# ČERPANÝ VYSOKOHODNOTNÝ LEHKÝ BETON PRO MOST RAFTSUNDET, SEVERNÍ NORSKO | PUMPING OF HIGH PERFORMANCE LIGHTWEIGHT CONCRETE FOR THE RAFTSUNDET BRIDGE, NORTHERN NORWAY

JAN-EIRIK NILSSKOG, ROLF VALUM, KENNETH S. HARMON

**Čerpání lehkého betonu nebylo v době výstavby mostu Raftsundet v Norsku běžně užíváno jako možný způsob ukládání těchto betonů. Pro mostní konstrukce nebylo čerpání vysokohodnotného lehkého betonu povoleno vzhledem k vysokým absorbčním hodnotám expandovaného jílu nebo jílovitých břidlic, z nichž jsou v Evropě lehká kameniva do betonu obvykle vyráběna. Most Raftsundet je 711 m dlouhý betonový most v severním Norsku vybudovaný technologií letmé betonáže. Hlavní rozpětí délky 298 m s plavební výškou 47 m je postaveno z vysokohodnotného lehkého betonu s 28denní pevností 60 MPa (LC60). Dodavatel stavby se snažil získat povolení pro čerpání lehkého betonu, proto připravil a realizoval detailně propracovaný program zkoušení a dokumentování vlastností betonu. Cílem programu bylo ukázat, že při použití rotační vypalovací pece pro výrobu lehkého kameniva z expandované břidlice (LWA) muže být lehký vysokohodnotný beton čerpán bez jakýchkoliv měřitelných nežádoucích projevů na vlastnosti uloženého betonu. V článku jsou diskutovány obavy a znepokojení týkající se pumpování lehkého vysokohodnotného betonu, rozsah zkušebního programu připraveného v souvislosti s výstavbou mostu Raftsundet a zpráva porovnávající výsledky realizovaných zkoušek s výsledky referenčních zkoušek prováděných během výstavby mostu z betonu normální váhy a lehkého betonu. | Pumping of lightweight concrete is traditionally not used as a means of placing lightweight concrete in Norway. For bridge construction, this procedure has not been permitted for placing high performance concrete due to the high absorption of expanded clay or shale lightweight aggregate normally used in Europe. The recently completed Raftsundet Bridge is a 711- meter long free cantilever concrete bridge spanning the Raftsundet Strait in northern Norway. The main span, with a total length of 298 m and a sailing height of 47 m, is constructed from high performance light weight concrete with a hardened density of 19.75 kN and a 28-day compressive strength of 60 MPa (LC60). In order to obtain permission to pump lightweight concrete for the Raftsundet Bridge, the contractor AS Anlegg developed an elaborate testing programme and documenting of concrete properties. The program was implemented in order to demonstrate that by using a rotary kiln expanded slate lightweight aggregate (LWA), high performance lightweight concrete could be pumped without any measurable adverse affect on concrete properties. This paper discusses the concerns regarding pumping of high performance lightweight concrete, outlines the testing programme developed for the Raftsundet Bridge and reports on results from a parallel testing of both normal weight and lightweight concrete performed during the period of construction.**

Most Raftsundet, pro veřejnost otevřený 6. listopadu 1998, je postaven v jedné z nejkrásnějších oblastí Norska, 300 km za Polárním kruhem. 711 m dlouhý most přes průliv Raftsundet umožňuje spojení silniční sítě na souostroví Lofoty se systémem státních silnic severního Norska, bez nutnosti použití ferry k překonání moře.

Geometrii mostu ukazuje obr. 1. Nosnou konstrukci tvoří spojitý monolitický letmo betonovaný komorový nosník, který podpírají tři štíhlé pilíře ve výšce 46 m. Čtyři rozpětí jsou dlouhá 86, 202, 298 a 125 m. Výška nosníku je více než 14 m nad podpěrami přilehlými k hlavnímu rozpětí a 3 m uprostřed hlavního pole. Střední 224 m dlouhá část hlavního 298m rozpětí je postavena z vysokohodnotného lehkého betonu (HPLWC) s hustotou 19,75 kN/m$^3$ a 28denní pevností 60 MPa (LC60). Betonáž hlavního rozpětí probíhala současně od obou pilířů ke středu rozpětí, aby byl průhyb vyložených dlouhých konzol co nejmenší. Zbytek superkonstrukce a pilíře jsou postaveny z betonu normální váhy o hustotě 24 kN/m$^3$ a 28denní pevnosti více než 65 MPa (C65).

Rozhodnutí o stavbě mostu vydal Norský úřad veřejné dopravy počátkem roku 1996. Stavět se začalo v květnu téhož roku a konstrukce byla dokončena dle plánu v říjnu 1998. V době dokončení představoval most nejdelší dokončenou konstrukci tohoto typu mostů na světě a poprvé v Evropě byla jako lehké kamenivo použita expandovaná břidlice. Most také představuje první významné použití čerpaného lehkého betonu v Norsku.

## LEHKÝ BETON

Ačkoliv je lehký beton koncem 20. století v některých částech světa, např. Severní Americe, čerpán naprosto běžně, v Norsku to bylo považováno pro vysokohodnotný beton (HPC) za nevhodné. Specifikace návrhu pro mosty na státních silnicích v Norsku zahrnovaly až do roku 1999 ustanovení: *„Lehký beton by neměl být čerpán“*. Návrhové specifikace rovněž vyžadovaly přísné kontroly vlhkosti lehkého kameniva během skládkování a specifické postupy zahrnující promíchání lehkého betonu před ukládáním.

Pro most Raftsundet preferoval dodavatel následující způsob distribuce betonu na superkonstrukci: věžové jeřáby umístěné u každého pilíře zvednou beton v bádii z přistaveného mixu na úroveň superkonstrukce a čerpáním bude dopraven až na místo uložení. Dodavatel byl přesvědčen, že při tomto způ-

Obr. 1

sobu distribuce a ukládky bude mít možnost lepší kontroly nad konečnou kvalitou betonu, zajistí jeho lepší uložení a ošetřování, než kdyby byl tradičně vypouštěn z bádií do stěn komorového nosníku místy až 14 m vysokých.

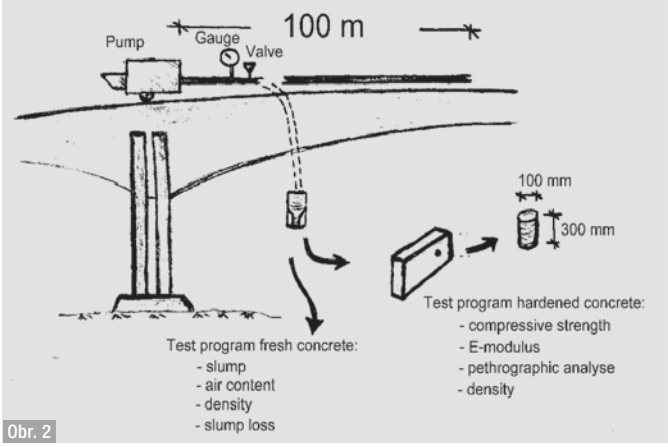
Použití předvlhčeného LWA materiálu s nízkou absorbcí umožnilo používat pro distribuci a ukládání lehkého betonu stejná zařízení a postupy jako v případě betonu normální váhy a nebylo nutné ani jeho dodatečné promíchávání bezprostředně před ukládáním. Použití uvedeného typu kameniva také významně zredukovalo potřebu jeho chráněného (pod střechou) skladování a přísných kontrol vlhkosti.

Aby dodavatel získal povolení zjednodušení procedur výroby LWC a souhlas s jeho čerpáním vyvinul speciální směs pro čerpatelný HPLWC, tab. 1, s použitím expandované břidlice jako lehkého kameniva LWA.

## ZKUŠEBNÍ PROGRAM

Existovaly obavy, že čerpání může narušit homogenitu směsi betonu a jakákoliv nerovnoměrnost může být později příčinou rozdílných výsledných tlakových pevností čerpaných a nečerpaných lehkých betonů. Pro posouzení možných nehomogenit byla zvolena metoda petrografického vyšetření vrstvičky na styku malty a lehkého kameniva před a po čerpání betonu. Aby se prokázalo, že čerpání LWA betonu na něj skutečně nemá žádný nežádoucí vliv, bylo zkušební čerpání provedeno ve skutečném měřítku, neboť povolení použití čerpání betonu v uvedeném projektu plně záviselo na prokazatelných výsledcích zkoušky.

Základní uspořádání zkoušky na obr. 2 ukazuje, že bylo použito běžné zařízení a postupy užívané při čerpaní betonu. Byla použita pumpa na beton Reed Multi M40 s různou délkou 5“ ocelových rour a 10 m dlouhá gumová hadice položená na dokončenou část mostovky. Takto byl dosažen doporučený sklon vedení 5 %. Vnější konec vedení byl osazen střižným ventilem, který může být během čerpání kdykoliv uzavřen, aby se tak simulovalo možné ucpání vedení. Taková situace způsobí, že na čerstvou betonovou směs sevřenou uvnitř vedení působí plný tlak, který je pumpa schopná vyvolat.




Obr. 2

Tab. 1 Složení čerstvého čerpatelného HPLWC betonu | Tab. 1 Mix design for a pumpable HPLWC

| Složka | Množství [kg/m3] |
|---|---|
| Cement Norcem HS65 | 430 |
| Silika fume | 23 |
| Jemné kamenivo NWA 0-8mm | 745 |
| Lehké kamenivo Stalite LWA ½“- 8 | 550 |
| Voda celkem | 175 |
| Plnivo Scancem P | 3,2 |
| Plastifikátor Scancem SP40 | 4 |
| Provzdušňovač Scancem (L) M | 0,5 |

Lehký beton byl dávkován, zkoušen a přepravován na staveniště mostu běžným způsobem. V okamžiku příjezdu k pumpě byl cca 30 min starý beton vyzkoušen na sednutí kužele, obsah vzduchu a hustotu směsi. Mix mezitím pokračoval do krytého skladu, kde bylo postaveno bednění referenční „stěny“ ($l$ x $h$ x $š$ = 1,5 x 1 x 0,4 m), do kterého byla uložena část betonu standardním způsobem, aby se získaly srovnávací hodnoty tekutosti a konečných charakteristik lehkého betonu. Jádrové vývrty připravené z tohoto bloku byly později odzkoušeny jako referenční vzorky nepumpovaného betonu na pevnost a hustotu tvrdé, vyzrálé směsi.

Po návratu mixu k pumpě byl beton čerpán běžnou rychlostí a tlakem. Během čerpání byla vyzkoušena simulace ucpání vedení zavřením koncového ventilu a působením na beton tlakem 100 bar po dobu 5 min. V tu dobu byl beton starý cca 1 h.

Po uvolnění ventilu bylo na konci vedení opět vyzkoušeno sednutí kužele, obsah vzduchu a hustota čerstvého betonu. Poté pokračovalo čerpání betonu pod normálním tlakem gumovou 5“ tlustou a 10 m dlouhou hadicí přes hranu mostovky do násypky na beton, která byla zavěšena pod mostem. Beton byl poté přenesen pod přístřešek, kde byl uložen do další „stěnové“ sekce, kde reprezentoval materiál zatížený během čerpání silným tlakem.

Zhruba 2,5 h poté, co beton opustil betonárnu, bylo k pumpě připojeno vedení dlouhé 100 m a zbývajících 5 m$^3$ lehkého betonu bylo za normálního tlaku přečerpáno. Sednutí, hustota ani obsah vzduchu nebyly v této fázi zkoušeny. Během všech fází zkoušky byly odebírány vzorky betonu pro zkušební krychle a válce k měření hustoty ztvrdlého betonu, tlakové pevnosti, modulu pružnosti a petrografickým zkouškám (kontaktní vrstvy malty a kameniva). Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tab. 2.

## Vzorky betonu a zkoušení

Všechen beton pro stavbu mostu byl vyráběn v nezávislé betonárně stojící v malé vesnici cca 20 km západně od staveniště a byl přivážen autodomíchávači.

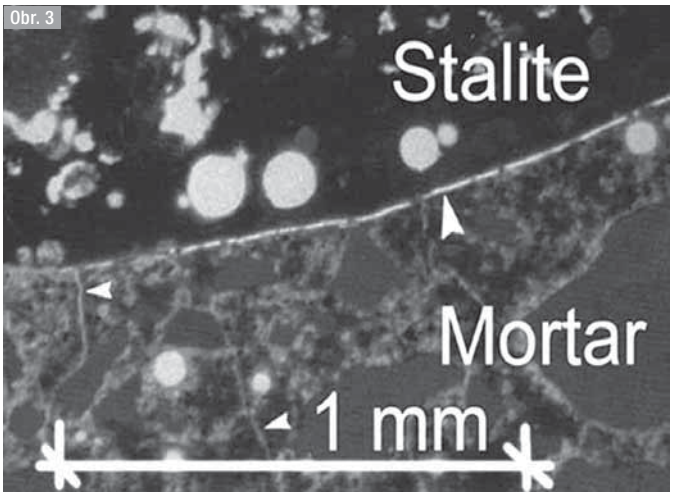
Program zkoušek zaměřený na ověření možností čerpání betonu stejně jako všechny ostatní zkoušky spojené s výrobou betonu byly realizovány v laboratořích dodavatele. Byly

Tab. 2 Porovnání vlastností čerpaného, zablokovaného a nečerpaného betonu | Tab. 2 Comparisons of features of pumped concrete, blocked concrete and unpumped concrete

| Stáří betonu [d] | Hustota [kN/m$^3$] | | | Krychelná tlaková pevnost [MPa] | | | | Modul pružnosti [GPa] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| čerstvý beton | 20,06 | 20,11 | 19,92 | | | | | | | |
| 2 | 19,83 | 19,93 | 19,94 | 35,6 | 37,4 | 35,6 | | | | |
| 3 | 19,88 | 20 | 19,82 | 46,4 | 48,8 | 47,1 | | | | |
| 7 | 19,83 | 20,06 | 19,9 | 57,5 | 57 | 61 | | | | |
| 14 | 19,9 | 19,96 | 19,87 | 66,9 | 67,8 | 65,5 | | | | |
| 28 | 19,82 | 20,06 | 19,92 | 73,5 | 75,8 | 71 | 66 | 24,4 | 24,5 | 23 |

Poměr válec/krychle = 0,93
1 – čerpaný beton; 2 – blokovaná; 3 – nečerpaný beton

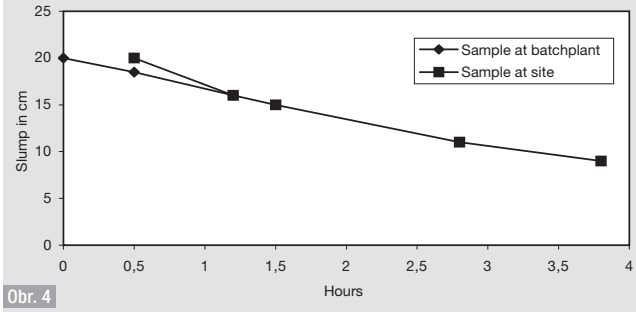
Obr. 3



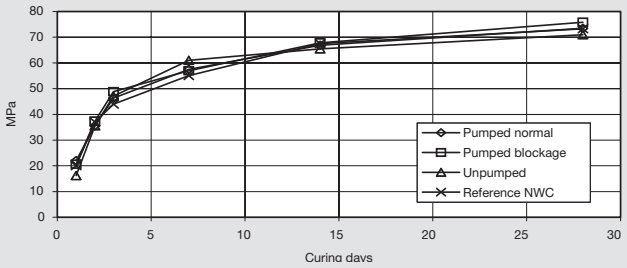

Obr. 1 Most Raftsundet, poslední segment konstrukce 298 m dlouhého hlavního rozpětí | Fig. 1 Raftsundet Bridge, final segment of the construction of the 298m long main span, construction proceeded simultaneously from both sides in order to minimize deflection prior to „mating“

Obr. 2 Uspořádání zkoušek čerpání betonu a odběr vzorků | Fig. 2 General layout of rig for pumping trials

Obr. 3 Výřez z fotografie tenkého vzorku podrobeného petrografické analýze, šipky ukazují na drobné mikrotrhliny, kruhové objekty v cementové matrici jsou vzduchové bubliny, světlé plochy v kamenivu jsou mikropóry | Fig. 3 Segment of thin section photography from petrographic analysis showing interface of Stalite particle (upper half) and sand/cement matrix, arrows indicate micro cracks, spherical objects in matrix are entrained air bubbles; light areas in Stalite particle are microcells




Obr. 4




Obr. 5

Tab. 3 Výsledky zkoušek betonů (NWC a LWC) z období výstavby listopad 1997 až únor 1998 | Tab. 3 Test results (NWC and LWC) for the construction period from November 1997 to February 1998

| Sledovaná charakteristika | | Stáří [d] | Druh betonu | |
|---|---|---|---|---|
| | | | NWC C65 | LWC LC60 |
| Tlaková pevnost | Počet zkoušek *n* | 28 | 68 | 68 |
| | Průměrná hodnota *x* [MPa] | | 71,9 | 65,9 |
| | Statistická odchylka *s* [MPa] | | 5,8 | 3,7 |
| Modul pružnosti *E* | Počet zkoušek *n* | 28 | 4 | 4 |
| | Průměrná hodnota *x* [GPa] | | 27,5 | 23,5 |
| | Statistická odchylka *s* [GPa] | | 4,1 | 1,1 |
| Hustota | Počet zkoušek *n* | 28 | 36 | 36 |
| | Průměrná hodnota *x* [kN/m³] | | 24,63 | 19,32 |
| | Statistická odchylka *s* [kN/m³] | | 0,28 | 0,3 |
| Obsah vzduchu | Počet zkoušek *n* | – | 70 | 65 |
| | Průměrná hodnota *x* | | 4 | 4,4 |
| | Stat. odchylka *s* | | 0,6 | 0,7 |

zkoušeny vlastnosti čerstvého betonu a měřena tlaková pevnost a hustota na krychlích ztvrdlého betonu o hraně 100 mm. Všechny zkoušky válcových vzorků byly uskutečněny v nezávislé zkušební laboratoři v Narvik Technical High School v blízkém Narviku. Zahrnovaly stanovení poměru pevností betonu v tlaku měřených na válcích a krychlích z čerpaného a nečerpaného betonu a určení modulu pružnosti *E* na všech typech vzorků, na jádrových vývrtech (rozměry standardních válcových zkušebních vzorků) z připravených zkušebních betonových bloků byla také měřena pevnost betonu v tlaku a určen modul pružnosti *E*. Ve výzkumném centru SINTEF v norském Trondheimu byla petrograficky analyzována kontaktní vrstva lehkého kameniva a cementové malty. Byly vyšetřeny tenké řezy z vzorků čerpaného betonu pro posouzení případného negativního vlivu čerpání na vnitřní strukturu lehkého betonu. Obr. 3 ukazuje výřez z typického tenkého řezu zkušebního vzorku s přechodem fází lehké kamenivo – cementová malta. Šipky ukazují na mikrotrhliny v maltové matrici a v kontaktní zóně lehké kamenivo – malta.

Zkouška čerpání realizovaná ve skutečném měřítku prokázala, že lehký beton je beze všech pochybností plně čerpatelný. Beton byl stabilní a robustní a jak je vidět z obr. 4, nepotřeboval beton s lehkým kamenivem před uložením dodatečné promíchání a vykazoval přijatelnou úroveň sednutí ještě dlouho po namíchání (2,5 h). Jak je vidět z tab. 2 a obr. 5, variabilita hodnot hustoty a tlakové pevnosti betonu mezi čerpaným a nečerpaným materiálem je velmi malá a nevýznamná. Za povšimnutí stojí, že hodnoty veličin naměřené na čerpaném betonu, který byl ještě podroben simulovanému ucpání potrubí, a byl tedy vystaven vysokému tlaku, jsou stejné nebo dokonce vyšší než hodnoty naměřené na betonu, který nebyl čerpán.

Zpráva o petrografické analýze vzorků čerpaného betonu zpracovaná výzkumným centrem SINTEF uvádí, že na analyzovaných vzorcích nebyly shledány negativní projevy čerpání materiálu. Beton vzorků byl homogenní, nebyly registrovány žádné důsledky krvácení betonu (hnízda kameniva bez cementové malty), či větší množství vzduchových pórů na rozhraní LWA – malta. Počet a povaha mikrotrhlin pozorovaných na vzorcích ukazovaly jen nevýznamné rozdíly mezi čerpaným a nečerpaným betonem bez nějakých souvislostí.

## Výsledky zkoušek

Během výstavby mostu Raftsundet odebral dodavatel pro zkoušky materiálu v rámci jeho přejímacích kontrol a pro celkovou dokumentaci kvality použitého betonu více než šest set vzorků. Vzorky byly odebírány z betonů normální váhy i z betonů s použitím lehkého kameniva před vstupem do čerpadla, takže bylo možno srovnávat oba betony za stejných fyzikálních podmínek.

Výsledky zkoušek betonů z období výstavby listopad 1997 až únor 1998, tab. 3, ukazují, že vysokohodnotný lehký beton vyrobený z předvlhčeného lehkého kameniva Stalite může být vyráběn a ukládán stejnými postupy za stejných obecných podmínek jako beton normální váhy. Obecné zkoušky výroby betonu potvrdily, že beton používaný na stavbě mostu Raftsundet mohl být čerpán na vzdálenost delší než 100 m bez významnějšího poklesu výsledné pevnosti. Beton nevykazoval ani negativní následky náhlých rychlých nárůstů tlaku v dosažených hodnotách hustoty, tlakové pevnosti a modulu pružnosti. Tlakové vlny byly způsobeny zkouškami možného ucpání a zablokování potrubí.

## ZÁVĚR

LWA beton se ukázal jako velmi stabilní, ve většině sledovaných charakteristik (hustota čerstvého a tvrdého betonu, obsah vzduchu, sednutí kužele, tlaková pevnost betonu a modul pružnosti) s nižšími odchylkami od průměrných hodnot než beton normální váhy používaný na projektu, a tedy vhodný k čerpání. Autoři doufají, že výsledky rozsáhlého experimentálního programu uskutečněného před a během realizace významné konstrukce přispějí k demystifikaci HPLWC jako konstrukčního materiálu.

Jan-Eirik Nilsskog, AS Anlegg, Trondheim, Norway
Rolf Valum, Polkonsult AS, Tromsoe, Norway
Kenneth S. Harmon, Carolina Stalite Company, Salisbury, NC

Obr. 6

Obr. 7


Literatura:

[1] *Hoff G. C., Valum R., Weng J. K., Nunez R. E.*: (1995) "The use of Structural Light Weight Aggregate in Offshore Concrete Platforms." Proc. Inter. Symp. on High Strength/High Performance Concrete. Sandefjord, Norway

[2] *Hoff G. C.*: (1992) High Strength Lightweight Aggregate Concrete for Arctic Applications, Sp- 136, Structural Lightweight Aggregate Concrete performance, ACI, Detroit USA


| | |
|---|---|
| Klient | Norwegian Public Road Dept., Nordland Road Office |
| Architektonický návrh | Boarch Arkitekter AS, Bodö, Norsko |
| Projekt konstrukce | Dr. Ing. A. Aas-Jakobsen AS, Oslo, Norsko |
| Dodavatel | Anless AS, Trondheim, Norsko |
| Realizace | počátek roku 1996 až říjen 1998 |

Obr. 4 Změna poklesu kužele referenčního nečerpaného betonu při zkouškách čerpání, pomalu a postupně klesající křivka je způsobena účinkem zpožďovače tuhnutí na bázi lignosulfátu, během betonáže v chladném počasí byla část lignosulfátu nahrazena melaminovými nebo naftalénovými příměsmi | Fig. 4 Slump loss in non-pumped concrete used in pumping trials. The slow and gradually declining curve is a consequence of the retarding effect of lignosulphonate based admixtures. During cold weather concreteing, part of the lignosulphonates was replaced by melamine or naphtalene based admixtures

Obr. 5 Porovnání vývoje tlakové pevnosti lehkého betonu a betonu běžné váhy čerpaných během experimentů za standardních tlakových podmínek | Fig. 5 Strength development of LWA concrete used at the pumping trial and NW concrete pumped at normal pressure

Obr. 6 Dokončený most Raftsundet | Fig. 6 Completed Raftsundet bridge

Obr. 7 Výstavba pilíře mostu Sundøy s použitím samošplhacího bednění | Fig. 7 Sundøy bridge, pier building by usage self-climbing forms

## MOST SUNDØY

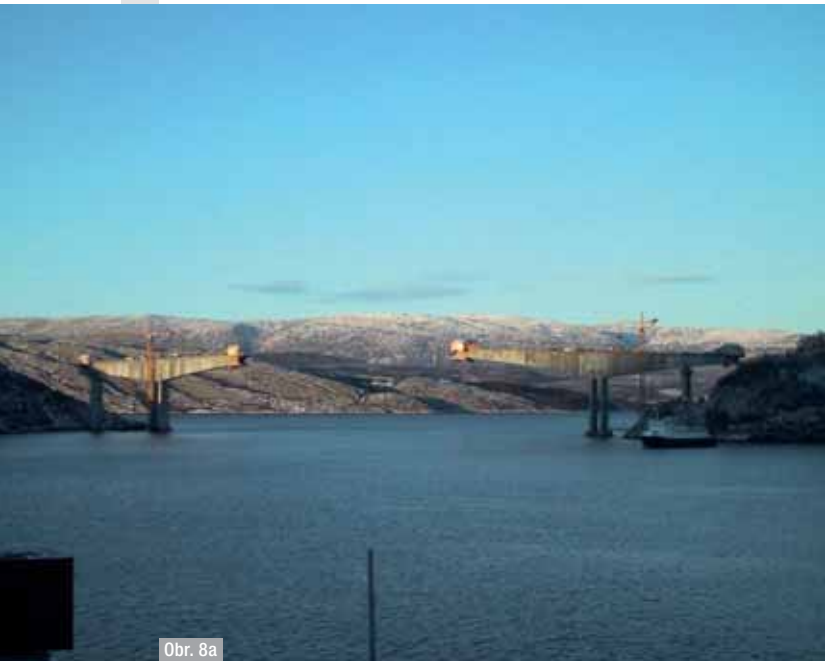
Na základě zkušeností získaných během výstavby mostu Raftsundet přistoupila norská administrativa v roce 1999 k zahájení projektu výstavby mostu Sundøy, který spojuje vesnici Sundøya na ostrově Alsta s pevninou v kraji Norland. Stavba opět probíhala ve velmi náročných klimatických podmínkách v blízkosti polárního kruhu.

### Konstrukce

538 m dlouhý, letmo betonovaný most má tři pole s hlavním délky 298 m. Pod mostem bylo třeba zajistit (i během výstavby) plavební kanál výšky 43,5 m v šířce 80 m. Hlavní pole bylo opět navrženo z lehkého vysokopevnostního betonu LC60 a obě boční pole z vysokopevnostního betonu běžné hustoty C65.

Nosnou konstrukci mostu tvoří jednokomorový spojitý nosník proměnné výšky, široký 10,3 m, spodní konstrukci dvě dvojice ohybově poddajných štíhlých pilířů založených na skalním podloží v hloubce – 16, resp. – 19 m. Rozměry základů jsou 9 x 14 m. Dilatační spáry jsou na obou opěrách.

Během projektu, tohoto jednoho z nejdelších letmobetonovaných mostů na světě, bylo analyzováno použití betonu běžné hustoty a betonu s užitím lehkého kameniva (Stalite). Protože délky bočních polí byly omezeny, na straně Dagsviku to bylo dáno terénem vynuceným trasováním silnice a na straně Sundoy topografií skalního povrchu vhodného k umístění


Obr. 8a

Obr. 8b

Obr. 9a

Obr. 9b

Obr. 9c

základu pilíře, bylo použití lehkého vysokopevnostního betonu LC60 pro dlouhé hlavní pole vyhodnoceno jako optimální. Srovnání s použitím vysokopevnostního betonu běžné hustoty C65 ukázalo, že bude ušetřeno 2,5 mil NOK.

## Výstavba

Podrobný projekt konstrukce byl zpracován s uvážením technologických postupů pro jednotlivé fáze výstavby:

- základy byly betonovány pod ochranou prefabrikovaných kesonů (ochrana kesony byla nutná vzhledem k silným slapovým proudům u dna mořské úžiny),
- pro betonáž pilířů bylo použito samošplhací bednění, obr. 7,
- konzoly hlavní konstrukce byly betonovány po lamelách proměnné délky (max 5 m), obr. 8.

Pro zajištění stability konstrukce během stavby (pilíře se dvěma různě těžkými konzolami) byly použity dočasné podpůrné pilíře.

Cena mostu dosáhla 176 mil NOK. Most byl otevřen pro veřejnost 9. srpna 2003.

Zdroj: ***www.aas-jakobsen.no***

doplnění článku připravila Jana Margoldová

Úvodní fotografie: Wikimedia Commons, March 2007, author Janter, fotografie 1 až 8 Jan-Eirik Nilsskog

| | |
|---|---|
| Klient | Norwegian Public Road Administration |
| Projekt konstrukce | Dr. Ing. A. Aas-Jakobsen AS, Oslo, Norsko |
| Realizace projektu | počátek roku 1999 až srpen 2003 |

Obr. 8 Betonáž konzol po lamelách, a) listopad 2002, b) únor 2003 | Fig. 8 Casting of cantilever segments, a) November 2002, b) February 2003

Obr. 9 a) Vypouštění HPLWC z autodomíchávače do badie, b) vypouštění betonu z badie do násypky pumpy c) ukládání betonu v chráněném betonážním vozíku | Fig. 9 Filling skip by HPLWC from truck mixer, b) pouring out the skip into the hopper of pump, c) concrete works in a sheltered cantilever segment formwork