

TECHNOLOGIE VÝSTAVBY NORSKÉHO MOSTU HALLEVANNETBRUA ■ CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF THE NORWEGIAN HALLEVANNETBRUA BRIDGE



1

Michal Kunc

Most Hallevannetbrua je součástí železničního koridoru převádějícího trať přes vodní nádrž Vassbotnvannet mezi městy Larvik (kraj Vestfold) a Porsgrunn (kraj Telemark). Mostní konstrukce je zhotovena z dvoukomorového nosníku o pěti polích s celkovou délkou 423,6 m. Most má jednu konstrukci pro oba směry – dvě tratě. Článek popisuje různé technologie použité při výstavbě, jejich výhody a nevýhody a technické problémy spojené s prováděním prací za daných podmínek. ■ Hallevannetbrua bridge is part of a railway corridor, which leads the railway route through the Vassbotnvannet water reservoir, between the cities of Larvik (Vestfold region) and Porsgrunn (Telemark region). The bridge structure consists of a bicameral beam with 5 spans at a total length of 423.6 meters. The bridge has a single structure for both directions – two tracks. The article describes various technologies used during construction, their advantages and disadvantages and technical issues, associated with the implementation of works under set circumstances.

Projekt UFP zahrnuje výstavbu nového železničního koridoru o dvou tratích mezi městy Larvik a Porsgrunn (obr. 2) rozdělenou do čtyř částí – nezávislých projektů realizovaných různými zhotoviteli. Úsek UFP 01 – Vestfold realizovaný firmou Skanska Norge se skládá z výstav-

by osmi mostů, třech tunelů a úpravy přilehlých místních komunikací. Z tohoto objemu prací realizuje Skanska, a. s., čtyři mosty, dva tunely a dvě opěrné stěny. Projekt bude dokončen v srpnu 2016 a do provozu bude uveden v létě 2018. Celková cena přesáhne 1,5 mld. NOK. Trať je dimenzována na maximální rychlost 250 km/h.

Most Hallevannetbrua (obr. 1), který je předmětem článku, přemostuje trasu železnice přes vodní nádrž Vassbotnvannet, která slouží jako rezervní zdroj pitné vody pro velkou část kraje Vestfold. Z tohoto důvodu byl kladen velký důraz na dodržení přísných ekologických podmínek a nařízení. Každý rok probíhala ve spolupráci se záchranými složkami cvičení zaměřená na bezpečnost a ekologii v průběhu výstavby.

TECHNICKÝ POPIS

Mostní konstrukce Hallevannetbrua je tvořena dvoukomorovým nosníkem o pěti polích 47,9 + 83,3 + 166,5 + 83,3 + 43,6 m s celkovou délkou 423,6 m a výškou 33,7 m nad hladinou (obr. 3a). Most má jednu konstrukci pro oba směry – dvě tratě. Celý most je zhotoven z vysokopevnostního betonu třídy B65. Zbytek projektu byl realizován z betonu B45 s různými úpravami (přidání popílku, nehořlavých vláken aj.)

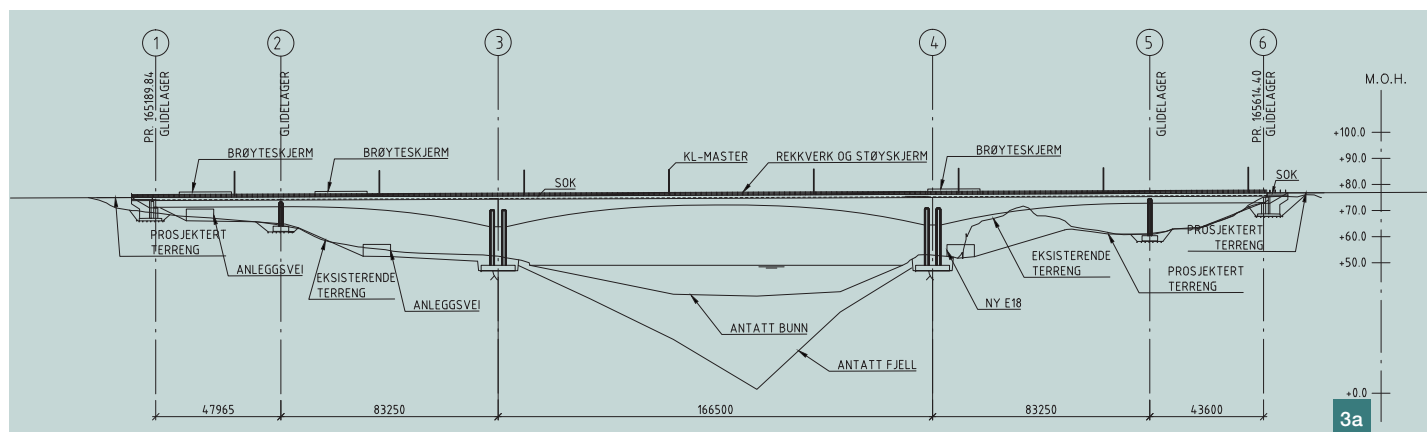


2

Založení a spodní stavba

Vzhledem ke skalnatému podloží je téměř celý most založen plošně. Pouze základ pilíře P4 je po změně v průběhu výstavby z důvodu měkkého podloží opatřen v jedné třetině plochy 28 kusy vrtaných pilot o průměru 150 mm proměnné délky 2 až 6,5 m (obr. 4). Zdvojené pilíře P3 a P4 mají základy o rozměrech 13 x 16 x 2 m o objemu 416 m³ betonu a 120 t výztuže. Tyto základy jsou dodatečně připínány k podkladu. Základy pod jednoduchými pilíři P2 a P5 mají rozměry 4,5 x 12 x 2 m.

Opěry OP1 a OP6 mají jednoduchý obdélníkový tvar. Pilíře jsou rozděleny do třech betonážních taktů, každý o výšce cca 5 m, v příčném směru mají obloukové zakřivení s poloměrem 81,041 m. Na opěrách OP1 a OP6 a pilířích P2 a P5 jsou osazena ložiska, spojení pilířů P3 a P4 s nosnou konstrukcí je řešeno vetknutím.



Obr. 1 Celkový pohled na most Hallevannetbrua ■ Fig. 1 Overall view of the Hallevannetbrua bridge

Obr. 2 Situační mapa projektu UFP ■ Fig. 2 Site map of project UFP

Obr. 3 a) Podélný řez mostem, b) příčný řez ■ Fig. 3 a) Longitudinal section, b) cross section

Obr. 4 Piloty v základě P4 ■ Fig. 4 Piles at the foundation P4

Nosná konstrukce

Nosná konstrukce dvoukomorového průřezu se směrovým poloměrem oblouku 4004,7 m přecházejícím v přechodnici 262 m je rozdělena do pěti polí. V podélném směru má most konstantní sklon 4,05 %.

Krajní pole mají délku 47,9 a 43,6 m. Výška komory krajních polí je konstantní 2,8 m. Předpínací kanálky jsou vedeny ve spodní desce a stěnách, u pilíře P2 a P5 pak vystupují z horní desky deviatory pro kabely spojitosti. Krajní pole má objem cca 830 m³ betonu B65 SV40 a 260 t armovací výztuže.

Nad pilíři P3 a P4 jsou masivní zárodky o objemu 660 m³ betonu a 340 t výztuže. Jednotlivé lamely vahadla mají shodnou délku záběru 4 m, ale rozdílnou výšku od 10,8 m v první lamelě do 2,8 m v lamelě poslední (obr. 3b). Zárodek samotný není předepnutý, probíhá jím pouze volné kanálky pro připnutí jednotlivých párů lamel. Osová vzdálenost mezi středními pilíři P3 a P4 činí 166,5 m.

Příslušenství

Po celé délce mostu jsou zhotoveny nízké krajní římsy šířky 0,4 m a výšky 0,46 m, které budou opatřeny zábradlím výšky 1,2 m. Ve vzdálenosti 1,6 m od římsy se souběžně realizovaly opěrné zdi o výšce 0,9 m, které vymezují šterkové lože železničního tělesa. Na ně by-

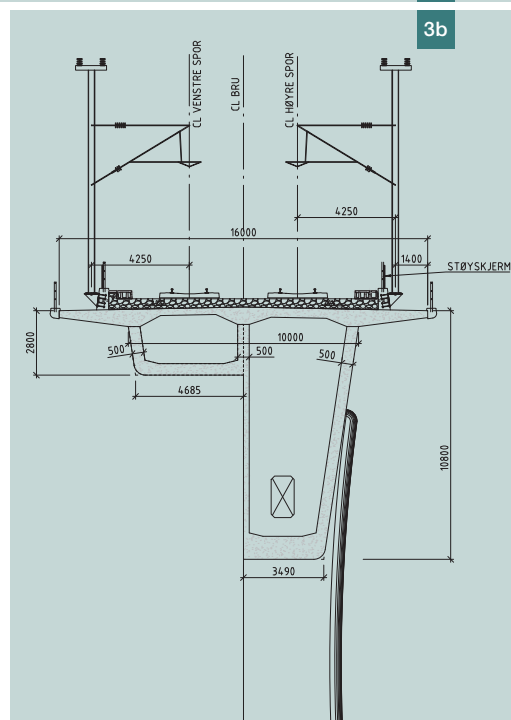
ly následně umístěny protihlukové stěny a sloupy trakčního vedení. Dilatační závěry jsou řešeny pomocí vzájemně se překrývajících ocelových plátů.

Vlastnosti betonu

Celý most Hallevannetbrua byl zhotoven z vysokopevnostního betonu B65 SV40 (značeno dle norských standardů, C65/80 dle evropského značení), tzn. že válcová pevnost v tlaku po 28 dnech byla 65 MPa a krychelná 80 MPa. Kontrolní zkušební tělesa byla odebírána v betonárně i na stavbě, kde zrála po dobu 28 dnů ve vodní lázni o teplotě cca 20 °C. Dle norských předpisů je maximální povolený vodní součinitel $w = 0,4$. V tomto případě bylo na základě testů a konzultací specialistů realizační firmy a dodavatele betonu stanoveno, že pro požadované konstrukce (masivní základy a zárodky, subtilní pilíře a stěny komor) a dané parametry (včasné dosažení pevnosti, navrhovaná rychlost vlaku) bude maximální vodní součinitel $w = 0,36$.

V různých konstrukcích bylo též použito rozdílné procentuální zastoupení popílku ve směsi tak, aby se zabránilo nárůstu hydratačního tepla nad 65 °C, což by mělo za následek vznik nadměrného množství trhlin. Průběh betonáže za nízkých i vysokých teplot má však vlivem nahrazení až 30 % cementu popílkem a dodržení hydratačního tepla svoji úskalí. Maximální teplota vody do směsi byla stanovena na 22 °C v zimním období, v letním pak na 10 °C. Po každé betonáži bylo nutno ošetřit čerstvý beton membránovým postřikem, v tomto případě Pieri® Curing Clear, a přikrýt jej fólií. V zimě bylo ošetření doplněno o přidání vrstvy odlehčené pěnové polyetylenové izolace (Mirelon) a vyhřívání pomocí dieselových topidel.

Všechny ostatní konstrukce na projektu byly realizovány za použití betonu



B45 SV45 (evropské značení C45/55), který měl dle umístění mírné úpravy receptury – v případě tunelů ohnivzdorná vlákna, u portálů a přesypaných přechodů pro zvěř samozhutnitelná varianta (SCC – Self Compacting Concrete), popř. obojí.

V samozhutnitelné nehořlavé variantě bylo použito na 1 m³ betonu 1 kg vláken. K použití takto upravených betonů došlo v Norsku poprvé na tomto pro-



5a



5b



jektu, což vedlo ke spoustě překvapení a nečekaným komplikacím. Začátek tuhnutí této směsi se posunul až o několik hodin, to vedlo k problémům u větších/vyšších konstrukcí, kdy se betonáž protáhla až na 36 h a tlaky na bednění dosáhly krajních limitů bednění. Na problémy s tím spojené zatím nebylo nalezeno řádné řešení, ale některé komplikace byly odstraněny použitím urychlovačů tuhnutí betonu.

TECHNOLOGIE A POSTUP VÝSTAVBY

Založení a spodní stavba

Všechny základy byly realizovány na podkladní beton o tloušťce 0,1 m. Jako bednění byly použity velkoformátové dílce Manto, které je díky velké škále rozměrů možné sestavit bez použití jakýchkoliv nesystémových dílců. Pod pilířem P4 bylo do podkladního betonu před realizací samotného základu umístěno 28 kusů vrtaných pilot z tlustostěnných trubek. Tyto piloty byly zkráceny na výslednou výšku cca 0,6 m nad podkladní beton a následně byly předepnuty.

Betonáž pilířů probíhala pomocí šplhacího bednění MF240 a jednoduchých velkoplošných panelů zhotovených s použitím nosníků H20. I přes obloukové zakřivení pilířů byly tyto panely navrženy pro opakované použití na všech pilířích, čímž se dosáhlo snížení časové i finanční náročnosti. Navzdory nadprůměrnému vyztužení (v obloucích byly tři řady prutů Ø 32 mm délky až 7 m) byl realizován každý takt výšky 5 m v průměru za 18 pracovních dnů na zdvojených pilí-

řích a za 10 dnů u pilířů jednoduchých (obr. 5a,b).

Opěry OP1 a OP6 s vnitřním obdélníkovým otvorem před závěrnou zídou a většími podložiskovými bločky byly zhotoveny opět pomocí velkoformátových dílců Manto.

Nosná konstrukce

Krajní pole jsou zhotovena na pevné skruži z věží MTP 100 a ocelových nosníků I500 s bedněním a přesahem 4 m za osu pilíře. Navzdory větší váze věží MTP 100 je jejich výhoda v nosnosti, rychlé montáži a za použití dostupné mechanizace i snadné manipulaci. Kvůli použité technologii výstavby bednění je komora v krajních polích rozdělena na dva pracovní celky – spodní deska se střední stěnou jako první takt a horní deska jako takt druhý. V horní desce byly ponechány dva otvory, v každé komoře jeden, o velikosti 4 × 1 m pro pozdější vyjmutí jednotlivých částí betonážního vozíku. Z důvodů absence blokace ložisek na opěrách i pilířích byly do závěrné zídky osazeny DWG tyče Ø 36 mm, které jsou zabetonovány v příčnicích nosné konstrukce. Tyto tyče byly odstraněny po spojení krajních polí s vahadly.

Pro realizaci masivních zárodků muselo dojít ke změně projektové dokumentace. Jejich váha přes 1700 t nedovolovala betonáž v jednom taktu. Po konzultaci s projektantem došlo k jejich rozdělení na tři části: spodní deska, stěna, horní deska. Pod spodní desku byla opět postavena podpěrná skruž s věží MTP 100, která zůstala na místě až do dokončení poslední části – horní desky. Bednění stěn a skruž pro

bednění horní desky byla realizována stejným systémem (kombinace rámmů Staxo a d2, nosníků H20 a paždíků WS10). Zárodky nejsou předepnuty, pouze horní deska obsahuje volné kanálky pro vedení předpínacích lan jednotlivých lamel.

Po zhotovení zárodků a odstranění podpěrné skruže byla zahájena montáž a osazení betonážních vozíků NRS (obr. 6 a 7), které proběhly za pomoci věžového jeřábu u každého pilíře a dvou mobilních jeřábů.

U pilíře P3 proběhla montáž a osazení vozíku za pomoci dvou mobilních jeřábů o nosnosti 100 t každého z nich. U pilíře P4 bylo vzhledem ke složitějším poměrům potřeba použít jeřáb s větším dosahem a nosností, proto byly použity dva jeřáby o nosnosti 80 a 250 t. Díky předmontáži některých dílců ještě na zemi trvala montáž prvního páru betonážních vozíků deset dnů, osazení druhého již jen osm dnů.

Z důvodu velkého zatížení vyvozeného vysokými stěnami prvních dvou párů lamel (10,8 a 9,9 m) probíhala jejich betonáž vždy ve dvou fázích – spodní podlaha a následně stěny s horní deskou. Realizace těchto lamel byla náročnější a jejich zhotovení tak trvalo 18 pracovních dnů. Od třetího páru lamel probíhala betonáž v jednom taktu, s krátkou cca dvouhodinovou technologickou pauzou pro zatuhnutí betonu ve spodní desce, a hned poté byla zahájena betonáž stěn a horní desky.

Díky vysokopevnostnímu betonu B65 SV40 se daly v letním období provádět předpínací práce již po 20 h, v zimním období za venkovních teplot ojedinele

6a



i přes $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pak probíhaly předpínací práce po 48 h. Předpínací kanálky byly injektovány pouze při kladných teplotách konstrukce i okolního vzduchu. Předpínání bylo povoleno na základě odečtu vývoje teploty v betonu ze zabudovaných čidel a pomocí simulace v programu CrackTeSt COIN, z kterých se určila pevnost betonu v čase předpínání.

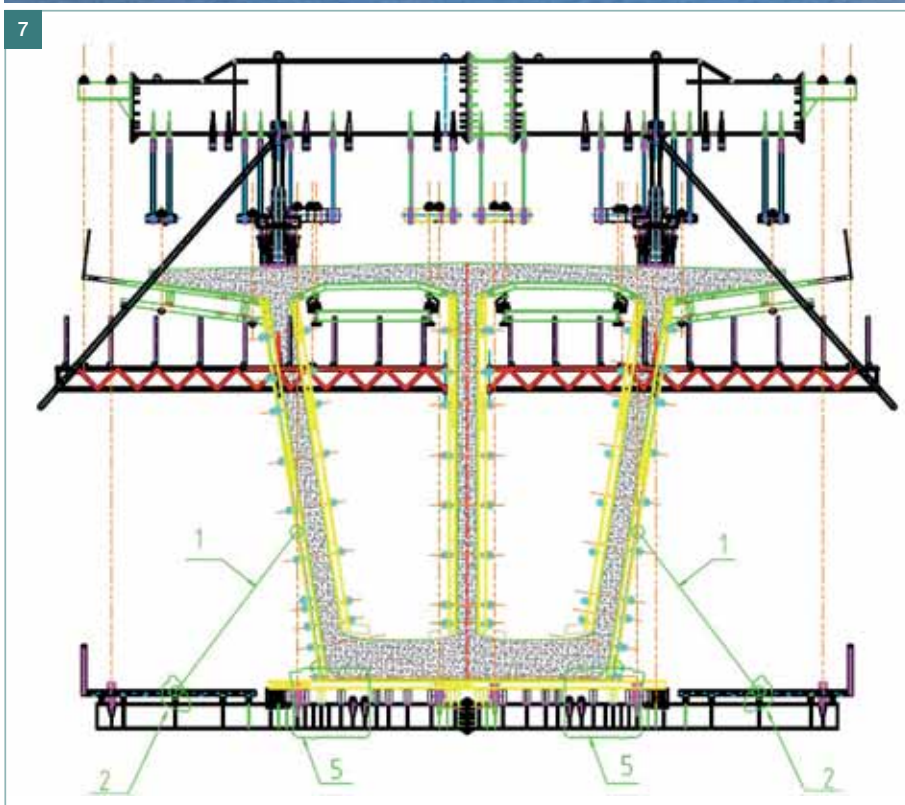
Průměrná délka doby výstavby jednoho taktu i s technologickou pauzou před předpínáním byla 11 pracovních dnů.

Po dokončení obou vahadel došlo ke spojení jednotlivých částí nosné konstrukce mostu. Nejprve se dle požadavku projektanta rozezpěla obě vahadla. Pro tuto operaci byl navržen

6b



7



Obr. 5 a) Letecký pohled na krajní pole a vahadlo P3, b) pilíř P3 ■ Fig. 5 a) Aerial view of the edge span and cantilever P3 b) pier P3

Obr. 6 a) Vahadlo na pilíři P4 – příprava lamely 5, b) vahadla P4 a P3 v různém stádiu dokončení ■ Fig. 6 a) Cantilever on the pier P4 – preparation of the 5th section, b) cantilever P4 and P3 at different stages of completion

Obr. 7 Betonážní vozík NRS ■ Fig. 7 NRS formwork traveller

Obr. 8 Rozpínání vahadel ■ Fig. 8 Bracing of the cantilevers

8



a zhotoven speciální přípravek z osmi silnostěnných trubek a soustavy hydraulických lisů (každý o nosnosti 250 t), který byl směrově i výškově zafixován v koncových lamelách středního pole (obr. 8). Tím se do konstrukce vnesla síla 6 500 kN a došlo k oddálení vahadel o cca 25 mm ve středním poli a k jejich nadzvednutí o cca 20 mm. Vnesení těchto sil má dle projektanta eliminovat vlivy finálního předpětí kabelů spojitosti, teplotní roztažnost konstrukce a momenty v základech způsobené zemními kotvami. Po vnesení sil proběhlo spojení krajních polí s příslušným vahadlem, částečné napnutí kabelů spojitosti a následná betonáž střední spojovací lamely (obr. 9). Jako poslední krok byl odstraněn přípravek pro rozepření a došlo k couvání betonážního vozíku zpět k pilíři, kde proběhlo jeho spuštění a demontáž.

Příslušenství

Pro realizaci říms byla zvolena technologie systémového bednicího římsového T vozíku v počtu čtyři a tři vozíky na každé straně mostovky. Z důvodů rozdělení říms na dilatační takty o délce 16 m byl zvolen postup betonáže ob jeden takt (obr. 10). Konstrukce římsového vozíku byla konstruktéry mírně upravena. Změna spočívala v přidání závěsného systému na výložník římsového vozíku T, čímž mělo dojít k zjednodušenému přesunu celého bednění a úspoře času. Vzhledem k dodatečné změně v kotvení protihlukové stěny a sloupů trakčního



Obr. 9 Spojovací lamela
 ■ Fig. 9 Coupling section

Obr. 10 Betonáž říms na vozíku ■
 Fig. 10 Pouring of ledges on a formwork traveller

Obr. 11 Most Hallevannetbrua: a) pohled od pilíře P5, b) pohled od pilíře P4
 ■ Fig. 11 Hallevannetbrua bridge: a) view from pier P5, b) view from pier P4

Tab. 1 Technické parametry ■
 Tab. 1 Technical parameters

Předpínací výztuže (délka / váha)	22 666 m / 350 t
Množství výztuže (začátek / konec projektu)	2 210 t / 3 450 t
Délka výstavby	32 měsíců

vedení však toto vylepšení nešlo použít a bylo nutno se vrátit k rozdělným přesunům a betonážím. Výsledné zpoždění však nebylo větší než jeden týden.

ZÁVĚR

Most Hallevannetbrua tvoří hlavní viditelnou dominantu celého projektu (obr. 11a,b). Je zajímavý svým technickým řešením (rozpětí středního pole a velikost zárodků), klimatickými a geografickými podmínkami, ale i významnými změnami projektové dokumentace v průběhu realizace stavby (objem výztuže v celém objektu byl postupně navýšen až o 56 %). Zvolená technologie umožňuje výstavbu dvou lamel o celkové délce 8 m v průměru za 10 pracovních dnů. Vlastnosti upravených betonů pak zajišťují průběh betonáže téměř za jakýchkoliv klimatických podmínek, a to i včetně teplot hluboko pod bodem mrazu. V současnosti se jedná o největší a nejdelší železniční most v Norsku zhotovený technologií letmé betonáže.

Investor	Jernbaneverket (JBV)
Projektant	Reinertsen AS
Generální dodavatel	Skanska Norge AS
Dodavatel mostu	Skanska, a. s.
Dodavatel betonu	Unicon
Bednění	Hünnebeck, Doka

Ing. Michal Kunc
Skanska, a. s.
divize Silniční stavitelství
závod Technologie – Mostní centrum
e-mail: michal.kunc@skanska.cz



11b

Firmní prezentace



PODROBNÉ VYHLEDÁVÁNÍ V ARCHIVU BETON TKS

Na nových webových stránkách časopisu Beton TKS www.betontks.cz pro Vás připravujeme podrobné vyhledávání v archivu časopisu, který v současnosti obsahuje cca 1 800 článků věnovaných betonu. Články jsou volně přístupné, vyjma výtisků mladších 18 měsíců, u nichž jsou k náhledu pouze první strany. V tuto chvíli jsou k dispozici již ročníky 2009 až 2016.

Jsmo tu pro Vás, Vaše redakce.

Firmní prezentace

PROFESIONÁLNÍ ŘEŠENÍ
výzkum ■ vývoj ■ výroba ■ obchod ■ poradenství
pro sanace betonových konstrukcí

Redrock Construction s.r.o.
Újezd 40/450, Michnuv palác
Praha 1, Malá Strana
Telefon: +420 283 893 533
Fax: +420 284 816 112
E-mail: info@redrock-cz.com
www.redrock-cz.com

REDROCK
CONSTRUCTION