

ŠKRUPINY BEZ DEBNENIA - NOVÝ POSTUP V BUDOVANÍ ŠKRUPÍN

SHELLS WITHOUT FORMWORK - A NEW APPROACH TO THE CONSTRUCTION OF SHELLS

JOHANN KOLLEGER,
CLEMENS PREISINGER,
VLADIMÍR BENKO

Tenké železobetónové škrupiny, od objavenia železobetónu ako stavebného materiálu ca. pred sto rokmi, sú pre architektov a stavebných inžinierov vždy veľkou výzvou. Ich plánovanie a výstavba vyžaduje nové technické a vedecké riešenia a je spojená so značnými finančnými nákladmi pre zhotovenie dočasných podporujúcich konštrukcií (lešenie, debnenie). V tomto článku je popísaný nový postup [5] pri zhotovovaní škrupinových konštrukcií zakrivených v dvoch rovinách bez potreby podporujúcich konštrukcií.

Thin reinforced concrete shells have been a challenge for architects and engineers since reinforced concrete was developed as a construction material about hundred years ago. The building of reinforced concrete shell structures did require novel technical solutions and always was associated with a very high effort for the spatially curved scaffolding and the formwork. In this paper a new construction procedure [5] for shells with double curvature is presented, which does require neither scaffolding nor formwork.

V prírode sa často stretávame s tenkostennými zakrivenými škrupinami, ktoré tvoria ochranný obal pre živočíchov. Príkladom toho sú napr. schránky mušiel, slímákov, korytnačiek či škrupiny vajec.

Efektívita prenosu zaťaženia pri škrupinách zakrivených v dvoch rovinách vyplýva z toho, že namáhanie v škrupine vyvolané rôznymi zaťažieniami sa prenášajú spravidla bez ohybových účinkov. Priestorové plošné konštrukcie (napr. kupoly, hyperboloidy alebo iné formy škrupín) pripadajú, že z hľadiska prenosu namáhania fungujú ako tlakové čiary. Tento dojem ale nie je celkom správny. Ak sa forma škrupiny odchyľuje od tlakovej čiary, ktorá sa dá určiť na základe príslušného zaťaženia, je škrupina namáhaná aj ohybovými momentami. Forma škrupiny, ktorá by

nebola namáhaná žiadnymi ohybovými momentami sa dá preto určiť len pre jednu kombináciu namáhania. Pri tenkostenných škrupinách zakrivených v dvoch rovinách, ktoré sú namáhané prevažne rovnomerným zaťažením, bez lokálnych výkyvov, sa teda dá určiť vhodná forma škrupiny, ktorá nie je namáhaná ohybovými momentami. Pri líniových alebo bodových zaťaženiach dochádza pri pozitívne zakrivených škrupinách k lokálnemu namáhaniu ohybovým momentom, avšak veľkosť ohybového momentu sa od daného miesta rýchlo znižuje.

Hospodárnosť škrupín pri prenose zaťaženia, ako aj možnosti pri tvorbe a veľkosti tvarov škrupinových konštrukcií, zaraďuje škrupiny medzi konštrukcie, ktoré upútať nielen odborníkov ale aj širokú verejnosť. Železobetón, vzhľadom na svoju tvárnosť, je vhodným stavebným materiálom pri zhotovovaní škrupín. Jeden z dôvodov prečo sa takéto konštrukcie len zriedka objavujú v stavebnej praxi, je ich vysoká cena pri výstavbe.

Pri zhotovovaní zakrivených škrupín sa kladú vysoké nároky na odborné znalosti tesárov. Každá časť debnenia je prakticky zhotovovaná ako prototyp. Lešenie svojimi pomocnými stĺpmi pripomína les a pri zakriveniach škrupín s veľkým sklonom ca. od 45° je potrebné robiť aj debnenie horného povrchu betónovej škrupiny (tzv. kontradebnenie). Takisto vystuženie betónárskou výstužou je pri priestorovo zakrivených škrupinách značne komplikované.

Prianiím architektov, stavebných inžinierov ako aj investorov je samozrejme zhotovenie škrupinových konštrukcií, pri ktorých by náklady potrebné na zhotovenie debnenia a lešenia neboli také vysoké. Práve takýto nový postup patentovaný v Rakúsku [5] je náplňou tohto príspevku.

ZÁKLADNÁ MYŠLIENKA

Cieľom nového spôsobu [5] budovania škrupinových konštrukcií je z jednej roviny plochy vytvoriť nerozvinuteľnú priestorovú konštrukciu. Z izotropného materiálu je to prakticky nemožné, nakoľko sú v strednicovej rovine potrebné nerovno-

memé stlačenia materiálu (dá sa to ľahko overiť napr. na hárku papiera).

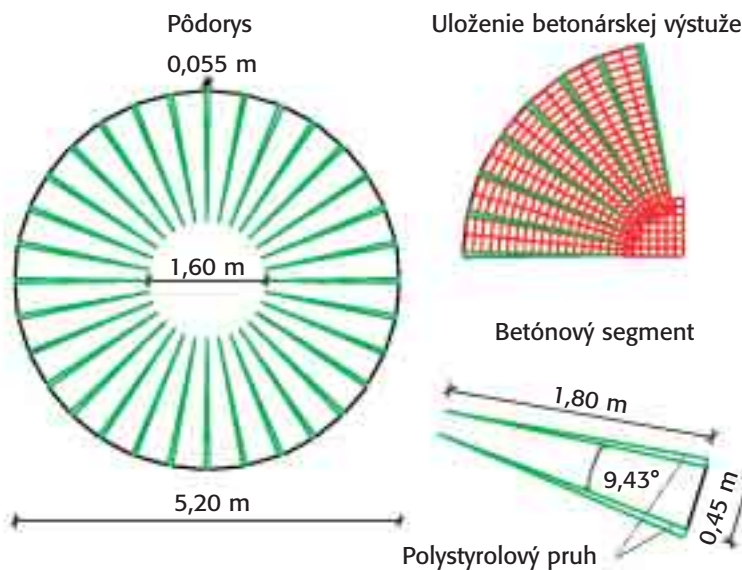
Jednou z možností ako sa to dá vyriešiť, je nahradenie nerozvinuteľnej plochy zakrivenej v dvoch rovinách sústavou oblúkov, ktoré sú zakrivené v jednej rovine, a teda sú rozvinuteľné. Nájdenie vhodných častí zakrivených v jednej rovine pre ľubovoľnú formu škrupiny nie je jednoduché, avšak pomocou grafických programov je to úloha, ktorá je v dnešnej dobe riešiteľná. Príkladom takéhoto spôsobu je napr. sústava oblúkov rozvinutých do roviny pôdorysu znázornenej na obr. 1. Ak spojíme biele pružky dohromady, dostávame formu požadovanej škrupiny. Čierne plošky, znázornené v pôdoryse, reprezentujú materiál, ktorý pre konečný tvar škrupiny nie je potrebný, a teda od začiatku by bolo možné ho vynechať.

Takýmto postupom môžeme vytvoriť požadovanú formu škrupiny, ktorá pred dosiahnutím konečného tvaru pozostáva zo sústavy oblúkov. Samotné membránové pôsobenie konštrukcie prichádza do úvahy až v štádiu, kedy sú oblúky vzájomne spojené a sú schopné prenosu šmykových a ťahových síl. Je zrejmé, že nosné pôsobenie samostatných oblúkov je ďaleko nepriaznivejšie ako nosné pôsobenie kompaktnej škrupiny. Aby sa v čase dvíhania škrupina zosilnila, hľadal sa vhodný materiál na vyplnenie tých častí škrupiny, ktoré sú v konečnom štádiu prebytočné (čieme plochy z obr. 1), s nasledovnými vlastnosťami:

- Malá tuhosť v porovnaní so základným materiálom. Materiál by sa nemal zo špár uvoľniť kolmo na rovinu škrupiny

Obr. 1 Škrupina zakrivená v dvoch rovinách a jej rozvinutý základný rovinný tvar
Fig. 1 Shell with double curvature and its flattened out initial layout





a počas vytvárania správneho tvaru škrupiny by nemal klásť veľký odpor.

- Dostatočná plastická pretvárnosť. Materiál by mal byť ľahko stlačiteľný bez toho, aby sa zo špár uvoľňoval alebo drvil. V záverečnej forme by sa mali dosiahnuť tenké škáry tesne uzavreté.

Pri hľadaní materiálu s vhodnými vlastnosťami padla voľba na materiál polystyrol (extrudovaný polystyrol foam).

Takouto voľbou materiálu – základný materiál a materiál na vyplnenie škár – dostávame materiál, ktorý pri sledovaní dostatočne veľkej oblasti môžeme považovať za ortotropný. Takýto ortotropný materiál má v určitom smere vysokú tuhosť, pričom kolmo na tento smer sa dá ľahko tvarovať. Podľa spôsobu voľby tuhostných pomerov medzi obidvomi hlavnými smermi materiálov dostávame nosné správanie sa konštrukcie, ktoré sa nachádza medzi voľnými oblúkmi a izotropnou škrupinou.

Na to, aby sa vytvarovala priestorová škrupina z rovinatej plochy, sa použili

predpínacie káble bez adhézie, ktoré sú umiestnené po obvode a ťahovo pôsobia kolmo na škáry.

ZHOTOVENIE MODELU ŠKRUPINY

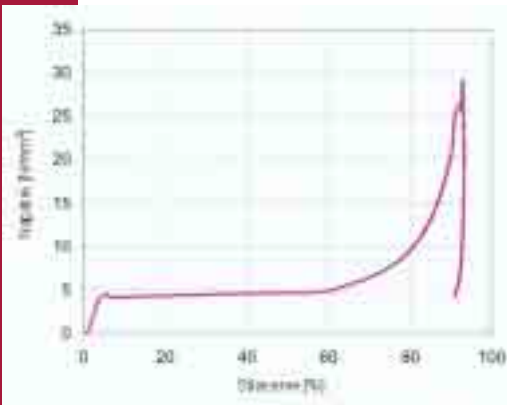
Odvodenie základného tvaru

Z dôvodu overenia fungovania a možnosti praktického použitia popísaného postupu zhotovovania škrupinových konštrukcií bol v rámci diplomovej práce [6] v laboratóriách TU Viedeň uvedeným postupom experimentálne vyrobený model železobetónovej škrupiny. Najjednoduchšiu v dvoch rovinách zakrivenú škrupinu predstavuje výsek guľovej plochy. Známenie takejto plochy v jej počiatočnom (výrobnom) štádiu, vyrobenej v laboratóriu, je na obr. 2.

Počiatočný priemer v rozbalenej rovinatej forme je 5,2 m. Po predpätí a dosiahnutí konečného tvaru bol plánovaný priemer na spodu škrupiny 4,8 m s prevýšením v najvyššom bode škrupiny 0,88 m. Z jednoduchých geometrických vzťahov sa dajú určiť potrebné tangenciálne pretvorenia. Vonkajší obvod za týchto podmienok predstavuje 7,7 % stlačenia, čo predstavuje zmenšenie obvodu o 1,25 m. Tieto stlačenia sú rozdelené na plánovaných 32 radiálne orientovaných škár, ktoré sú vyplnené polystyrolom (na obr. 2 sú označené ako polystyrolové pruhy). V závislosti od spôsobu výroby dosahuje

Obr. 3 Charakteristický pracovný diagram polystyrolu

Fig. 3 Characteristic stress-strain-curve of extruded polystyrol foam



Obr. 2 Počiatočná rovinná forma guľového výseku s 32 segmentmi, usporiadanie betonárskej výstuže a detail jedného segmentu

Fig. 2 Layout plan of the flattened out spherical dome with 32 segments, arrangement of reinforcement bars and layout of a reinforced concrete segment

polystyrol napätia od 1 do 5 N/mm² pri module pružnosti okolo 100 N/mm² a pomernom stlačení okolo 3,5 %. Po dosiahnutí uvedených hodnôt dochádza k plastizácii a tečeniu materiálu pri konštantnom napätí až do stlačenia na približne 60 %. Pri ďalšom stlačení dochádza k rýchlemu nárastu napätia v materiáli (obr. 3) až na hodnoty ca. 30 N/mm² pri 90 % stlačení materiálu.

Navrhnutých 32 škár vyplnených polystyrolom bolo navrhnutých so šírkou 5,9 cm pri obvode, čo pri plánovanom stlačení o 3,9 cm predstavuje okolo 70 %. Uvedené stlačenie s dostatočnou rezervou bolo zvolené úmyselne, aby sa z dôvodov nepresnosti vo výrobe zabránilo prudkej koncentrácii napätí v škárach.

Po obvode škrupiny bolo zabetónované predpínacie lano uložené v mazive a v PE obale (VSL Monolithe ST 1570/1770).

Výroba železobetónovej škrupiny

Ako stavenisko poslúžila klimatizovaná komora laboratória katedier „Institut für Stahlbau“ a „Institut für Stahlbeton- und Massivbau“ Technickej univerzity Viedeň. Na dosiahnutie rovného povrchu pri betónáži škrupiny (s plánovanou hrúbkou 20 mm) sa použili tabule debnenia Doka. V praxi pri budovaní škrupín väčšieho rozpätia je potrebná len úprava spevnenej plochy, na ktorej by sa v rovine betónovala škrupina zvolenej hrúbky.

Na výrobu škrupiny sa použil betón triedy B 30 (C25/30) s maximálnym kameňom hrúbky 8 mm.

Radiálne usporiadané pruhy z polystyrolu boli navrhnuté dĺžky 1,8 m od obvodu, nakoľko pri ich hrúbke pod 1 mm nastávali problémy s ich výrobou ako aj upevňovaním ich správnej polohy, v ktorej mali byť zabetónované. Navyše v strednej časti, ktorej priemer bol navrhnutý 1,6 m, boli železobetónové oblúky spojené. Ako dôsledok takejto voľby sa po dosiahnutí predpokladaného tvaru v strednej časti škrupiny vytvorila menej zaoblená plocha.

Na obr. 4 je zobrazená železobetónová platňa po ukončení betonáže.

Skutočnosť, že predpínací kábel s PE obalom bol hrúbky 20 mm a taktiež potreba jeho excentrického pôsobenia hlavne v počiatkovej fáze zdvíhania škrupiny, nás viedli k tomu, že po obvode bolo navrhnuté zosilnenie škrupiny na 40 mm. Ťažisko predpínacieho kábla takto bolo možné uložiť s 12 mm excentricitou oproti strednici železobetónovej škrupiny. Excentrické uloženie kábla slúžilo v počiatkových fázach na vytváranie ohybového momentu po obvode škrupiny, a taktiež tým bol určený smer, ktorým sa má pretvorenie budúcej škrupiny uberať.

Priemer škrupiny po ukončení zdvíhania sa mal skrátiť o 400 mm. Aby sa predišlo nekontrolovateľným pretvoreniam, zvolil sa jeden pevný bod, ku ktorému sa mala škrupina posúvať. Ako vhodné miesto pevného bodu sa ponúkalo miesto kotvenia a predpínania.

Počas predpínania a zdvíhania bolo potrebné o.i. zabrániť, aby sa jednotlivé segmenty v mieste ich najslabšieho miesta, t.j. v mieste prechodu na stredný nerozdelený kruh, nepotrhlali a nepoškodili. V každom segmente boli v radiálnom smere navrhnuté tri prúty betonárskej výstuže hrúbky 5 mm. V tangenciálnom smere bola navrhnutá rozdeľovacia výstuž vo vzdialenostiach 100 mm. Usporiadanie výstuže je znázornené na obr. 2. Vzdialenosť ťažiska radiálnej výstuže od spodného okraja bola 15 mm.

Aj keď navrhnutý predpínací kábel uložený v mazive má veľmi malý súčiniteľ trenia ($\mu = 0,06$), s ohľadom na celkové zakrivenie kábla, ktoré je 360° , vznikajú v kábli značné straty predpínacej sily, a te-

Obr. 5 Škrupina vo vypuklom štádiu
Fig. 5 Shell in its buckled final state



Obr. 4 Rovinná železobetónová platňa po ukončení betonáže

Fig. 4 Reinforced concrete membrane after completion of concreting

da jej nerovnomerné rozdelenie po obvode. Vplyvom trenia predpínacieho kábla teda vznikajú po obvode betónových segmentov tangenciálne sily, ktoré spôsobujú namáhanie škrupiny ohybovými momentami v mieste pripojenia betónových segmentov na strednú časť škrupiny. Ďalšou výhodou použitia polystyrolových častí je, že tieto sú schopné časť týchto tangenciálnych síl zachytiť, čím redukujú ohybové momenty v rovine škrupiny, a tým odľahčujú namáhanie betónových segmentov na ohyb.

Proces formovania škrupiny

Priebeh zdvíhania škrupiny bol v ôsmich etapách zaznamenaný fotogrametricky a laserovým zameriavaním, a za pomoci pracovníkov katedry „Photogrametrie und Fernerkundung“ Technickej univerzity Viedeň vyhodnotený. Obidve metódy sú pre takéto experimenty veľmi vhodné [9], nakoľko umožňujú rýchle merania bez toho, aby sa dotýkali meraného objektu.

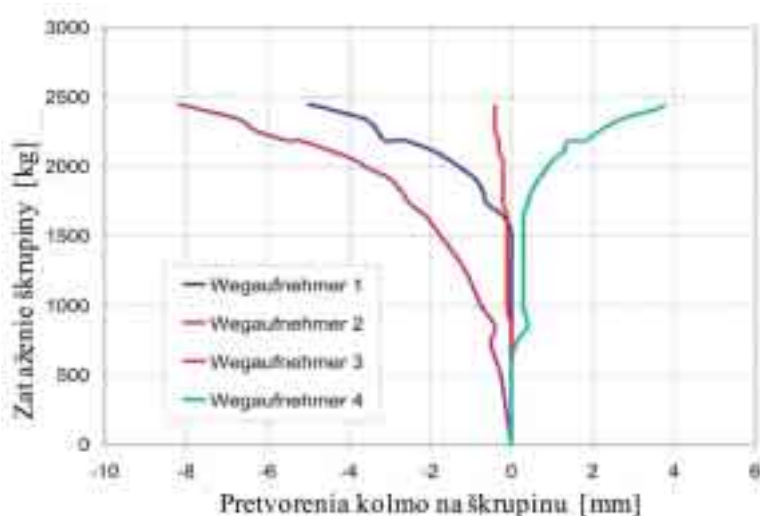
Kritický stav pri formovaní priestorového

tvaru škrupiny nastáva v počiatkovom štádiu. Prevýšenie škrupiny v strede je veľmi malé (resp. nulové) a teda aj rameno síl pôsobiacich po obvode (od účinkov predpínacieho lana) pôsobí ohľadom na strednicovú rovinu membrány s malými excentricitami. Sprevdádzajúce nelineárne výpočty ukazovali, že v prípade, ak by bola membrána čiastočne prilepená na podklad (čo mohlo byť spôsobené aj podtlakom), by vnášané ohybové momenty po obvode neboli postačujúce, aby zdvihli strednú časť železobetónovej membrány.

Obr. 6 Zataženia na vrchole škrupiny, v popredí induktívne deformmetre k meraniu deformácií

Fig. 6 Loads in the center-area of the shell, in the foreground: inductive deformation measurement devices





Aby sa zabránilo prípadnému porušeniu škrupiny skôr ako sa dosiahne výsledný tvar, navrhlo sa v strednej časti odľahčiť škrupinu pomocou ťahovej sily 3,8 kN, a tým podporiť zdvíhací účinok okrajových momentov od predpínacej sily. Odľahčenie v strednej časti škrupiny bolo prevedené pomocou závesného zariadenia cez 12 záchytných bodov rovnomerne rozmiestnených v strednej časti škrupiny, ktoré boli zavesené na zdvíhacie zariadenie tak, aby vo všetkých zvolených bodoch pôsobila rovnaká ťahová sila. Pred samotným predpínaním predpínacieho kábla po obvode zavedením závesnej sily v strede došlo ku zdvihnutiu strednej časti konštrukcie o hodnotu 3,8 mm.

Predpínanie predpínacieho kábla po obvode bolo volené krokmi 10 kN striedavo z oboch strán, aby sa obmedzilo namáhanie segmentov na ohybové účinky v rovine membrány. Pretvorenie

v strednej časti škrupiny narastalo pomaly až do hodnoty predpínacej sily 65 kN, kedy narástlo v strednej časti z 3,8 mm na hodnotu 10,3 mm. V tomto štádiu došlo k náhlej zmene tvaru membrány za sprevádzajúceho hlučného efektu, kedy membrána poskočila a v strednej časti dosiahla pretvorenie 149 mm. Krátko pred popísanou zmenou tvaru pri predpínacej sile 65 kN za predpokladu plánovanej hrúbky škrupiny 20 mm dosahovalo napätie v betóne hodnotu $-4,1 \text{ N/mm}^2$, čo je značne ďaleko od výpočtových pevností betónu v tlaku. Následne po náhlej zmene tvaru škrupiny sa zmenšila sila v predpínacom kábli na hodnotu 30 kN a sila v závesnom zariadení v strednej časti škrupiny klesla na hodnotu 0,45 kN.

Predpínacia sila sa pri ďalšom priebehu pokusu pohybovala medzi hodnotami od 25 do 30 kN a po dosiahnutí vrchola s prevýšením 895 mm a celkovom pre-

Obr. 7 Výsledky merania indukčnými deformmetrami

Fig. 7 Data from the inductive deformation measurement devices

dĺžení predpínacieho kábla o 1324 mm sa škrupina zakotvila a experiment sa ukončil. Na obr. 5 je znázorný konečný stav škrupiny po ukončení experimentu.

Po ukončení predpínania sa premerali stlačenia polystyrolových častí škrupiny. Tieto neboli celkom zhodné s predpokladanou teoretickou hodnotou určenou pred prevedením samotného pokusu, čo predstavovalo po obvode zostatkovú hodnotu 17 mm. Vľavo a vpravo od miesta kotvenia boli polystyrolové pružky hrúbky 11 a 14 mm. Na náprotivnej strane od kotvenia dosahovali polystyrolové škáry v škrupine hodnoty 20 až 24 mm.

ZAŤAŽOVANIE ŠKRUPINY AŽ DO PORUŠENIA

S cieľom dospieť k porušeniu škrupiny bol prevedený experiment zaťažovania škrupiny až do štádia porušenia.

V strednej časti škrupiny v oblasti približne 2 m^2 bola škrupina postupne ručne zaťažovaná vreckami vyplnenými cementom a oceľovým šrotom. Na obr. 6 sú znázornené ochranné vrecia, ktoré slúžili na udržanie zaťaženia v strednej časti škrupiny, ako aj podporné lešenie, z ktorého bola škrupina ručne zaťažovaná. V popredí obrázka je vidieť umiestnenie indukčných deformmetrov na zaznamenávanie pretvorenia škrupiny v dôsledku prítlačenia.

Merania indukčných deformmetrov dokazujú, že deformácia škrupiny v štádiu zaťažovania sa v spodnej časti pretvára von (Wegaufnehmer 1 až 3) a v strednej časti škrupiny dovnútra (Wegaufnehmer 4) škrupiny (obr. 7).

Do úrovne zaťaženia 1500 kg boli deformácie škrupiny veľmi malé. Stred škrupiny sa deformoval do vnútra škrupiny a vonkajšia tretina membrány sa deformovala smerom von tak, že v týchto miestach dochádzalo k otváraniu škár vyplnených polystyrolom. Obvodové časti šku-



Obr. 8 Kráterové porušenie škrupiny, predpínací kábel po obvode ostal neporušený

Fig. 8 Crater-like shape of the broken down shell, the tendon remains undamaged throughout the ultimate-limit-load test



Obr. 9 Škrupina z ľadu v jej počiatkovej (Foto: Pez Hejduk) a konečnej fáze
Fig. 9 Shell from ice in its initial and final state



Obr. 10 Pohľad dovnútra škrupiny (Foto: Pez Hejduk)
Fig. 10 Inside views of the shell



piny sa v tomto štádiu zaťaženia nedeformovali. Ako rástlo zaťaženie od 1500 kg dochádzalo k nerovnomernému nárastu deformácií škrupiny. Pri zaťažení 2480 kg sa porušili na ohyb betónové segmenty približne v jednej tretine od vonkajšieho obvodu a za sprevádzania zvukových efektov v trvaní približne 30 sekúnd došlo k porušeniu škrupiny tak, ako je to znázornené na obr. 8, pričom k porušeniu predpínacieho kábla nedošlo.

VÝROBA ŠKRUPINY Z ĽADU

Po úspešnom experimente, na ktorom bol overený nový postup pri zhotovovaní železobetónových škrupinových konštrukcií zakrivených v dvoch rovinách, bol v rámci diplomovej práce Kaulfus [7] odskúšaný postup pri obdobnom zhotovení škrupinovej konštrukcie z ľadu, vystuženej sklenenými vláknami.

Obr. 11 Škrupiny vytvorené vyrezaním častí zo základného tvaru guľového výseku

Fig. 11 Shapes that are based on a spherical segment, obtained by cutting holes into it

Betón, podobne ako ľad, sú materiály, ktoré sa zhotovujú v tekutom stave a po zatvrdnutí dosahujú tlakové pevnosti, ktoré niekoľkonásobne prevyšujú ťahové. Z tohto dôvodu je pri použití oboch materiálov dôležité pri vytváraní príslušného tvaru potrebné v miestach kde vznikajú ťahové napätia navrhnuť vystuženie. Pri formovaní škrupiny z ľadu bolo vystuženie navrhnuté sieťovinou zo sklenených vlákien s veľkosťou oka 5 mm. Jednoosá tlaková pevnosť ľadu sa pohybuje v rozmedzí od 1 do 2 N/mm² čo je podstatne menej ako tlaková pevnosť betónu. Z tohto dôvodu sa na vyplnenie škr v základ-

nom materiáli zvolil podstatne mäkkší polystyrol.

Vystužená ľadová škrupina takto svojimi vlastnosťami aj vystužením zodpovedala železobetónovej škrupine popísanej vyššie. Aj výroba ľadovej škrupiny (obr. 9 a 10) fungovala prakticky rovnako ako železobetónová škrupina. Na niektorých kritických miestach (kotviaci blok predpätia, miesto styku predpätia s ľadom) museli byť zohľadnené konštrukčné zmeny, aby nedošlo k poškodeniu ľadovej škrupiny skôr ako sa dosiahne požadovaný tvar.

Pokračování článku na straně 55



být respektovány při jejich návrhu. Požadavky se týkají rozměrů průřezu a procesu betonování piloty. Hodnota průměru používaná ve výpočtech u pilot betonovaných na místě bez trvalého pažení, by měla být:

- pokud je $d_{nom} < 400$ mm,
 $d = d_{nom} - 20$ mm,
 - pokud je $400 \text{ mm} \leq d_{nom} \leq 1000$ mm,
 $d = 0,95 d_{nom}$,
 - pokud je $d_{nom} > 1000$ mm,
 $d = d_{nom} - 50$ mm,
- kde d_{nom} je jmenovitý průměr piloty.

Vrtané piloty

Ustanovení platí pro vyztužené piloty. Pro piloty bez výztuže platí ustanovení pro prostý beton. Důležitý je volný pohyb betonu kolem výztuže; proto uspořádání výztuže, výztužných košů a všech připojených vložek musí být takové, aby tento volný pohyb betonu vložená výztuž neomezila. Vrtané piloty s průměrem nepřesahujícím h_1 , mají být opatřeny minimální podélnou výztuží $A_{s,bpmin}$ uspořádanou po obvodě průřezu. Hodnoty h_1 a $A_{s,bpmin}$ budou určeny v NP, doporučené hodnoty jsou 600 mm a $A_{s,bpmin}$ je uvedena v tab.1.

Minimální průměr podélných prutů je d_2 , jejich počet n_1 a světlá vzdálenost sou-

sedních prutů měřená po obvodě je s_1 . Hodnoty d_2 , n_1 a s_1 budou určeny v NP, doporučené hodnoty jsou 16 mm, 6 mm a 200 mm. Konstrukční uspořádání podélné a příčné výztuže vrtaných pilot uvádí EN 1536.

Základy podepřené pilotami

Patka podepřená pilotami musí být dostatečně tuhá a musí přenášet zatížení ze sloupu do pilot a má mít dostatečnou výšku pro zakotvení výztuže sloupu a pilot.

Vzdálenost vnějšího okraje piloty od okraje základu by měla být taková, aby síly v tažených částech základu mohly být dostatečně zakotveny. Je třeba uvažovat i očekávanou odchylku polohy piloty na staveništi.

Vyztužení patky podepřené pilotami by mělo být stanoveno pomocí analogického prutového modelu (strut-and-tie model) nebo pružnými metodami, pokud je to vhodné.

Hlavní tahová výztuž přenášející účinky zatížení by měla být soustředěna v oblastech napětí mezi hlavami pilot. Měla by být použita výztuž o průměru větším než d_{min} , jehož hodnota bude určena v NP; doporučená hodnota je 8 mm. Jestliže plocha této výztuže je rovna aspoň mini-

mální výztuži, mohou být vynechány rovnoměrně rozmístěné pruty podél spodního povrchu prvku. Rovněž není třeba výztuž po stranách a u horního povrchu, pokud nemohou v těchto částech prvku vzniknout tahy.

K ukotvení tahové výztuže mohou být použity příčné přivařené pruty. V takovém případě lze přivařený prut považovat za součást příčného vyztužení v kotevní oblasti uvažovaného výztužného prutu.

Lze předpokládat, že tlak vyvozený podporovou reakcí piloty se roznášá pod úhlem 45° od okraje piloty (obr. 10). Tento tlak je možno uvažovat při výpočtu kotevní délky.

Tento příspěvek byl vypracován za podpory VZ MSM 210000001.

Prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.
tel.: 224 354 633

e-mail: proch@beton.fsv.cvut.cz

Doc. Ing. Alena Kohoutková, CSc.

tel.: 224 353 740

e-mail: akohout@fsv.cvut.cz

oba: Katedra betonových konstrukcí a mostů

FSV ČVUT

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

fax: 233 335 797

Dokončení článku ze strany 49

ZÁVER

Velká únosnost, malá spotreba materiálu a prakticky možnosť volby ľubovoľného

tvary škrupiny, umožňuje návrh a realizáciu náročných a estetických stavieb.

V tomto príspevku je popísaný nový postup pri výrobe škrupinových konštrukcií zakrivených v dvoch rovinách. Vyžaduje sa pri tom materiál, ktorý je v štádiu prí-

pravy v tekutej forme a po zatvrdnutí dosahuje potrebné pevnosti v tlaku.

Pri praktickom použití je možné uvedeným spôsobom navrhnuť a vyrobiť železobetónové škrupiny s rozponom až do 80 m a z ľadu až do rozponu 30 m. V zimnom období sa plánuje zhotovenie ľadovej škrupiny s rozponom ca. 20 m.

Do budúcnosti sa plánuje uvedeným postupom vyrobiť škrupiny, ktoré majú iné formy kruhového výseku (obr. 11) ako aj vyskúšanie iných tvarov škrupín (napr. škrupiny s negatívnou Gausovou krivostou). Architekti Drexler a Schwarz vo svojej diplomovej práci [8] navrhujú rôzne estetické formy škrupín, ktoré je možné vyrobiť uvedeným postupom ako ľadové škrupiny vystužené sklenenými vláknami.

O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Johann Kollegger
sek212@pop.tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. Clemens Preisinger

cpre@pop.tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. Dr. techn. Vladimír Benko

vbenko@pop.tuwien.ac.at

všichni: Institut für Stahlbeton- und Massivbau
Karlsplatz 13, A-1040 Wien

Literatura:

- [1] Dischinger F.: Fortschritte im Bau von Massivkuppeln; Bauingenieur Heft 10; 362–366; 1925
- [2] Dischinger F.; Finsterwalder U.: Die weitere Entwicklung der Schalenbauweise „Zeiss-Dywidag“; Beton und Eisen 16, Heft 7/8, 10–12, 14–16; 1932
- [3] Isler H.: New shapes for shells. International Colloquium an Construction Processes of Shell Structures; Madrid; 1959
- [4] Ramm E.; Schunck E.: Heinz Isler-Schalen, Katalog zur Ausstellung; Karl Krämer; Stuttgart; 1986
- [5] Kollegger J.; Preisinger C.: Verfahren zur Herstellung von zweifach gekrümmten Schalen; Patentanmeldung;

- Österreichisches Patentamt; 2004
- [6] Harrer J.: Herstellung einer zweifach räumlich gekrümmten Stahlbetonschale ohne Verwendung von Lehrgerüst und Schalung; Diplomarbeit; TU-Wien; 2004
- [7] Kaulfus M.: Verfahren zur Herstellung von zweifach räumlich gekrümmten Schalen aus Eis; Diplomarbeit; TU-Wien; 2004
- [8] Drexler T, Schwarz C.: Temporäre Eventarchitektur mit Flächentragwerken aus Eis-Glasfaser-Verbundwerkstoff. Diplomarbeit TU-Wien 2004
- [9] Kraus K: PHOTOGRAMMETRIE – Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen, 7. Auflage, Berlin: Walter de Gruyter Verlag