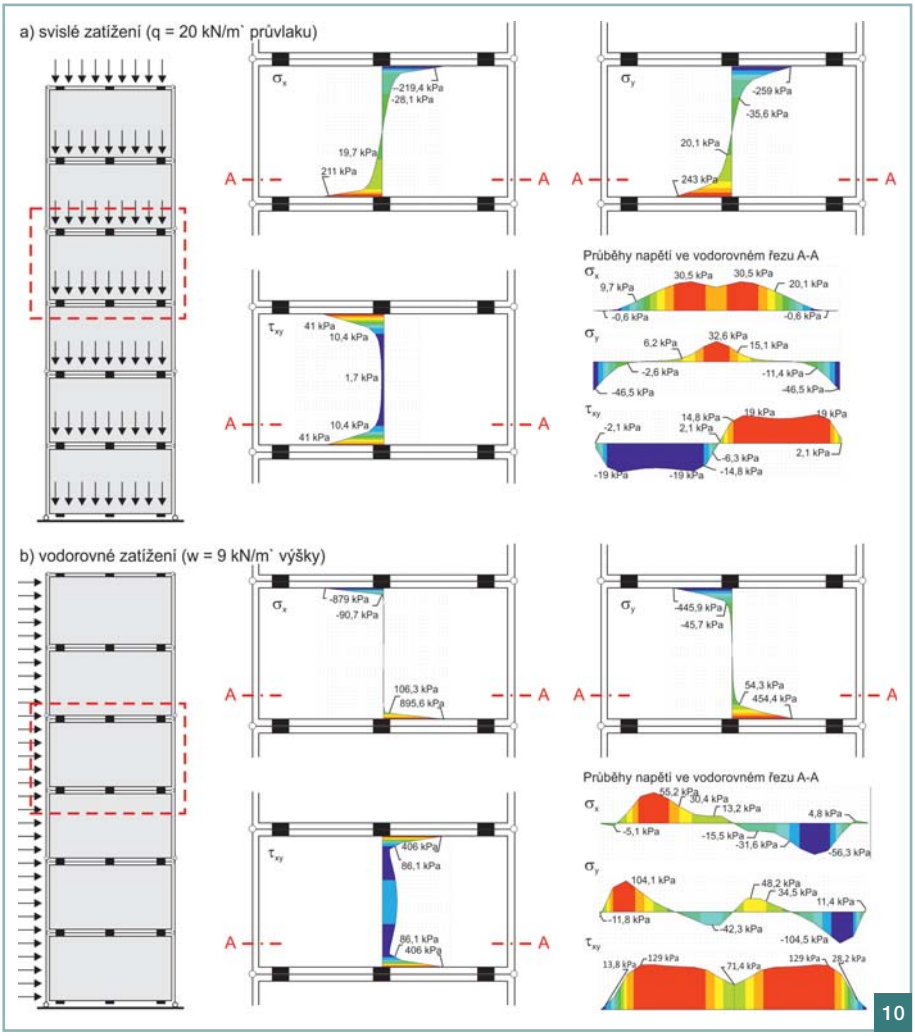
Řešení styku „sloup – průvlak“ umožňuje jednosměrné, obousměrné, popř. vícesměnné uspořádání průvlaků uložených na sloup výšky jednoho, popř. dvou až tří podlaží (obr. 7).

Prostorovou stabilitu kloubového prefabrikovaného sloupového systému zajišťují prefabrikované železobetonové diafragmy nebo ocelové ztužující konstrukce (např. tvaru písmene A), popř. speciální ztužující konstrukce (ocelová lana, popř. trubky spřahující diagonálně kloubové styčníky sloupů a průvlaků) vložené do některých „rámových“ polí, popř. při jednosměrném uspořádání „rámů“ mezi sloupy ve směru kolmo na rámová pole (obr. 8).

Při ztužení kloubových rámů pomocí vložených železobetonových tenkostěnných diafragmat jsou sloupy a průvlaky s diafragmami vzájemně diskrétně spojeny prostřednictvím kontaktních pryžových ložisek, jejichž rozmístění a tuhost závisí na velikosti a intenzitě statických, popř. dynamických zatížení. Především smyková tuhost, popř. počet a rozmístění pryžových ložisek jsou rozhodujícím faktorem ovlivňujícím dynamické vlastnosti kloubového sloupového systému (obr. 9). Na obr. 10 jsou znázorněny pro zvolený případ tuhosti pryžových ložisek (E = 3 MPa) průběhy normálových a smykových napětí ve ztužující diafragmě.

Na obr. 11 je graficky znázorněna závislost velikosti vlastních frekvencí jednoduchého kloubového rámu s vloženými diafragmami na tuhosti kontaktních pryžových ložisek a závislost průhybu na horním volném konci kloubového rámu od účinku vodorovného zatížení. Uvedená znázornění dokumentují významnou vlastnost navrženého prefabrikovaného systému. V návaznosti a s ohledem na celkové řešení nosného systému je nutné řešit subsystémy kompletačních konstrukcí a dílců a subsystémy technického vybavení a zařízení.





Obr. 9 Porovnání vlastních frekvencí tuhého rámu a kloubového rámu se ztužujícími diafragmami s kontaktními pryžovými ložisky (E = 3 MPa) ▮ Fig. 9 Comparison of natural frequencies of a rigid frame and an articulated frame with stiffening diaphragms with contact rubber bearings (E = 3 MPa)

Obr. 10 Průběhy normálových napětí σ_x, σ_y a smykových napětí τ_{xy} ve ztužující diafragmě připojené k průvlaku prostřednictvím kontaktních pryžových ložisek (E = 3 MPa) ▮ Fig. 10 Patterns of normal stresses σ_x, σ_y and shear stresses τ_{xy} in the stiffening diaphragm connected to a girder via contact rubber bearings (E = 3 MPa)

Obr. 11 Závislost a) vlastních frekvencí a b) průhybu kloubového rámu na horním volném konci na tuhosti kontaktních pryžových ložisek (E = 3; 9 a 18 MPa) ▮ Fig. 11 Relation of a) natural frequencies and b) the deflection of an articulated frame on the upper free end to the rigidity of contact rubber bearings (E = 3; 9 and 18 MPa)

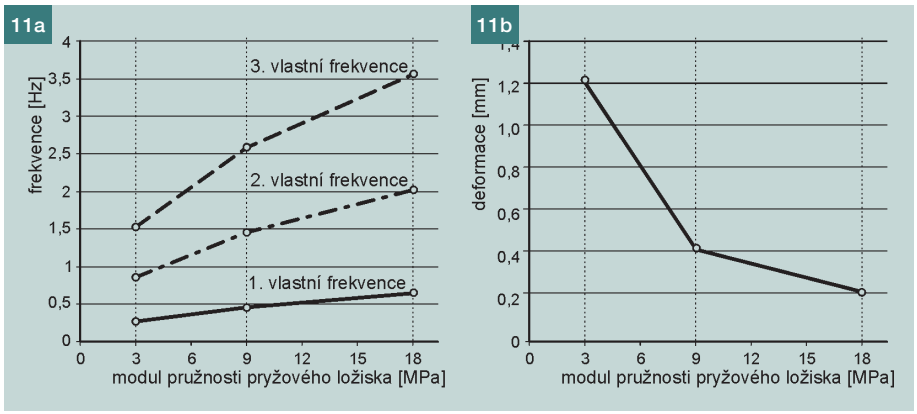
Obr. 12 Uspořádání statické zkoušky demontovatelných styků „sloup – průvlak“ a „sloup – sloup“ ▮ Fig. 12 Layout of a static test of “column-girder” and “column-column” demountable joints

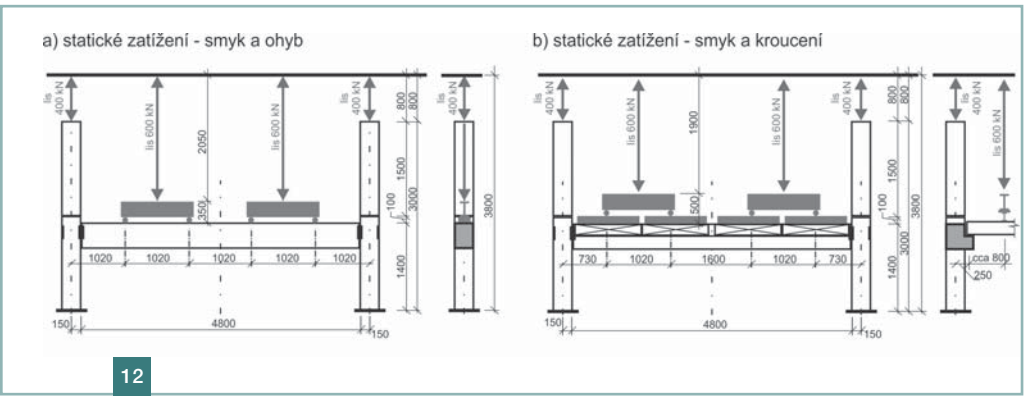
Obr. 13 Uspořádání dynamické zkoušky kloubového rámového pole ztuženého vloženou diafragmou s kontaktními pryžovými ložisky ▮ Fig. 13 Layout of a dynamic test of an articulated frame section stiffened by an inserted diaphragm with contact rubber bearings

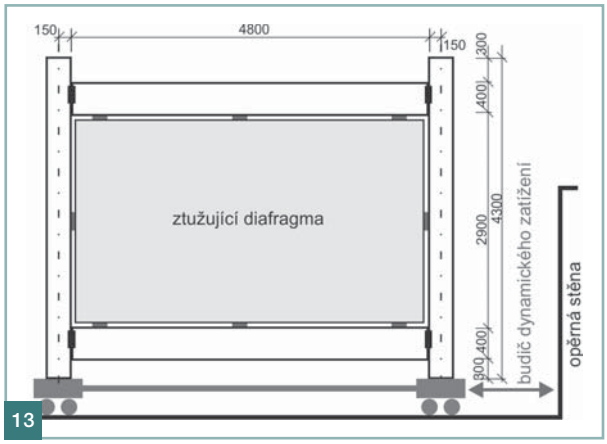
Obr. 14 Uspořádání zkoušky požární odolnosti demontovatelných styků „sloup – sloup“ a „sloup – průvlak“ ▮ Fig. 14 Layout of a fire resistance test of “column-column” and “column-girder” demountable joints

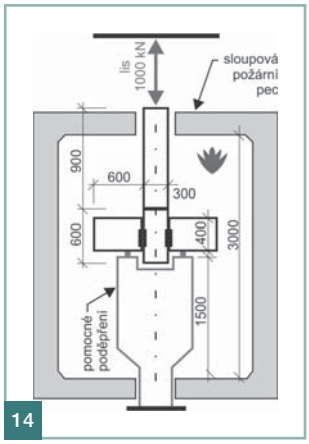
EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ STATICKÝCH A DYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ

Navržené řešení prefabrikovaného sloupového systému bude podrobeno experimentálním statickým a dynamickým zkouškám. Předmětem statických zkoušek prováděných ve spolupráci s TAZÚS Praha bude výzkum mechanických vlastností (zatížitelnost, deformační vlastnost) demontovatelného styku „sloup – průvlak“ a styku „sloup – sloup“ ve dvou navržených variantách. Zatěžovací statická zkouška s monotónně vzrůstajícím zatížením působícím v ose průvlaku (střední pole), popř. výstředným zatížením průvlaku (krajní pole) se uskuteční na výseku nosné sloupové konstrukce tvaru písmene H (obr. 12). Výztuž a dimenze prefabrikovaných dílců a ocelových kotevních a spojovacích prvků byly navrženy pro případ osmipodlažního objektu a pole 6 m (průvlak) x 9 m (dutinový stropní dílec).









Předmětem dynamických zkoušek prováděných ve spolupráci s ÚTAM AV ČR bude ověření dynamických vlastností výseku kloubové „rámové“ konstrukce tvořené dvěma sloupy, dvěma průvlaky a vloženou železobetonovou diafragmou tloušťky 80 mm spojenou se sloupy a průvlaky prostřednictvím kontaktních pryžových ložisek (obr. 13).

Na výseku konstrukce tvořené úseky sloupů a krátkými úseky průvlaků se uskuteční ve spolupráci s PAVUS zkouška požární odolnosti demontovatelných styků „sloup – sloup“ a „sloup – průvlak“. Požární ochrana styků je navržena z vlepených zpěňujících pásků (obr. 14).

Konstrukčně statické a dynamické řešení prefabrikovaného sloupového systému s demontovatelnými styky a jeho experimentální ověření je navrženo v rámci výzkumného grantu TA ČR TA02010837 „Víceúčelový demontovatelný železobetonový prefabrikovaný stavební systém s řízenými vlastnostmi styků a možností opakovaného využití“. Na vývoji a experimentálním ověření tohoto systému se zejména podílejí Ing. R. Zigler, Ph.D., Prof. J. Procházka, Dr.Sc., Prof. J. Macháček, Dr.Sc, Doc. J. Brožovský, Ph.D., Doc. T. Čejka, Ph.D., Ing. J. Sůra, Ing. M. Jandera, Ph.D., Ing. M. Pokorný, Ph.D., Doc. D. Makovička, Ph.D. Pozn.: Řešení demontovatelných styků je předmětem přihlášky vynálezu.

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

BETOSAN®
DRŽITEL CERTIFIKÁTU ČSN EN ISO 9001 A 14001
alternativa, kterou oceníte
Speciální maltoviny
ZÁLIVKOVÉ KOMPOZICE PRO PODLÉVÁNÍ A KOTVENÍ
INJEKTÁŽNÍ TĚSNÍCÍ MALTOVÉ SMĚSI
ROZPÍNAVÉ MALTOVINY
RYCHLETUHNOUCÍ MALTOVINY
VYSOKOPEVNOSTNÍ MALTOVINY
KOROZIODOLNÉ MALTOVINY
www.betosan.cz
OBCHODNĚ-TECHNICKÁ KANCELÁŘ
Na Dolinách 23 tel./fax: 241 431 212
147 00 Praha 4 e-mail: praha@betosan.cz
Firemní prezentace