

Únosnost spřažených desek v montážním stadiu zmonolitnění

Ing. Jiří ŠMEJKAL, CSc.

ŠPS – statická kancelář, Plzeň

doc. Ing. Daniel MAKVIČKA, DrSc.

ČVUT – Kloknerův ústav, Praha

Ing. Jiří POSPÍŠIL

B&BC, Zbůch

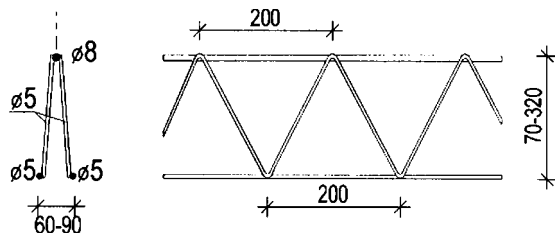
Spražené železobetonové stropní desky jsou při montáži a při manipulaci s prefabrikovanými částmi vynášeny především příhradovou výztuží. Přitom její únosnost v ohybu a ve smyku čeští výrobci nedefinují. Při zmonolitňování stropní desky je nutné prefabrikáty podepřít liniovými podpěrami. Experimentem bylo ověřeno, že při stanovení vzdálenosti liniových montážních podpor lze vycházet ze stavebně technických osvědčení odpovídajících výrobků ze SRN.

Úvod

Spražené železobetonové desky vzniknou spojením prefabrikované tenké desky se zabudovanou prostorovou a dolní výztuží s monolitickou částí na stavbě. Využívají se s výhodou pro stropní konstrukce. Po dopravě z výroby se prefabrikované desky osadí do určené polohy, podepřou, doplní se horní a spárová výztuž a stropní konstrukce se zmonolitní. Příhradová výztuž, zabetonovaná v prefabrikovaných deskách, plní funkci spřahující výztuže mezi prefabrikátem a dobetonovanou horní částí desky a při manipulaci a během montáže jako základní nosný prvek prefabrikovaného dílce. Pro návrh spřažených stropních desek platí ČSN EN 1992-1-1 [1] a ČSN EN 13747 [2].

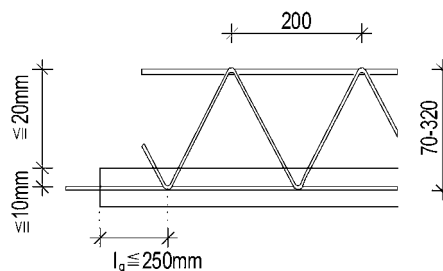
Příhradová výztuž

Prostorová příhradová výztuž pro spřažené stropní desky (obr. 1) je obvykle tvořena betonářskou výztuží B500A (BSt500G), a to v horním pásu jedním prutem $d_s = 8$ mm, v dolním pásu dvěma pruty $d_s = 5$ mm a diagonálami $d_s = 5$ mm [5], [7]. Výztuž uvažovaná v následujícím textu musí odpovídat stavebně technickému osvědčení Z-15.1-147 [4] nebo Z-15.1-1 [5]. Při použití jiného typu je nutné postupy upravit. V prefabrikovaných částech se předpokládá beton C25/30 a vyšší, betonářská výztuž B500A, případně B500B. Pro účinné spřažení se předpokládá zdrsňená pracovní spára [2], [3], minimální nerovnosti 3 mm po vzdálenostech 40 mm. Maximální vzdálenost mezi příhradovou



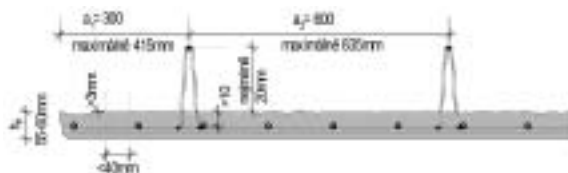
Obr. 1. Typická příhradová výztuž pro spřažené stropní desky

výztuží je 835 mm, maximální vzdálenost příhradové výztuže od kraje je 415 mm. Minimální výška příhradové výztuže nad prefabrikovaným dílcem je 20 mm (obr. 2).



Obr. 2. Minimální zapuštění spodního pásu příhradové výztuže do stropního dílce a maximální vzdálenost dolního styčnicku od okraje dílce

V praxi se používají prefabrikované desky šířky 240 mm se čtyřmi nebo se třemi kusy příhradové výztuže. Tomu odpovídá vzdálenost příhradové výztuže 600 nebo 800 mm (obr. 3). Prefabrikovaná deska má obvykle tloušťku 55-60 mm.



Obr. 3. Vzdálenost mezi příhradovou výztuží stropního dílce

Pokyny pro manipulaci, skladování a dopravu

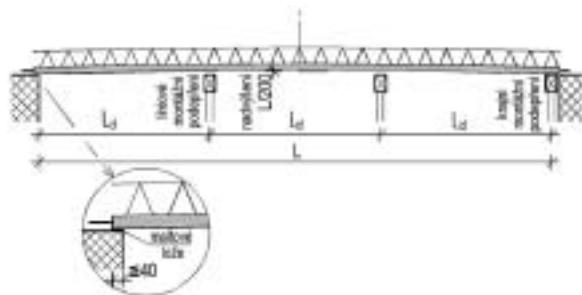
Při skladování je nutné desky ukládat na rovný dostatečně únosný povrch. Při skládání na sebe se musí prokládat dřevěnými hranoly, a to vždy nad sebou. Do délky desky 600 mm postačují obvykle dva proklady ve vzdálenosti $L/5$ od okrajů (L – délka prefabrikátu). V rámci technické dokumentace [2], [3] je nutné pro stropní desku vytvořit výkres skladby se systémem montážního podepření a pokyny pro manipulaci, skladování a montáž.

Specifikace pro montáž

Před kladením desek je nutné zajistit montážní podepření – systém liniových podpěr (obr. 4). Liniové podpory se musí obvykle nadvýšit o $1/250$ rozpětí. Systém montážních liniových podpěr musí být definován [3] v technické dokumentaci stropní desky. Dále je nutné prověřit dostatečnou únosnost montážních prostředků vzhledem k hmotnosti desek a maximálnímu vyložení jeřábu.

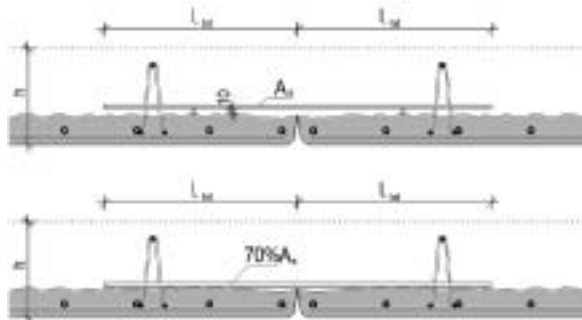
Prefabrikované desky se kladou na vodorovný, pevný a řádně očištěný okraj nosných stěn nebo průvlaků. Minimální hloubka je 40 mm při uložení na zdivu a 20 mm při uložení na ocelové nebo železobetonové konstrukci. Při jejím nedodržení se musí umístit montážní podepření v bezpro-

střední blízkosti uložení (obr. 4). Při uložení větším než 40 mm se desky ukládají do maltového lože. Znečištěná pracovní spára může únosnost konstrukce v konečném stavu znehodnotit, proto je nutné ji udržovat, především během vázání horní výztuže, čistout.



Obr. 4. Vzdálenost montážních liniiových podpor

Na povrch stropních desek se klade spárová výztuž (obr. 5). Pokud se navrhuje s plným využitím průřezu, musí být její betonové krytí vůči prefabrikátu alespoň 10 mm. Pokud se pokládá přímo na zdrsňený horní líc prefabrikátu, je nutné redukovat její účinnou průřezovou plochu na 70 % z důvodu nedodržení minimální tloušťky obetonování (vzhledem k soudržnosti výztuže s betonem).

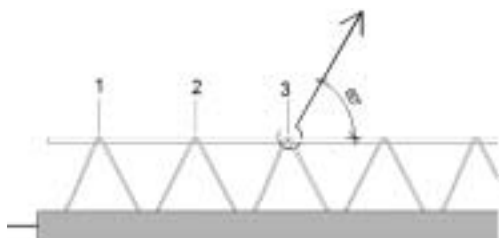


Obr. 5. Spárová výztuž mezi stropními dílci

Na příhradovou výztuž se obvykle kladou výztužné sítě s příložkami nebo vázaná horní výztuž. Z toho vyplývá optimální výška příhradové výztuže, jež musí přesahovat prefabrikát minimálně 20 mm (obr. 2 a obr. 3). Doba montážního podepření závisí nejen na způsobu realizace stavebního objektu, ale i na klimatických podmínkách v průběhu realizace.

Specifikace pro manipulaci a montáž

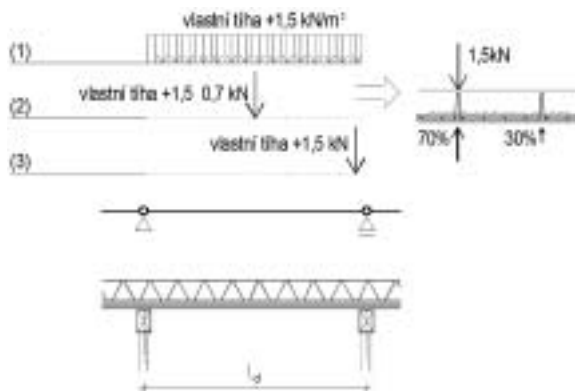
Prefabrikované části lze zvedat za příhradovou výztuž v místě přikotvení diagonál k hornímu pásu příhradové výztuže. Zvedací háky se uchytávají v pětině délky prefabrikátu od jeho konců, minimálně však za třetí styčnick od kraje desky (obr. 6).



Obr. 6. Schéma uchytení montážního háku pro manipulaci s dílcem

Únosnost v montážním stavu

Únosnost desek v ohybu v montážním stavu je zajištěna především příhradovou výztuží. Pro zjednodušení návrhu montážního podepření se uvažuje statické schéma prostého nosníku (obr. 7). Pro montážní stav se uvažuje zatížení vlast-



Obr. 7. Statické schéma pro řešení montážního stavu dílce

ní tíhou železobetonové spřažené stropní desky a proměnným plošným zatížením 1,50 kN/m² [4], [5] nebo 1 kN/m² [2]. Alternativně k proměnnému plošnému zatížení je nutné uvažovat zatížení osamělým břemenem v hodnotě 1,50 kN v nejnejpříznivější poloze. Přitom lze uvažovat částečné roz-nášení zatížení do sousední příhradové výztuže v rámci jednoho prefabrikovaného dílce. Uvedené hodnoty jsou návrhové, součinitel v montážních stavech je uvažován hodnotou $\gamma_F = 1$. V souladu se stavebně technickým osvědčením [4], [5] je únosnost příhradové výztuže definována v tab. 1. Podle normy [2] lze pro návrh montážního stavu použít statické schéma spojitého nosníku s menším proměnným zatížením a jinými hodnotami součinitelů zatížení. Pro návrh montážního stavu se zatížením a statickým schématem podle [2] čeští výrobci únosnost příhradové výztuže nedefinují. Pokud vyjdeme z únosnosti podle [4] a [5], je nutné dodržet celou metodiku návrhu.

Tab. 1. Únosnost příhradové výztuže [4], [5]

Příhradová výztuž (obr. 1)		Únosnost	
typ	výška [mm]	M_{Rs} [kNm]	V_{Rs} [kN]
D7/5	70	1,35	4,56
D8/5	80	1,37	4,56
D9/5	90	1,38	4,56
D10/5	100	1,40	4,56
D11/5	110	1,42	4,56
D12/5	120	1,43	4,56
D13/5	130	1,45	4,56
D14/5	140	1,48	4,56
D15/5	150	1,51	4,56
D16/5	160	1,53	4,56
D17/5	170	1,56	4,56
D18/5	180	1,59	4,56
D19/5	190	1,62	4,56
D20/5	200	1,64	4,20
D21/5	210	1,67	3,85

Návrh montážního stavu vychází z únosnosti M_{Rs} a V_{Rs} příhradové výztuže definované ve [4] a [5]. Únosnost byla následně ověřena výpočtem a experimentem v souladu s [2] (obr. 12). Hodnoty M_{Rs} a V_{Rs} pro nejčastěji používanou příhradovou výztuž jsou uvedeny v tab. 1. Při návrhu se uvažuje pouze únosnost do mezního stavu vybočení horního tláčeného pásu (obr. 13). Dolní pás je posílen železobetonovou prefabrikovanou částí s podélnou výztuží, při návrhu montážního podepření není rozhodující, jak je dále doloženo výsledky experimentálního měření. Horní pás je stabilizován přivařenými prostorovými diagonálami. Vybočení diagonál (obr. 14) při pečlivém svarovém spojení nastává později než vybočení horního pásu příhradové výztuže.

Maximální vzdálenost liniových montážních podpor při rovnoměrném plošném zatížení vlastní tíhou a proměnným zatížením v hodnotě 1,50 kN/m² podle [4] a [5]

$$l_d \leq \sqrt{\frac{8 \cdot M_{Rs}}{(h \cdot 25 + 1,5) \cdot a}}, \quad (1)$$

kde h je tloušťka spřažené stropní desky, a je vzdálenost příhradové výztuže v prefabrikované části desky.

Maximální vzdálenost liniových montážních podpor l_d při rovnoměrném plošném zatížení vlastní tíhou a proměnným osamělým zatížením γ_f 1,50 kN je dána vztahem

$$l_d \leq \sqrt{\frac{(1,5 \cdot \gamma_f)^2 + 25 \cdot 8 \cdot h \cdot M_{Rs} \cdot a}{25 \cdot h \cdot a}} - \frac{(1,5 \cdot \gamma_f)}{25 \cdot h \cdot a}. \quad (2)$$

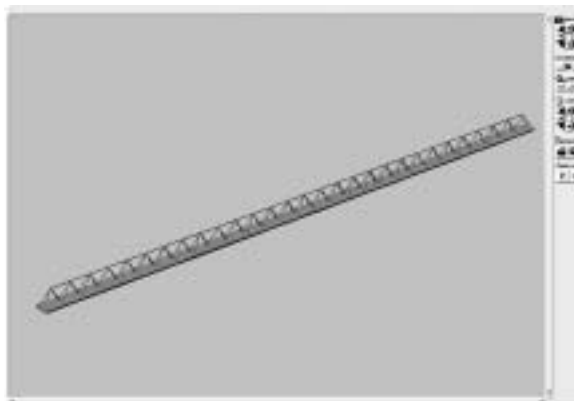
Přitom γ_f je součinitel roznášení proměnného osamělého zatížení do sousední příhradové výztuže. Roznášení zatížení je možné pouze v rámci jednoho dílce a na vzdálenost maximálně rovnou vzdálenosti mezi působištem osamělého břemene a podepřením prefabrikátu (obr. 7). V tabulkách 2 a 3 bylo uvažováno roznášení do sousední příhradové výztuže 30 % ($\gamma_f = 0,7$) při osamělém břemenu působícím uprostřed vzdálenosti mezi montážními podpěrami. Při působení osamělého břemene u podpory nebylo roznášení ($\gamma_f = 1$) uvažováno.

Maximální vzdálenost liniových montážních podpor l_d při rovnoměrném plošném zatížení vlastní tíhou a proměnným osamělým břemenu působícím u podpory je dána vztahem

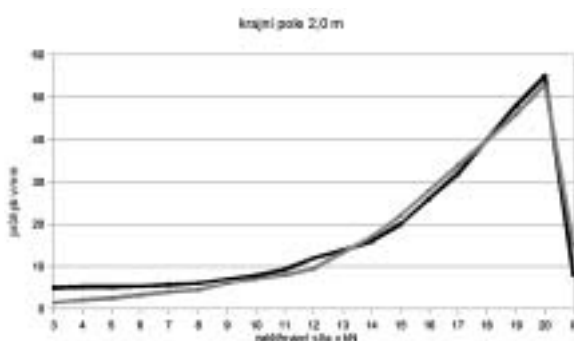
$$l_d \leq \frac{2 \cdot V_{Rs}}{25 \cdot h \cdot a} - \frac{2 \cdot (1,5 \cdot \gamma_f)}{25 \cdot h \cdot a}. \quad (3)$$

Při návrhu vzdálenosti montážního podepření l_d rozhoduje nejmenší z hodnot získaných ze vztahů (1), (2) a (3). Výsledky výpočtů, uvedené v tab. 2, odpovídají hodnotám používaným v Německu [4], [5].

Při zatěžování prefabrikované části spřažené stropní desky dochází nejdříve k vybočení horního pásu příhradové výztuže (obr. 13). Při obvyklém vyztužení prefabrikátu nenastává zhroutilí konstrukce po vybočení horního pásu příhradové výztuže. Při dalším nárůstu zatížení se prvek stává poddajnější – viz výsledky měření na obr. 9 až obr. 11. Dalším kritériem pro maximální vzdálenost liniových montážních podpěr je maximální průhyb prefabrikátu při zmonolitňování. Hodnoty únosnosti v tab. 3 a maximální vzdále-



Obr. 8. Výpočet (model) konstrukce



Obr. 9. Zatěžovací křivka krajního pole s teoretickým rozpětím 200 mm

nosti montážních liniových podpor v tab. 2 odpovídají maximálním průhybům v montážním stavu do 10 mm [2]. Kratší vzdálenost montážních liniových podpor než 1 000 mm není vhodná. Pro větší zatížení je nutné volit příhradovou výztuž s větším průřezem horního pásu a diagonál.

Únosnost prefabrikovaných částí stropních desek

Při respektování únosnosti příhradové výztuže podle [4] a [5] je únosnost prefabrikovaných částí spřažených stropních desek uvedena v tab. 3. Tyto hodnoty jsou nezbytné v procesu výrokové certifikace podle [2]. Při tvorbě montážního podepření je snazší vycházet z maximální vzdálenosti liniových podpor (tab. 2) než z odpovídající únosnosti.

Ověření únosnosti prefabrikované části

Předpoklady experimentu

Pro ověření únosnosti prefabrikovaných částí spřažené železobetonové stropní desky byly provedeny zkoušky. Z prefabrikovaných desek byly vyříznuty pruhy s jednou příhradovou výztuží o šířce 500 mm. Dolní podélná výztuž zkušebních vzorků byla 4×R14 a 6×R14. Příhradová výztuž D15/5 byla vysoká 150 mm, horní pás byl Ø 8 mm, dolní pás a diagonály dvakrát Ø 5 mm. Celková předpokládaná tloušťka stropní desky byla 220 mm, betonové krytí dolní výztuže a příhradové výztuže 20 mm. Vzorky byly podepřeny ve vzdálenosti 1 600 mm, 2 200 mm a 2 000 mm jako spojitý nosník. Zatěžovány byly hydraulickým válcem v rozsahu

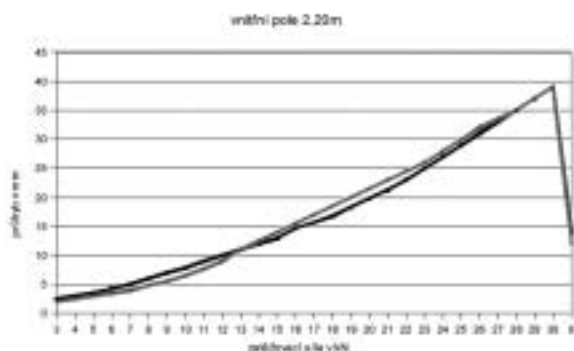
Tab. 2. Vzdrálenosti montážního podepření sprážených stropních desek

Přihradová výztuž (obr. 1)		Únosnost		Tloušťka desky h	Maximální vzdálenost			
					l_{d1} vztah (1)	l_{d2} vztah (2)	l_{d3} vztah (3)	$l_{d \max}$ výsledná
typ	výška [mm]	M_R [kNm]	V_{Rs} [kN]	[m]				
D7/5	70	1,35	4,55	0,14	1,90	1,99	2,98	1,90
D9/5	90	1,38	4,55	0,16	1,83	1,90	2,60	1,83
D10/5	100	1,40	4,55	0,17	1,80	1,86	2,45	1,80
D11/5	110	1,42	4,55	0,18	1,77	1,83	2,31	1,77
D12/5	120	1,43	4,55	0,19	1,75	1,80	2,19	1,75
D13/5	130	1,45	4,55	0,20	1,72	1,77	2,08	1,72
D14/5	140	1,48	4,55	0,21	1,71	1,75	1,98	1,71
D15/5	150	1,51	4,55	0,22	1,69	1,73	1,89	1,69
D16/5	160	1,53	4,55	0,23	1,68	1,71	1,81	1,68
D17/5	170	1,56	4,55	0,24	1,67	1,70	1,74	1,67
D18/5	180	1,59	4,55	0,25	1,65	1,68	1,67	1,65
D19/5	190	1,62	4,55	0,26	1,64	1,67	1,60	1,60
D20/5	200	1,64	4,55	0,27	1,63	1,65	1,54	1,54
D21/5	210	1,67	4,20	0,28	1,62	1,64	1,38	1,32
D22/5	220	1,70	3,85	0,29	1,61	1,63	1,11	1,11

Tab. 3. Montážní únosnost prefabrikované části sprážených stropních desek

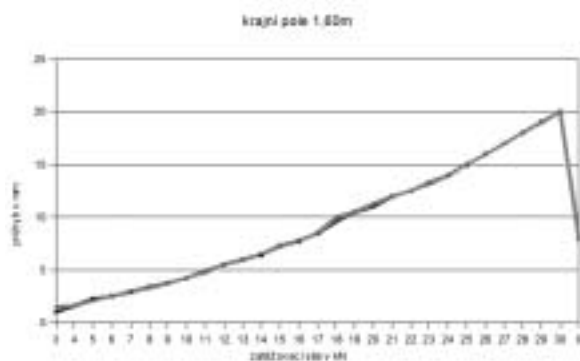
Tloušťka desky [mm]	Přihradová výztuž (obr. 1)		a [m]	Únosnost			
				přihradové výztuže		prefabrikované části	
	typ	výška [mm]		v ohybu [kNm]	ve smyku [kN]	v ohybu [kNm]	ve smyku [kN]
140	D7/5	70	0,6	1,35	4,55	2,25	7,58
150	D8/5	80	0,6	1,37	4,55	2,28	7,58
160	D9/5	90	0,6	1,38	4,55	2,31	7,58
170	D10/5	100	0,6	1,40	4,55	2,33	7,58
180	D11/5	110	0,6	1,42	4,55	2,36	7,58
190	D12/5	120	0,6	1,43	4,55	2,39	7,58
200	D13/5	130	0,6	1,45	4,55	2,42	7,58
210	D14/5	140	0,6	1,48	4,55	2,46	7,58
220	D15/5	150	0,6	1,51	4,55	2,51	7,58
230	D16/5	160	0,6	1,53	4,55	2,56	7,58
240	D17/5	170	0,6	1,56	4,55	2,60	7,58
250	D18/5	180	0,6	1,59	4,55	2,65	7,58
260	D19/5	190	0,6	1,62	4,55	2,69	7,58
270	D20/5	200	0,6	1,64	4,20	2,74	7,00
280	D21/5	210	0,6	1,67	3,85	2,79	6,42
290	D22/5	220	0,6	1,70	3,52	2,83	5,87

0-50 kN vždy ve středu pole s roznesením po délce 500 mm, svisle nad příhradovou výztuží. Mikrometrickými hodinkami (0-100 mm) byl měřen synchronizovaně průhyb. Před zahájením experimentu byl programem FRAP2-4H (firmy PCAE) proveden podrobný výpočet pro vzorek desky s příhradovou výztuží (obr. 8) se součinitelem zatížení $\gamma_F = 1$ a materiálovými součiniteli $\gamma_C = 1,50$ a $\gamma_S = 1,15$. Ve výpočtu se sledovalo především chování horního pásu a diagonál. Dolní pás je v montážním stavu vždy zabetonován a posílen dolní výztuží. Pro montážní stav není rozhodující dolní pás, což potvrdil výpočet i experiment.



Obr. 10. Zatěžovací křivka vnitřního pole s teoretickým rozpětím 220 mm

Při výpočtu montážního stavu podle uvedených tabulek únosnosti vznikala v horním pásu tlaková síla 10 kN, která odpovídá Eulerovu vzpěrnému břemenu horního pásu na vzdálenost 200 mm při kloubovém uložení obou konců. Při experimentu bylo zjištěno vybočení kolem 28 kN vzpěrného tlaku. To odpovídá Eulerovu vzpěrnému břemenu při pružném vetknutí obou konců. Vybočení diagonál nastalo později při osovém zatížení 4,1 kN. Diagonály lze modelovat obdobně jako tlacený prut s pružným vetknutím na obou koncích.



Obr. 11. Zatěžovací křivka krajního pole s teoretickým rozpětím 160 mm

Výsledky

Ve středu sledovaného pole probíhalo postupné zatěžování od 0 do 20 kN nebo 30 kN. Podle výsledků zatěžovacích křivek (obr. 7 až obr. 9) je zřejmé, že vliv dolního pásu není pro montážní únosnost rozhodující. Obě křivky jsou v podstatě shodné. Vyztužení by bylo rozhodující pro vyšší zatížení, než jaké je přípustné při montážním stavu zmonolitnění. Vybočení horního pásu nastalo u krajního pole 2 000 mm při zatížení 11 až 12 kN (obr. 7). Počátek vybočení lze



Obr. 12. Uspořádání experimentu (TZÚS Plzeň)



Obr. 13. Vybočení horního pásu příhradové výztuže v krajním poli 200 mm při zatížení 30 kN



Obr. 14. Počátek vybočení diagonál nad vnitřní podporou

velmi obtížně stanovit. Vybočení horního pásu u vnitřního pole 2 200 mm nastalo mezi 12-15 kN (obr. 8), u krajního pole 1 600 mm mezi 16-18 kN (obr. 9). Po vybočení horního pásu se mírně zmenšila poddajnost, křivka byla strmější. Vybočení nastalo při zatěžovacím ohybovém momentu 4,1 kNm, což odpovídá tlaku 27,33 kN v horním pásu. Vybočení diagonál bylo při výrazně větším zatížení, a to pouze nad vnitřními podporami. V průběhu experimentu nedošlo k viditelnému poškození bodových svarů mezi diagonálami a horním pásem příhradové výztuže.

Po odlehčení bylo možné pozorovat převážně pružné vrácení vzorku do původního tvaru (obr. 15). Zbytkové plasticke deformace byly menší než 10 mm po 30 minutách po odtížení. Částečně deformovaný zůstal horní pás příhradové výztuže. Redukce vybočení byla však významná. Vybočení diagonál zůstalo v plné hodnotě v oblasti nad vnitřními podporami. Při zatěžování nebyly patrné vlasové trhliny nad vnitřními podporami.



Obr. 15. Zkušební vzorek po odtížení
(na fotografiích jsou patrné zbytkové deformace horního pásu)

Závěr

Montážní podepření může podstatně ovlivnit odolnost spřažené železobetonové stropní konstrukce. V technické dokumentaci podle [2] a [3] musí být definován systém liniového montážního podepření. Hodnoty únosnosti příhradové

výztuže čeští výrobci nedeklarují. Výztuž se vyrábí podle stavebně technických osvědčení [4] a [5]. Experimentem podle [2] bylo ověřeno, že pro návrh montážního podepření lze použít únosnost podle tab. 2 a tab. 3. Únosnost prefabrikovaných částí spřažených stropních desek má rezervy ve zjednodušení statického schématu na prostý nosník (obr. 7) a v únosnosti vlastní prefabrikované části jako spojité desky po překonání únosnosti horního pásu příhradové výztuže ve středním poli. Při překročení únosnosti horního pásu však vznikají nepřijatelné deformace [2] a dochází k redukci únosnosti spřažené stropní konstrukce jako celku. Pro spřaženou stropní desku je nutné vyhotovit obdobný statický návrh jako pro monolitickou stropní desku [1]. Navíc je nutné posoudit smyk v pracovní spáře mezi prefabrikovanou částí a monolitickou částí a celou řadu dalších detailů vyplývajících z technologie spřažených stropních desek.

Literatura

- [1] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČSN, 1992.
- [2] ČSN EN 13747 Betonové prefabrikáty – stropní deskové dílce pro spřažené stropní systémy. ČNI, 2006.
- [3] ČSN EN 13369 Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty. ČNI, rok 2005.
- [4] Stavebně technické osvědčení Z-15.1-147 DIBt ze dne 12.11.2004 BRD.
- [5] Stavebně technické osvědčení Z-15.1-1 DIBt ze dne 18.10.2004 BRD.
- [6] ČSN EN 10080 Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná žebírková betonářská ocel. ČSN, 2005.
- [7] ČSN 420139 Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná žebírková betonářská ocel. ČNI, 2007.

Šmejkal, J. – Makovička, D. – Pospíšil, J.: Load-Bearing Capacity of Composite Slabs during the Assembly Dstage of Monolithing

Composite reinforced concrete floor slabs are primarily carried by trussed reinforcement during assembly of, as well as handling with prefabricated components. Its carrying capacity in bending and shear is not defined by Czech manufacturers. When making the floor slab monolithic, the prefabricated elements should be supported by line supports. It has been experimentally verified that for the determination of the distance of line assembly supports, engineers can ensue from building and technical certificates of corresponding German products.

Šmejkal, J. – Makovička, D. – Pospíšil, J.: Tragfähigkeit von Verbundplatten im Montagestadium der Monolithisierung

Verbunddeckenplatten aus Stahlbeton werden bei der Montage und Handhabung der vorgefertigten Teile vor allem durch eine Gitterträger getragen. Dabei definieren die tschechischen Hersteller deren Biege- und Schubfestigkeit nicht. Bei der Monolithisierung einer Deckenplatte ist es notwendig, die vorgefertigten Teile durch linienförmige Unterstützungen zu unterstützen. Im Versuch wurde überprüft, dass bei der Festlegung des Abstandes der linienförmigen Montageunterstützungen von den bautechnischen Bescheinigungen, die deutschen Produkten entsprechen, ausgegangen werden kann.



Nanotechnologie ve stavebnictví

– understanding and modification
of material nano-structure

31. května – 2. června 2009
ČVUT – Fakulta stavební, Praha

www.conference.cz/nicom3/