

VÝVOJ PŘEDPĚJATÝCH STROPŮ PRO BYTOVOU VÝSTAVBU V ČR

PRESTRESSED CEILING EVOLUTION FOR HOUSING IN ČR

HISTORIE

BOHUMÍR VOVES

Vývoj předpjatých stropů v ČR začal před více než padesáti lety. V uplynulém období bylo vyvinuto několik dále popsaných systémů stropů.

Prestressed ceiling evolution in ČR started more than fifty years ago. In past period some farther described ceiling systems were developed.

POČÁTKY VÝVOJE

Předpjatý beton byl poprvé u stropů naší bytové výstavby využit v roce 1950 na výzkumném pracovišti v Olomouci (M. Štěpánek), kde byly hromadně vyráběny komůrkové stropnice z předpjatého betonu **TPM 450** délky 4,50 m (obr. 1).

Stropnice z betonu značky B500 byla podélně předepnuta spletenými dráty 22 Ø P 2 × 1,4. Tříminky byly z páleného drátu Ø 1 mm. Navrženy byly stropnice pro běžné zatížení a pro zatížení příčnou i podélnou příčkou. Při průkazních zatěžovacích zkouškách stropnice vyhověly všem požadavkům [1]. Výhodný tvar průřezu umožňoval po zalití spar jemnozrnným betonem řádné spolupůsobení stropnic, jak bylo prokázáno zatěžovací zkouškou soustavy pěti stropnic při zatížení působícím na střední z nich.

Na dráze dlouhé 100 m bylo vyráběno čtyřicet stropnic betonovaných po dvou v poměrně složitých ocelových formách na dvaceti vibračních stolech. Bočnice formy byly odklopné. Jádro formy

vytvářející dutinu bylo opatřeno klouby, které při odformování umožňovaly oddálit stěny jádra od stropnice bez rozebírání. Jednotlivé dráty byly ukládány ručně. Předpínací síla byla vyvozována a předpětí bylo zaváděno hydraulickými válci. Tvrdnutí betonu nebylo urychlováno. Cena stropu ze stropnic byla o 15 % nižší než cena stropu ze železobetonových panelů. Protože pracná výroba tenkostěnných stropnic neplnila plánovací ukazatel výrobnosti v m³ betonu na m² výroby a protože stropní konstrukce hmotnosti 250 kg/m² nevyhovovala požadavkům na průzvučnost, přestaly se stropnice po čtyřech letech vyrábět.

Získané poznatky:

- při hromadné výrobě mají pracovní postupy při nízké pracnosti umožňovat uspokojivou obratovost výrobního zařízení
- pro nedostatek vhodných a levných izolací proti průniku zvuku není možné stropní konstrukce využitím předpjatého betonu vysoké značky vylehčovat pod úroveň hmotnosti 300 kg/m², která se dosahuje i železobetonem B250 při menší spotřebě cementu.

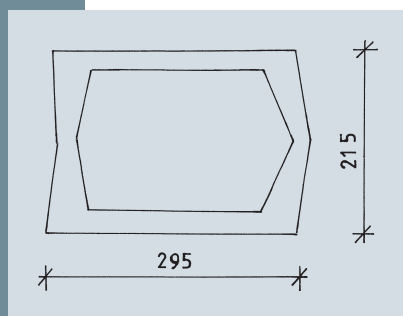
Pro zjištění významu úspory ocele byly vyvinuty [1] stropní nosníky z předem předpjatého betonu **TIO-450** doplňované keramickými vložkami MIAKO (obr. 2). Nosníky z betonu B500 byly předepnuty spletenými dráty 20 Ø P 2 × 2 a vyztuženy tříminky z páleného drátu Ø 2 mm. Nosníky odpovídaly typizovanému žele-

zobetonovému nosníku PZT 6-450 při úspoře 74 % ocele. Po cenovém porovnání obou nosníků, bylo od dalšího sledování nosníku TIO-450 upuštěno. Obdobně byl vyvinut dutinový stropní panel z předem předpjatého betonu B500 odpovídající typizovanému železobetonovému panelu PZD52 při úspoře 71,5 % oceli, ale při vyšší ceně. Bylo zřejmé, že se předpjatý beton i přes podstatnou úsporu oceli proti železovému betonu téže konstrukční úpravy neprosadí a že zmenšení spotřeby oceli nedozná uznání. Nevýhodný poměr cen předpjatého a železového betonu byl dán i tím, že tehdy byla betonářská výztuž dodávána v intervenční snížené ceně, ale nově zaváděná předpínací výztuž v ceně odpovídající výrobním nákladům. Cena hladkého patentovaného drátu byla až čtyřnásobkem ceny betonářské výztuže téže hmotnosti.

Pro zmenšení spotřeby předpjatého betonu byl vyvinut **kazetový** stropní panel z betonu B500 (obr. 3). Podélná žebra byla předem předepnuta dráty 15 Ø P 3 × 3, příčná žebra byla vyztužena betonářskou výztuží. Aby strop vyhovoval požadavkům průzvučnosti, byl panel doplněn plynosilikátovými vložka-

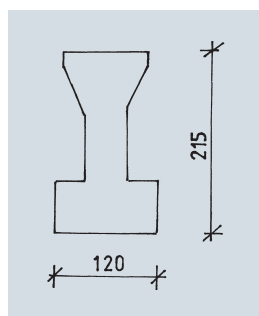
Obr. 1 Průřez stropnice TPM 450

Fig. 1 Cross-section of the ceiling element TPM 450



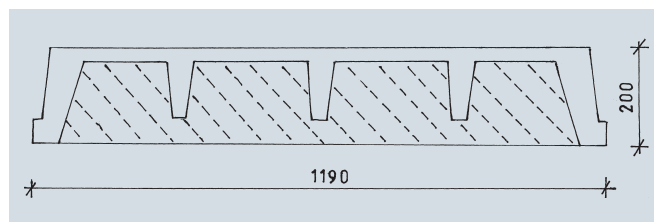
Obr. 2 Průřez nosníku TIO-450

Fig. 2 Cross-section of the beam TIO-450



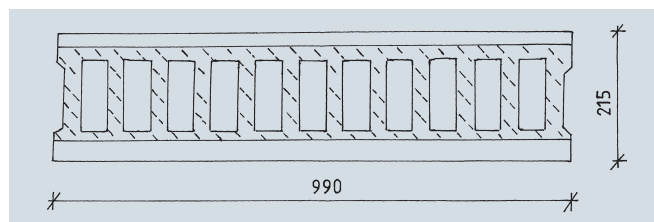
Obr. 3 Průřez kazetového panelu

Fig. 3 Cross-section of the ribbed panel



Obr. 4 Průřez panelu systému Schäfer

Fig. 4 Cross-section of the panel Schäfer



mi, které byly osazovány do formy před betonováním panelu. Při zatěžovacích zkouškách panel vyhověl všem požadavkům, ale opět nebyl schopen cenové soutěže s železobetonovým panelem.

V NDR se uplatnily stropní panely z předem předpjatého betonu systému Schäfer vyráběné v pásech plynulým způsobem **Stasa**. Panely byly v horní a spodní části z hutného betonu předepnutý dráty 38 Ø P 2 × 2,5 (obr. 4). Vnitřní část vylehčená štíhlými dutinami byla z lehkého betonu s kamenivem z cihelné drtě. Plynulý způsob betonování vibratažením neumožňoval panel vyztužit betonářskou výztuží. Panely byly vyráběny v pásech na dráze dlouhé 200 m umístěné na volném prostranství. Pásky byly betonovány za vibrace ze tří násypků betonovacího stroje pojíždějícího po kolejích nad dráhou. Stroj vytvářel vylehčovací dutiny ve vnitřní části panelu. Pásky byly betonovány ve vrstvách až do výšky dvou metrů. Mezi vrstvami byl rozprostírán písek nebo papír. Jednotlivé vrstvy byly betonovány s odstupem 24 hod. Předpětí bylo zaváděno po sedmi až deseti dnech. Z předpjatého pásu byly pilou s karborundovými kotouči odřezávány panely požadované délky.

Výrobní zařízení **Stasa** bylo neuváženě dovezeno z NDR. Bylo osazeno v Radotíně se záměrem výroby předpjatých stropů systému Schäfer. Protože u nás nebylo tolik cihelné drtě jako po válce v NDR, nebylo možné splnit tento záměr. Vyráběné předpjaté panely z hutného betonu nemohly soutěžit se zavedenými železobetonovými panely. Výroba omezená na předpjaté plné desky tlusté 50 až 80 mm pro zastřešení probíhala bez podstatných potíží. Jednou ale došlo k nežádoucímu poklesu předpětí, protože závaží, uložené ve studni a určující sílu v předpínací výztuži, bylo nadlehčováno vodou, která nadměrně pronikla do studny.

Plně automatizované ukládání a napínání předpínací výztuže strojem **Pp10** bylo zavedeno při výrobě stropních žebrovaných panelů rozměrů 6 × 1,2 × 0,29 m z betonu B400 (Ing. J. Vondrášek). Dráty 12 Ø P 3 × 3 příslušně jednotlivým žebřům byly napínány strojem ve dvou fázích (obr. 7). V první fázi byl drát ovíjen pod malým napětím člunkovým strojem kolem kotevních klínů osazených na šikmá čela pomocné rozpěry. V druhé fázi byl drát napnut stlačením kotevních klínů po šikmých klínových čelech rozpěr-



Obr. 5 Betonovací stroj Stasa
Fig. 5 Concreting machine Stasa



Obr. 6 Čelo předpínací dráhy Stasa
Fig. 6 End of the prestressing line Stasa

né formy. Poměrně složitý stroj Pp10 se u jiných panelů neuplatnil.

Je zřejmé, že se předpjatý beton obtížněji prosazoval u stropů než u mostů, nádrží, průmyslových staveb, pražců a stožárů, kde se mohly uplatnit jeho technické výhody (např. snížení hmotnosti konstrukcí, vyloučení vzniku trhlin, odolnost vůči opakovanému a střídavému namáhání).

Další vývoj

Při dalším vývoji bylo nutné rozhodnout o způsobu hromadné výroby panelů, o předpínací výztuži a o jejím kotvení soudržností.

Hromadně je možné stropní panely vyrábět ve formách na lince nebo v pásech. **Linky** jsou vhodné pro jednoúčelovou výrobu panelů stejných rozměrů s velkou četností. V **pásech** se dají vyrábět panely stejného průřezu, které se v požadovaných délkách z vybetonovaného pásu odřezávají.

Tehdy drátovny dodávaly pouze hladký drát. Úpravy nutné pro ukotvení předpínací výztuže v betonu soudržností zajišťovala stavební výroba sama. Vyvinuté **spletené dráty** bylo možné ukotvit soudržností v betonu značky nejméně B400. Proto byly hledány úpravy drátů, které by umožnily ukotvení v levnějším betonu B250. Tomu vyhověly **zlaněné dráty** Ø P 3 (2 × 2), které byly svinuty ze tří spletených drátů Ø P 2 × 2. Zlaněné

dráty byly určeny pro výrobu v pásech [2]. Souběžně vyvinuté přikotvení hladkého drátu smyčkou obemykající zabetonovanou ocelovou trubku se uplatnilo při ukládání napnutého drátu ovíjením do rozpěrné formy při výrobě na lince [2]. Ovíjení ale vyžadovalo poměrně složité jednoúčelové napínací zařízení.

V roce 1959 byla ve spolupráci složek hutnictví a stavebnictví vyvinuta žebírková tyčová předpínací výztuž z oceli **10607** o vyznačené mezi kluzu 600 MPa a pevnosti 900 MPa [2]. Tvářením za studena ve stavební výrobě nabyla ocel smluvní mez kluzu 0,2 až 810 MPa. Tvářením tyčí mohlo probíhat mimo proces napínání nebo i při vlastním napínání. Žebírkové tyče byly určeny pro předpínací výztuž kotvenou soudržností v předem předpjatém betonu B250 vyráběném na lince. Bylo možné je napínat hydraulickými válci nebo ohřevem. Před napínáním byly konce tyčí opatřeny kotvením, kterým se



Obr. 7 Napínací stroj Pp10
Fig. 7 Prestressing machine Pp10



Obr. 8 Betonování panelu PPD
 Fig. 8 Panel PPD concreting

po napnutí opíraly o vidlicové čepy vyčnívající z rozpěrných forem. Osvědčilo se kotvení třmeny s ozubenou drážkou, do které byly tyče zatlačeny. Kotvení dvěma příložkami přivařenými na oba konce tyče bylo záhy zavrženo, protože svar u obtížně svařitelné oceli 10607 způsoboval náhlé porušení napínaných tyčí, což ohrožovalo zdraví pracujících.

Od roku 1964 byla na popud stavebnictví [2] v našich drátovnách vyráběna lana \varnothing L 12,5 vhodná pro předpínací výztuž kotvenou soudržností v panelech z předem předpjatého betonu značky nejméně B400 vyráběných v pásech.

Obr. 9 Čelo rozpěry Spandeck
 Fig. 9 End of the mould Spandeck



Zavedená lana, nahrazující dosud používané spletené dráty, umožnila zmenšit počet vložek předpínací výztuže v konstrukci a snížit pracnost s jejím ukládáním a napínáním. Tyto výhody převážily nutnost vyrábět beton vyšší značky i ve výrobnách navykklých na beton B250. Jednotlivá lana jsou napínána hydraulickým válcem a kotvena v samosvorných kotvičkách s trojdílnými čelistmi.

Panely vyráběné na lince

Využití předpjatého betonu v hromadné výrobě bylo usnadněno zavedením ČSN 73 0006 „Unifikace rozměrů ve výstavbě“, která stanovila tyto skladebné rozměry stropních panelů: délku 6 m, šířku 1,2 nebo 2,4 m a výšku 0,2 m. Při konstrukční výšce 0,19 m nemohl železobeton vyhovět požadavkům mezního stavu přetvoření, ale předpjatý beton mohl uplatnit výhodu větší tuhosti.

V roce 1959 byla proto na výrobní lince zahájena hromadná výroba dutinových stropních panelů z předem předpjatého betonu B250 rozměrů 5,99/2,39 (1,19)/0,19 m označených PPD. Byly předepnuty tyčemi \varnothing Y12 až 16 z oceli 10607 napínanými elektroohřevem. Mimo linku byly tyče tvářeny za studena tahem, po koncích opatřeny kotevními třmeny s ozubenou drážkou a ohřátím průchodem elektrického proudu na 350 °C prodlouženy. Ohřáté tyče byly ručně vkládány do rozpěrných forem. Při chladnutí se kotevní třmeny opíraly o vidlicové čepy. Předpínací síla ve vychladlé tyči byla

dána rozdílem vzdáleností styčných ploch jednak na třmenech po vychladnutí tyče a jednak na vidlicových čepch. Mřížky svařované z betonářské výztuže byly užity při horním povrchu panelu jako rozdělovací výztuž a mezi dutinami jako třmínky. Po koncích panelu byla osazena závěsná oka. Při betonování na vibračním stole byly dutiny v panelu vytvářeny vysouvatelnými jádry (obr. 8). Tvrdnutí betonu bylo urychlováno rychloohřevem za teploty až 98 °C. Aby nedošlo k nakypření betonu únikem vody, byl povrch panelů zatížen ocelovou deskou. V propařovacím tunelu byly pro lepší využití prostoru formy i s deskami uloženy ve sklonu 45°. Předpětí bylo do panelů zaváděno přeřiznutím tyčí po pěti hodinách od vybetonování. Na lince byla forma přemísťována po pracovištích určených pro jednotlivé pracovní úkony. Panely PPD byly zavedeny u panelových soustav T-08B, VVÚ-ETA a LARSEN-NIELSEN.

Panely vyráběné v pásech

V zahraničí bylo zavedeno několik systémů výroby dutinových panelů v pásech. Lana jsou ukládána na celou délku pásu. Pásky stálého průřezu jsou betonovány v celku vibrotahem betonovacím zařízením za průběžné vibrace a po zavedení předpětí jsou rozřezávány pilou na požadované délky. Tvrdnutí betonu je obvykle urychlováno proteplováním.

U systému Spandeck je pás betonován na ocelové rozpěře dlouhé 100 m, pojiždějí pod stabilním betonovacím strojem

Obr. 10 Betonový pás po přeřiznutí
 Fig. 10 Concrete stripe after cutting



Pokračování na straně 50



Obr. 5 Koroze výztuže balkonového nosníku
Fig. 5 Corrosion of reinforcement of the balcony beam

ukazují vliv dílčích součinitelů γ_G a γ_Q na změnu hodnot indexu spolehlivosti β (je předpokládána návrhová plocha výztuže A_s) pro balkonový nosník, pokud by tyto součinitele byly při návrhu nosníku uplatněny. Úroveň spolehlivosti doporučenou podle Eurokódů pro padesátiletou dobu životnosti znázorňuje na obr. 4 bílá plocha ($\beta_t = 3,8$).

ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Mezinárodní norma ISO 13822 poskytuje návody pro hodnocení spolehlivosti existujících konstrukcí včetně možnosti aplikace pravděpodobnostních postupů. Uvádí pokyny pro aktualizaci pravděpodobnostních modelů základních veličin a zpřesňování spolehlivosti existujících konstrukcí na základě nových informací. Pravděpodobnostní přístupy podle ISO 13822



poskytují nové možnosti, jak rozhodnout o dalším používání existujících konstrukcí.

Zavedení normy ISO 13822 do systému českých norem umožní posuzovat existující konstrukce v ČR nejenom podle tradičních postupů, ale také podle zásad teorie pravděpodobnosti a spolehlivosti. Do NP budou uvedeny důležité informace z normy ČSN 73 0038 a budou dále rozšířeny. Očekává se, že norma ISO 13822 bude začleněna do současně zaváděného systému evropských a mezinárodních norem pro navrhování v ČR a usnadní posuzování existujících konstrukcí a navrhování jejich oprav nebo přestavb.

Studie vznikla jako součást řešení úkolu č. 1H-PK/26 „Optimalizace spolehlivosti staveb a kalibrace norem EU“ podporovaného z prostředků MPO.

Literatura:

- [1] ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách, ČNI, 1986
- [2] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí, ČNI, 2004
- [3] ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí, ČNI, 2003
- [4] ISO 13822 Assessment of existing structures, 2001
- [5] ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí, ČNI, 1986
- [6] Bouška P. a Klečka T.: Technické a statistické hodnocení balkónů, Kloknerův ústav, 1999
- [7] Probabilistic Model Code, Parts 1 to 4, Basis of design, Load and resistance models, Examples, JCSS, 2002
- [8] STRUREL, Structural Reliability System (programy STATREL, COMREL, SYSREL a NASREL – COMREL 8.00 z roku 2003), RCP Consulting software, Munich, Germany

Ing. Jana Marková, Ph.D.

Kloknerův ústav ČVUT v Praze

Šolínova 7, 166 08 Praha 6

tel.: 224 353 501, fax: 224355232

e-mail: markova@klok.cvut.cz



Dokončení ze strany 36

s výsypkami (obr. 9). Panel má tři části, které jsou postupně betonovány z výsypek. Spodní část obsahující napnutá lana, žebra vnitřní části a horní část jsou z hutného betonu. Mezi žebra vytváří kačírek, sypaný z výsypek, podélné průběžné dutiny požadovaného tvaru a rozměrů. Po přeříznutí pásu se kačírek odebírá a opakovaně používá (obr. 10).

Způsob výroby umožňuje použít měkký čerstvý beton s vyšším vodním součini-

Obr. 11 Betonovací stroj Dy-Core

Fig. 11 Concreting machine Dy-Core

telem, takže je možné po vybetonování pásu zatlačit do betonu příčnou betonářskou výztuž do horní části, třmínky do žeber a závěsná oka k čelům panelu.

Pro nákladné výrobní zařízení a pro velkou spotřebu tepla při urychlování tvrdnutí betonu se systém Spandek u nás neuplatnil.

U systémů Dy-Core, Spiroll a Partek je pás betonován na dráze dlouhé až 130 m betonovacím strojem pojezděným nad dráhou (obr. 11). Stroj rozváží a ukládá zavlhlý čerstvý beton. Ten přichází z násypky stroje k šroubovicovým vřetenům, které ho zhutňují vibrováním a lisováním a které vytvářejí v pruhu podélné průběžné dutiny. Horní povrch betonu se stanovuje tak, aby bylo zajištěno řádné kotvení lan soudržností a aby byl zachován tvar dutin. Po vybetonování pásu není možné do betonu vložit betonářskou výztuž a závěsná oka. Předpínací síla je přenášena dráhou, která půso-

Literatura:

- [1] Voves B.: Současný stav a předpoklady dalšího rozvoje předpjatého betonu v bytové a občanské výstavbě, DT, TO Povereníctva stavebnictva, Bratislava, 1959
- [2] Voves B.: Technologie přepjatého betonu, SNTL Praha, 1976

bí jako rozpěra. Vyrobené panely jsou vyztuženy pouze předpínací výztuží.

Panely systému Spiroll vylehčené podélnými dutinami kruhového průřezu byly u nás již před lety zavedeny do výroby v několika výrobních. Bylo to usnadněno tím, že projektanti mohli upouštět od unifikace rozměrů ve výstavbě a volit délku panelů podle navrhované stavby. Souběžně jsou vyráběny i panely systému Partek s dutinami kruhového i oválného průřezu.

Prof. Ing. Bohumír Voves, DrSc.

Pod Fialkou 7, 150 00 Praha 5

tel.: 257 216 282