



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA

SPOLOČNE BEZ HRANÍC

BETONOVÉ MOSTY

Možnosť využitia HPC v mostnom staviteľstve

NÁZOV PROJEKTU:

**Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov
v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne
(Kód projektu v ITMS2014+: 304011U647)**



VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

EDUMOS

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

High-performance concrete – vysokohodnotný beton

- Beton s vysokými užitnými vlastnostmi

Vysokopevnostní beton

- Kvalita a množství cementu
- Kvalita a křivka zrnitosti kameniva
- Vodní součinitel

High-performance concrete – vysokohodnotný beton

beton s vysokými užitnými vlastnostmi

Vysokopevnostní beton

- 70. -80. léta 20. století – plastifikátory na bázi polymerů
- Použití křemičitého úletu
- Pevnost betonu v tlaku kolem 100 MPa
- Odstranění hrubé složky kameniva
- Použití ocelových vláken
- Pevnost betonu v tlaku až 200 MPa
- Ultra-high-performance concrete

High-performance concrete – vysokohodnotný beton beton s vysokými užitnými vlastnostmi

Zlepšení dalších vlastností betonu

- Trvanlivost materiálu
- Zvýšená mrazuvzdornost
- Zvýšená odolnost vůči karbonataci betonu
- Zvýšená odolnost proti pronikání chloridů

Beton s vysokými užitnými vlastnostmi

- Udržitelnost v oblasti stavebního inženýrství je spojena úzce s využitím nových materiálů nebo s inovací tradičních materiálů. Beton, tradiční konstrukční materiál, má nespočet progresivních variant, např. drátkobeton a vláknobeton, samozhutnitelný beton, alkalicky aktivovaný kompozit na bázi cementu a také vysokopevnostní beton s pevností v tlaku nad 100 MPa.
- Pevnost betonu v tlaku je ovlivněna především kvalitou a množstvím cementu, kvalitou a křivkou zrnitosti kameniva a vodním součinitelem. Snížení vodního součinitele je možné díky použití plastifikátorů, které se vyráběly zpočátku na bázi lignosulfanů.
- V sedmdesátých letech minulého století byly objeveny superplastifikátory na bázi polymerů. Superplastifikátory mohou být použity nejen ke zlepšení zpracovatelnosti betonu, ale také ke snížení vodního součinitele, což otevřelo éru betonu, pro který se vžil název high-performance concrete, v češtině vysokohodnotný beton, tedy beton s vysokými užitnými vlastnostmi, dále jen HPC. V kombinaci s použitím křemičitého úletu bylo postupně dosaženo pevnosti betonu kolem 100 MPa.

Beton s vysokými užitnými vlastnostmi

- V dalším vývoji bylo ze směsi odstraněno hrubé kamenivo a směs byla doplněna o ocelová vlákna, čímž se dosáhlo tlakové pevnosti až 200 MPa. Pro tento typ betonu se používá termín ultra vysokohodnotný beton, ultra-high-performance concrete, dále UHPC. Dolní hranice tlakové pevnosti pro UHPC se ustálila na hodnotě 120 - 150 MPa.
- Výzkum v oblasti vysokohodnotného betonu je zaměřen nejen na optimalizaci materiálového složení a dosažení co nejlepších mechanických vlastností, ale také na zlepšení dalších vlastností betonu, často na zvýšení mrazuvzdornosti a obecně trvanlivosti. Kromě pokroku v technologii betonu je stěžejní také stále probíhající proces spojený s tvorbou norem pro navrhování a pravidel pro provádění staveb.
- Vysokohodnotný beton i ultra vysokohodnotný beton se postupně prosazují v inženýrské praxi jak ve světě, tak i v České republice, a to i přesto, že cena je významně vyšší než u běžného betonu. Pokud se ale použití HPC nebo UHPC vyhodnotí v ekonomicky širším kontextu, pak může být použití těchto materiálů výhodné, zejména s ohledem na životnost konstrukce, případně při využití pro sanace a zesílení stávajících konstrukcí.

Beton s vysokými užitnými vlastnostmi

- Jako příklad stavby z HPC lze uvést Confederation Bridge, postavený v letech 1993 – 1997 v Kanadě, kde byla požadována zejména vysoká mrazuvzdornost betonu. Bylo zkoumáno opotřebení betonu na ledolamech, které jsou součástí mostní konstrukce, přičemž životnost betonu byla odhadnuta na 300 let.



TADROS, G., 1997. The Confederation Bridge: An Overview. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 12, vol. 24, no. 6, pp. 850-866. ISSN 03151468

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Beton s vysokými užitnými vlastnostmi

- Příkladem mostní konstrukce z UHPC pak je zavěšená lávka pro pěší a cyklisty v Čelákovících, dokončená v roce 2014, kde po pěti letech provozu nebyly zaznamenány žádné závady ani degradace konstrukce.



KALNÝ, Milan, et al. Cable-Stayed Footbridge with UHPC Segmental Deck. In: *Key Engineering Materials*. Trans Tech Publications Ltd, 2015. p. 64-70.

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Beton s vysokými užitnými vlastnostmi

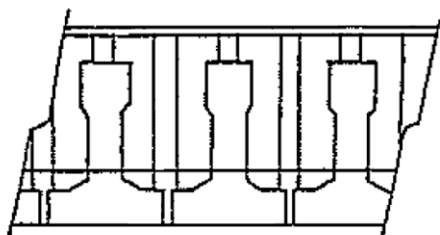
- Za zmínku stojí také využití vysokohodnotného betonu pro jednoduché prefabrikáty, např. fasádní panely, lavičky, konstrukce zastřešení železniční zastávky apod.
- Vysoká pevnost v tlaku i tahu umožňuje snížení výšky průřezu, tím i vylehčení konstrukce a zároveň vysokou variabilitu tvaru a vzhledu.
- Použití HPC a UHPC nabízí jak statikům, tak architektům nový prostor, ve kterém mohou realizovat své myšlenky.

Prefabrikované trémové mostní nosníky

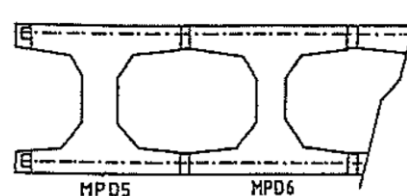
- Mostní konstrukce sloužily od nepaměti ke zkracování vzdáleností a překonávání nejrůznějších překážek, ať už přírodních údolí, řek a jezer nebo objektů uměle vytvořených.
- Společně s nástupem industrializace vznikala v minulosti potřeba přepravy materiálu a bylo nutné rozvíjet také příslušnou dopravní infrastrukturu. S nárůstem lidských potřeb také vznikají nároky na rychlost výstavby mostních konstrukcí.
- V druhé polovině 20. století po druhé světové válce bylo nutné ve velmi krátké době obnovit infrastrukturu a jako jednou z vhodných konstrukcí se jevily prefabrikované konstrukce.
- Po druhé světové válce byla vyvinuta řada variant trémových mostních nosníků. Pro kratší rozpětí bylo možné využít železobetonové nosníky, ale s výhodou se začalo hojněji využívat předpjatých trémových nosníků. Vzhledem k obtížím při dopravě a manipulaci s nosníky se uplatnila jak výroba nosníků přímo na staveništi, tak také výroba segmentů ve výrobě, dodatečně sestavených a předpínaných na stavbě.

Prefabrikované trámové mostní nosníky

- V České republice započala výroba prefabrikovaných nosníků pro prostě uložené mosty v Liticích nad Orlicí, kde se od roku 1950 vyráběly dodatečně předpjaté nosníky pro spřažené deskové mosty, které měly obrácený tvar písmene T.



Průřez obrácené T

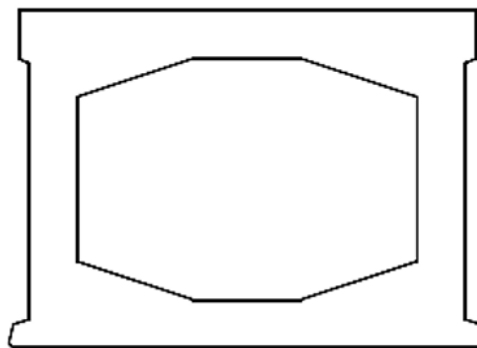


Průřez nosníku MPD

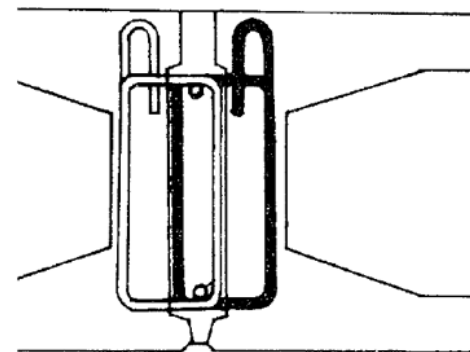
- Vzhledem k velké pracnosti a problémům se zajištěním kvality na staveništi se posléze považovalo za nutné navrhnout nosnou konstrukci, která by se sestavovala pouze z dílců a betonování na staveništi omezit pouze na vyplňování spar mezi dílci. Nosníky MPD vznikly v mnoha různých variantách. Na dílce byl použit beton vysokých pevností B500 (dnes odpovídající tř. C 35/45) a B600 (dnes odpovídající C 45/55). Pro zajištění spolupůsobení mezi jednotlivými dílci v příčném směru byly nosníky MPD předpínány příčnými kabely. Vzhledem k tomu, že konstrukce byla předepnuta v obou směrech, blížila se svým chováním tuhé desce.

Prefabrikované trámové mostní nosníky

- V dalším vývoji se pak upustilo od pracného a problematického příčného předpínání. Bylo nahrazeno zabetonováním spáry, která vznikala mezi jednotlivými nosníky v podélném směru betonem třídy B330 (dnes odpovídající tř. C 25/30).
- Nové typové nosníky na našem území získaly označení KA. Na Slovensku byl počátkem šedesátých let podle návrhu T. Ševčíka vytvořen nosník ve tvaru I. Obdobně jako u nosníků KA došlo k vytvoření spojení ve spáře mezi jednotlivými nosníky. Vzhledem k tvaru písmene I spojení vznikalo jak mezi horní, tak mezi dolní přírubou nosníku. V obou případech došlo tedy k vytvoření typu konstrukce, který se oddálil od představy tuhé desky.
- Vznikla deska žaluziová, která umožňovala mírné pootočení nosníků ve sparách.



Nosník KA-73



Spára mezi nosníky KA

Prefabrikované trámové mostní nosníky

- Konstrukční řešení pomocí komorových nosníků je staticky velmi výhodné. Ukázalo se ale, že je zdrojem mnoha vad a následných poruch konstrukcí, protože údržba a opravy jsou v případě obtížně přístupných komor poměrně náročné, ne-li nemožné.
- Mezi další problematické faktory patří nedokonalé řešení odvodnění komor a nedostatečné krytí betonářské a předpínací výztuže v tenkých stěnách komor. Vzájemné propojování nosníků často nebylo provedeno v řádné kvalitě. V rámci výstavby také často docházelo k nedokonalému zainjektování kabelových kanálků.
- Tyto vady a nedostatky jsou dnes zdrojem poruch těchto konstrukcí. V dnešní době se v mostním stavitelství prefabrikované komorové nosníky na našem území prakticky nepoužívají.

Prefabrikované trámové mostní nosníky

- Výroba prefabrikovaných nosníků v minulosti a dnes se liší.
- Zatímco v dřívějších dobách byly nosníky typizovány a návrh výztuže v nosnících byl vytvořen pro nejnepříznivější případ, dnes je kladen důraz na návrh výztuže pro dané konkrétní dílo a typizován je tvar nosníku, jehož parametry jsou předepsány výrobcem.
- Prefabrikované konstrukce mají variabilní použití. Mosty z prefabrikátů lze vytvářet jako prosté nosníky, jako řadu prostých nosníků pro mosty o více polích, ale při použití dodatečného předpětí také jako spojitý nosníky.
- Obvyklé je doplnění nosníků o spřaženou monolitickou desku a zabetonování konců nosníků do monolitických příčníků. Výhodou této úpravy je spolupůsobení jednotlivých trámů rozdělením zatížení na více nosníků v příčném směru.
- Využití příčníku pak umožňuje redukci počtu ložisek.

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

Návrh předpjatých mostních nosníků, jejichž výška je optimalizována díky použití nově vyvinutých variant betonu s vysokými užitnými vlastnostmi

- Receptura založená na využití běžně dostupné surovinové základny
- Ověření v podmínkách průmyslové prefabrikace s ohledem na množství, konzistenci, přepravu betonu
- Zatěžovací zkouška nosníků pro ověření modelů pro výpočet únosnosti pro pevnost betonu na hranici nebo s přesahem platnosti stávajících norem
- Ověření trvanlivosti s ohledem na pronikání chloridů
- Ověření únavových charakteristik a lomových parametrů



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

Složení betonové směsi



50 l x 0,8 m³

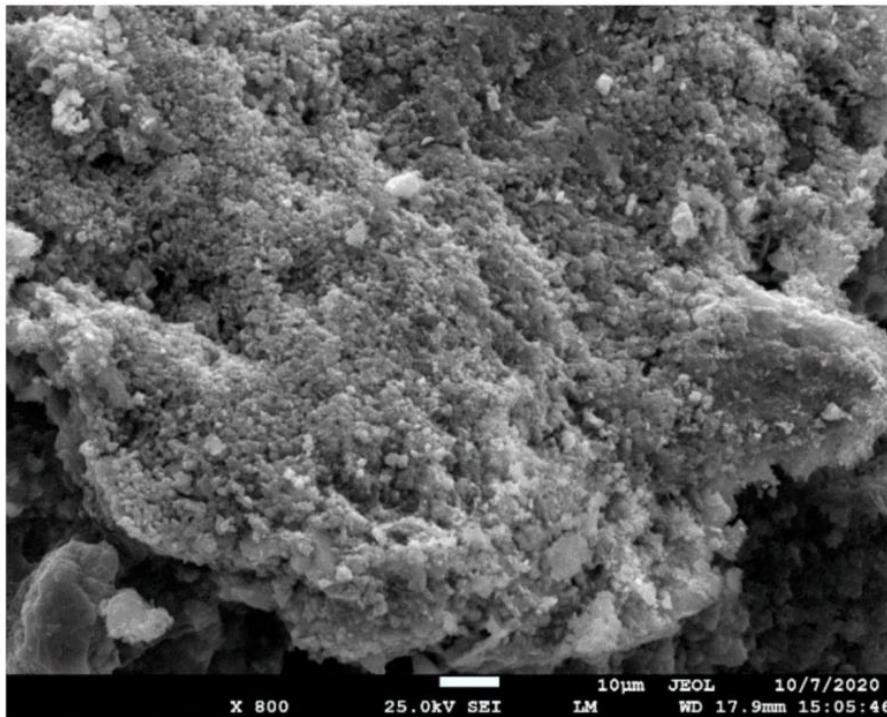


(VŠB – TUO)

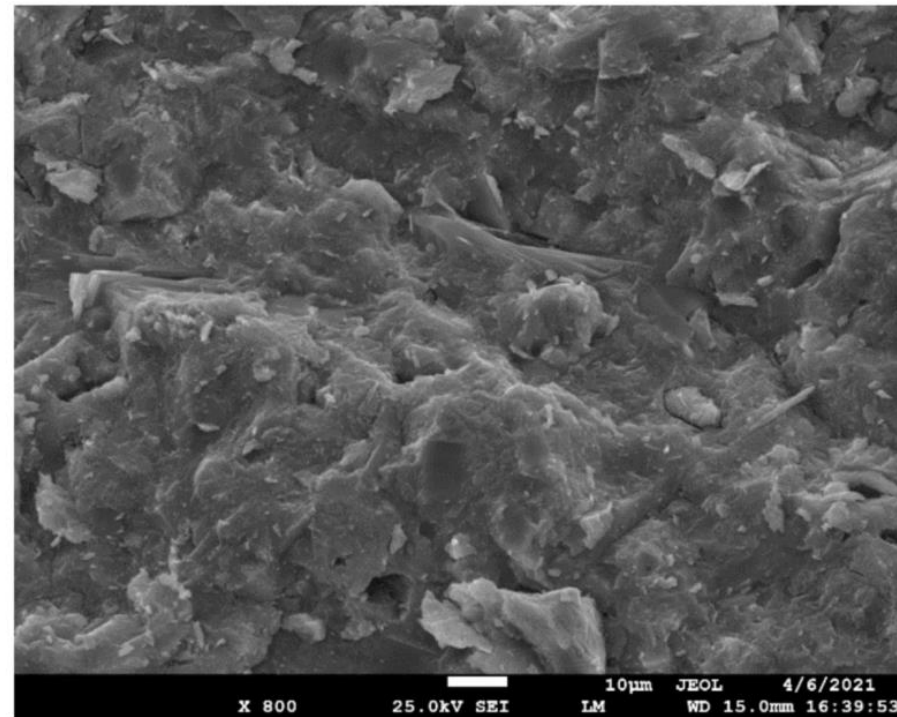
Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

Složení betonové směsi – MIKROSTRUKTURA BETONU



$w/c = 0,55$



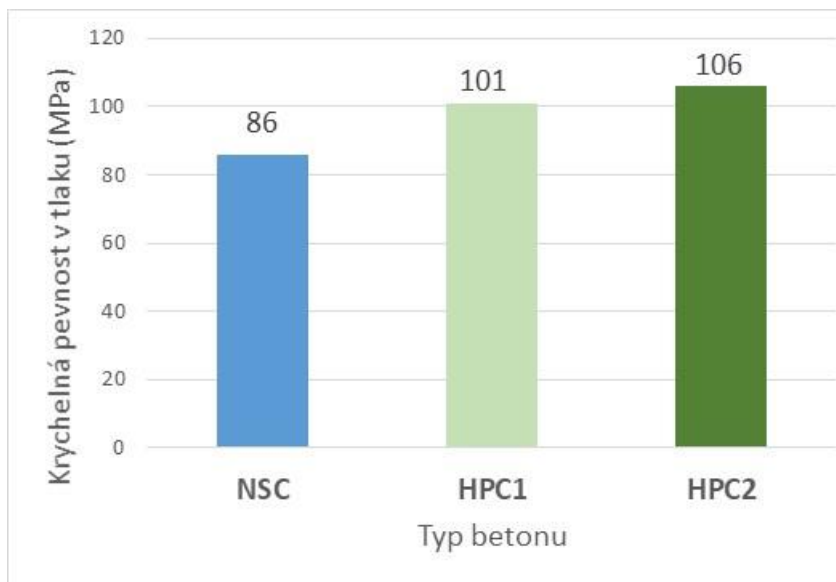
$w/c = 0,29$

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

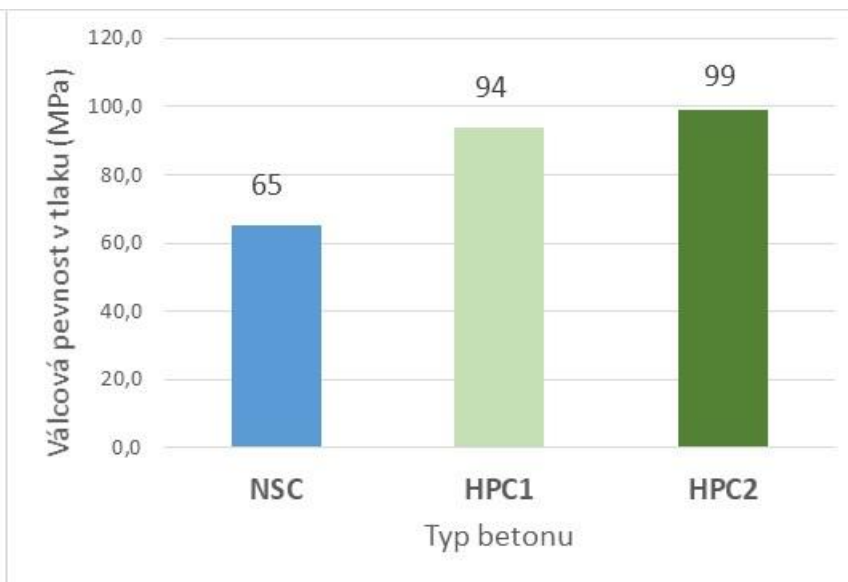
Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

Složení betonové směsi – MECHANICKÉ VLASTNOSTI BETONU



Krychelná pevnost

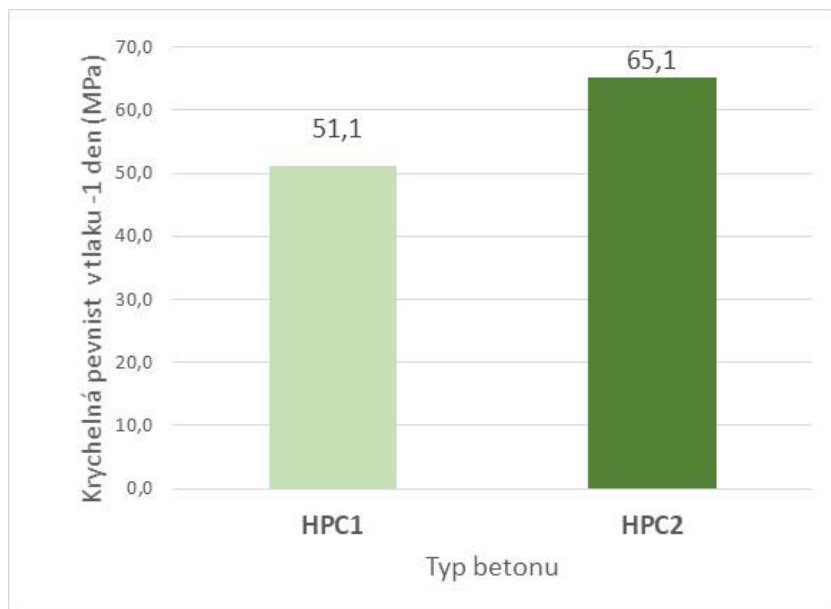


Válcová pevnost

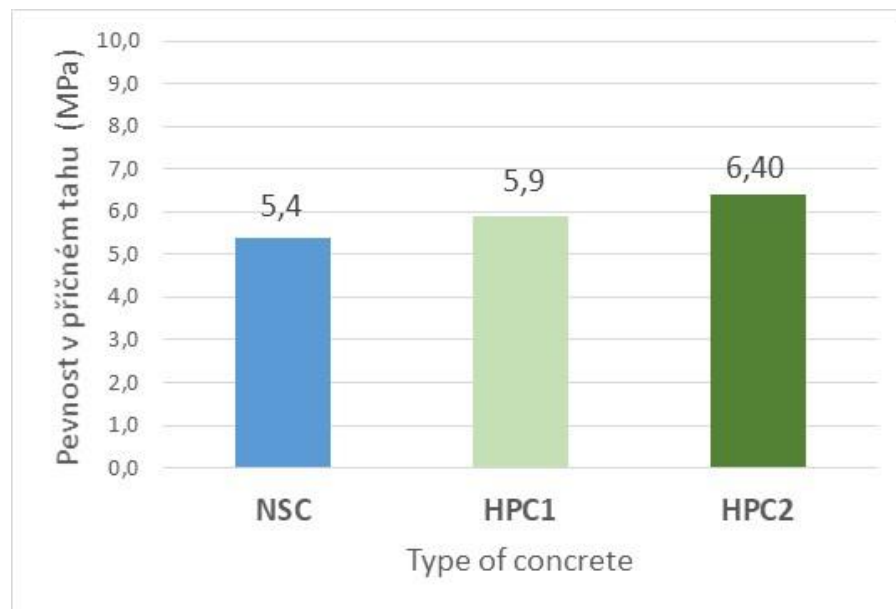
Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

Složení betonové směsi – MECHANICKÉ VLASTNOSTI BETONU



Jednodenní krychelná pevnost



Pevnost v příčném tahu

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

TRVANLIVOST – odolnosť proti pronikání chloridů

- NT Build 443
- AASHTO TP-95

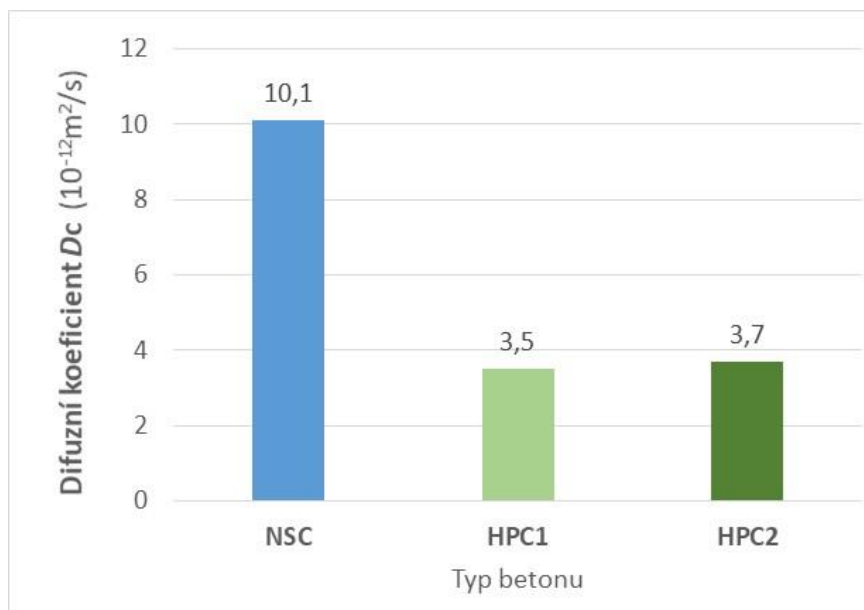


Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

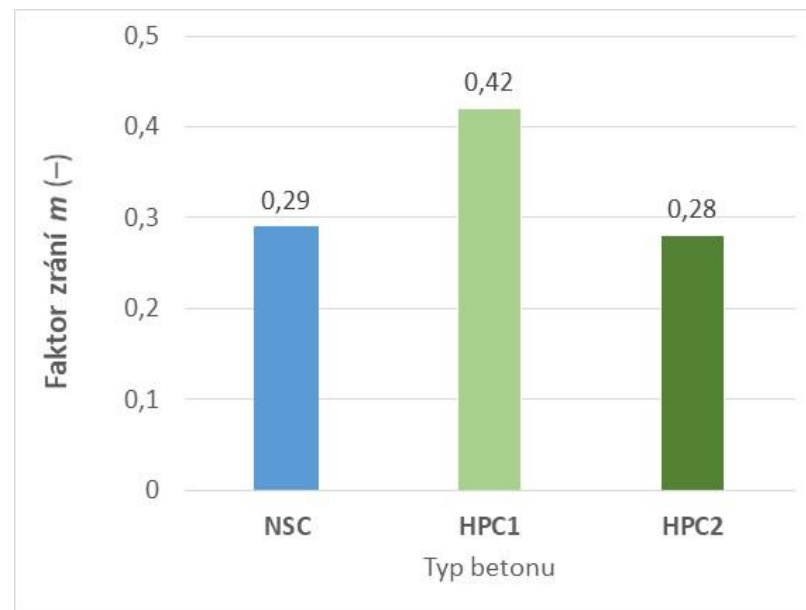
Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

TRVANLIVOST – odolnosť proti pronikání chloridů



Difuzní koeficient
NT Build 443



Faktor zrání
AASHTO TP-95

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

- Platnost EC2 pro beton třídy C90/105 ($f_{cm} = 98 \text{ MPa}$)
- Platnost model code 2010 až pro beton třídy C120 (krychelná pevnost 140 Mpa)



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Prostorové a kapacitní limity v ESC

- Šířka nosníku max. 900 mm
- Maximální rozpětí 10 m
- Maximální zatěžovací síla 1000 kN (v době návrhu nosníků)
- Nosnost jeřábu 10 t



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

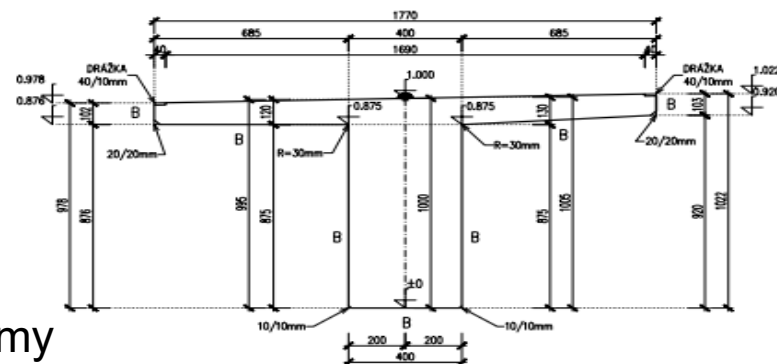
Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

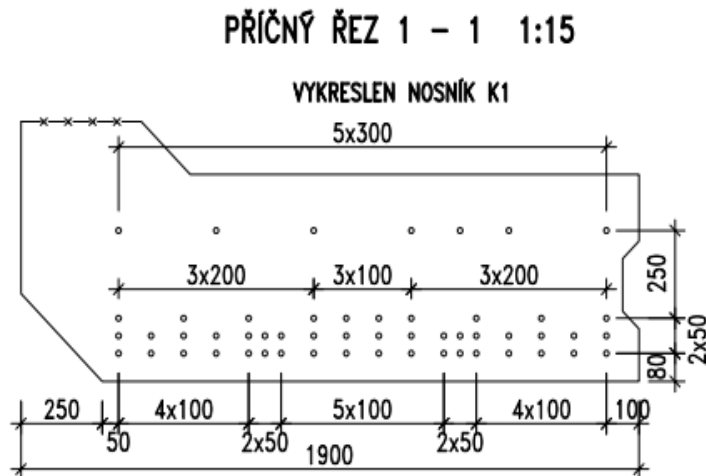
ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Portfolio ŽPSV, s.r.o.

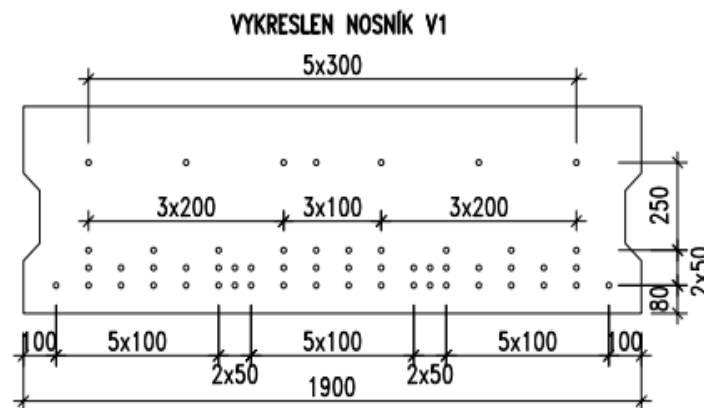
- rámové a polorámové konstrukce
- mostní nosníky deskové
- mostní nosníky T, MK-T, I, VSTI
- segmenty lávek pro pěší a cyklisty
- prefabrikované klenbové a rámové mostní systémy



PŘÍČNÝ ŘEZ 1 - 1 1:15



PŘÍČNÝ ŘEZ 1 - 1 1:15



VYKRESLEN NOSNÍK V1

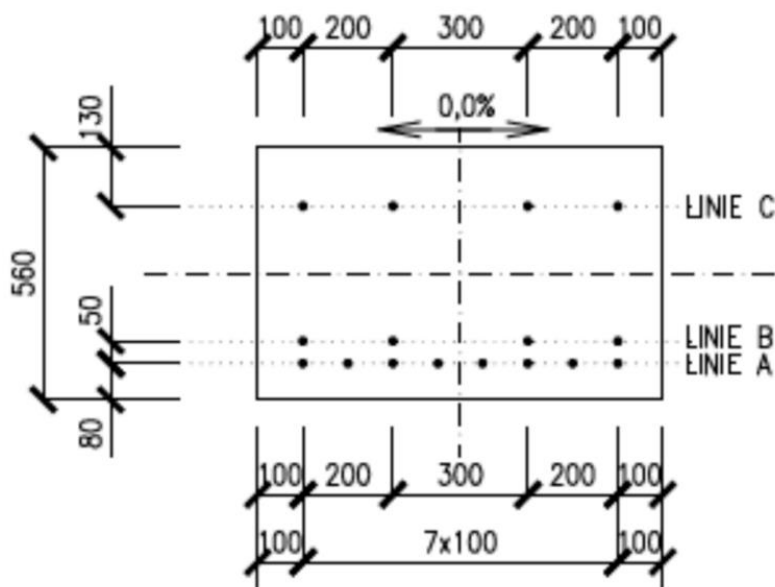
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

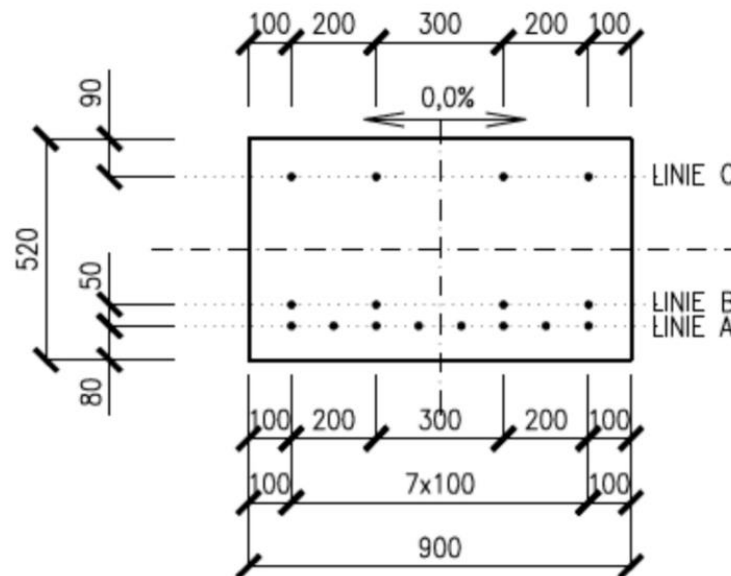
(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Testovací nosníky



Testovací nosník NSC



Testovací nosník HPC2

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Betonáž nosníků (Závod Litice nad Orlicí)



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Beton	Značení nosníku	Betonáž	Test v ESC	Stáří nosníku	Stáří nosníku
		datum	datum	[dny]	[měsíce]
NSC	N1	19. 6. 2017	30. 9. 2019	833	27
HPC	N2 ₁	19. 6. 2017	19. 7. 2019	760	25
	N2 ₂	19. 6. 2017	2. 8. 2019	774	25



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

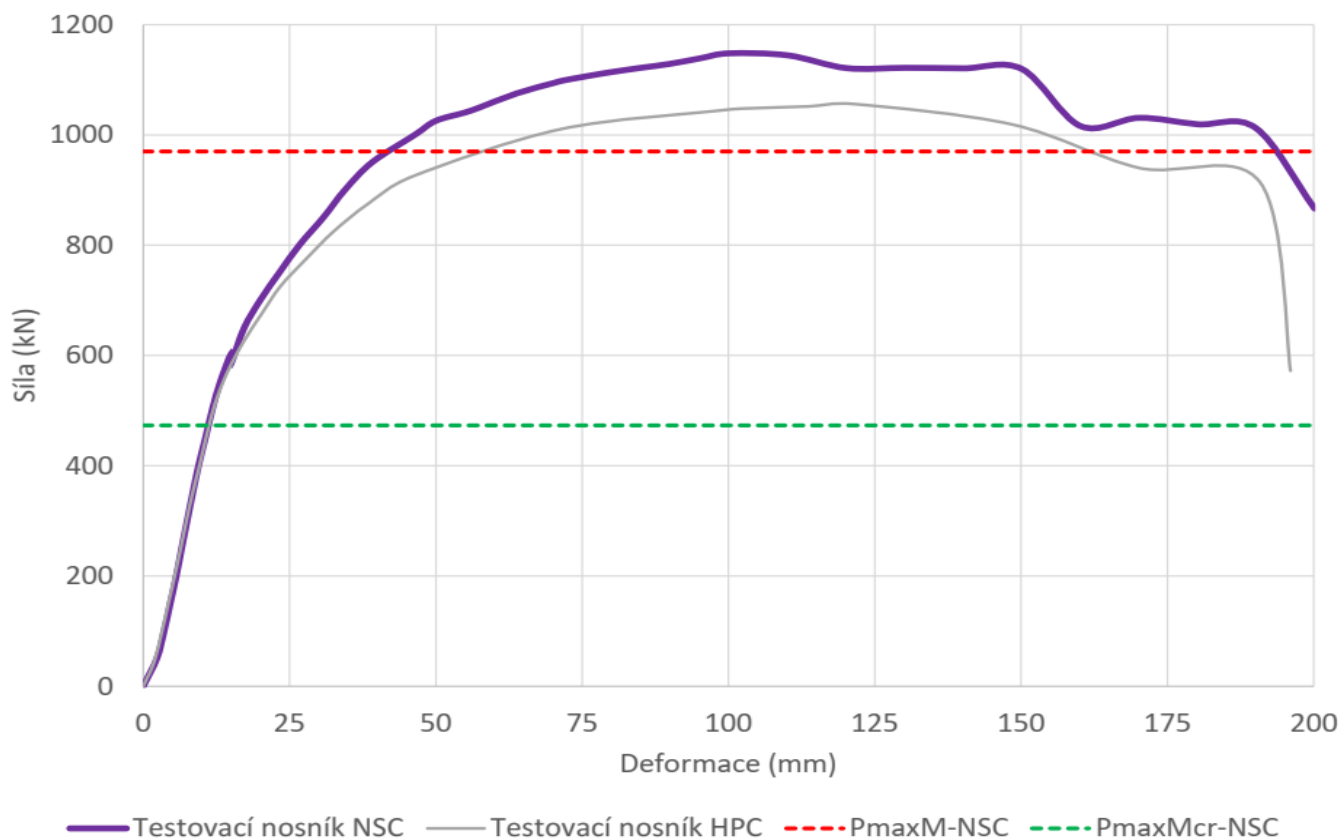
(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Testovací nosník
N1-NSC

$$P_{\max, \exp} = 1148 \text{ kN}$$

$$P_{\max, \text{calc}} = 970 \text{ kN}$$



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

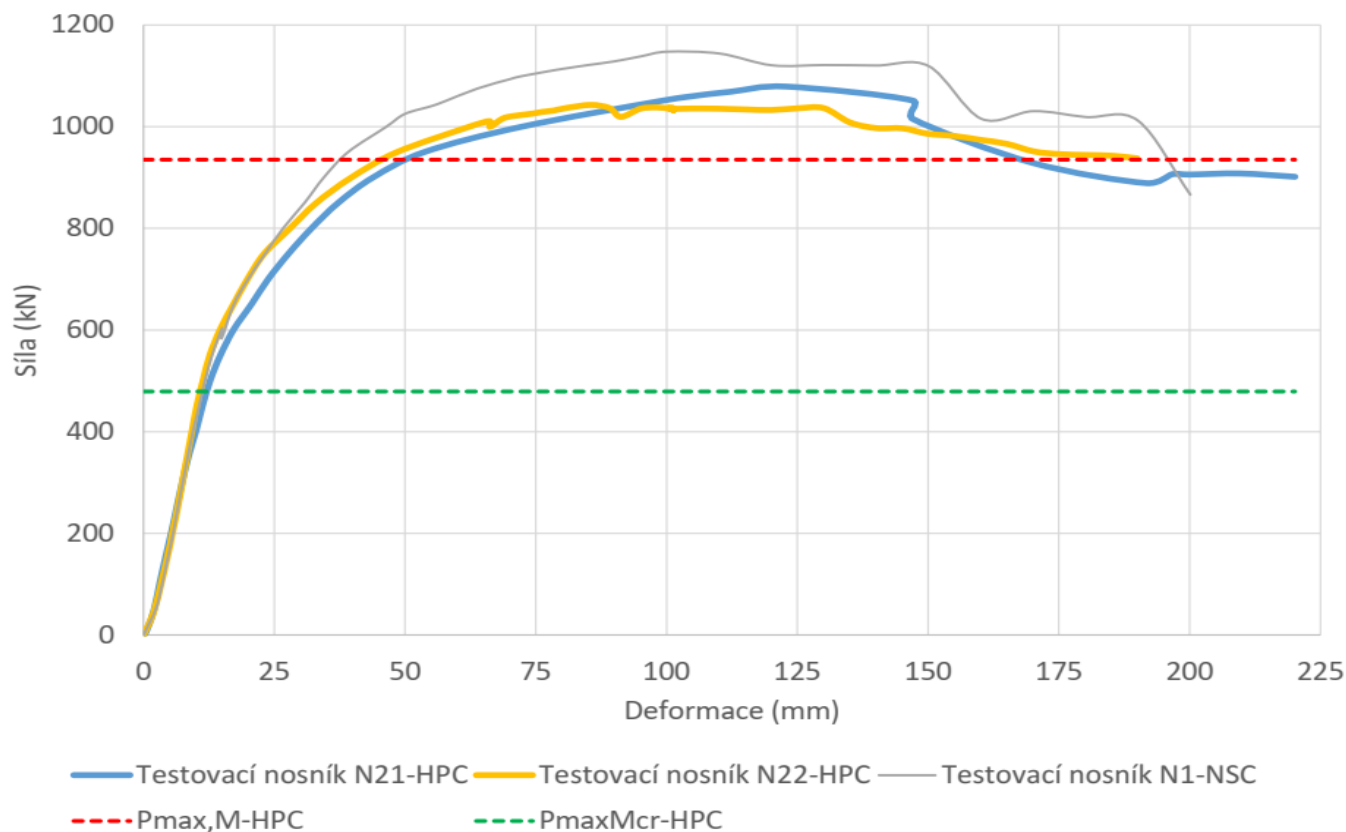
(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Testovací nosník
N2-HPC2

$$P_{\max, \exp} = 1062 \text{ kN}$$

$$P_{\max, \text{calc}} = 935 \text{ kN}$$



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

ODOLNOST – Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

ODOLNOST

mez únosnosti

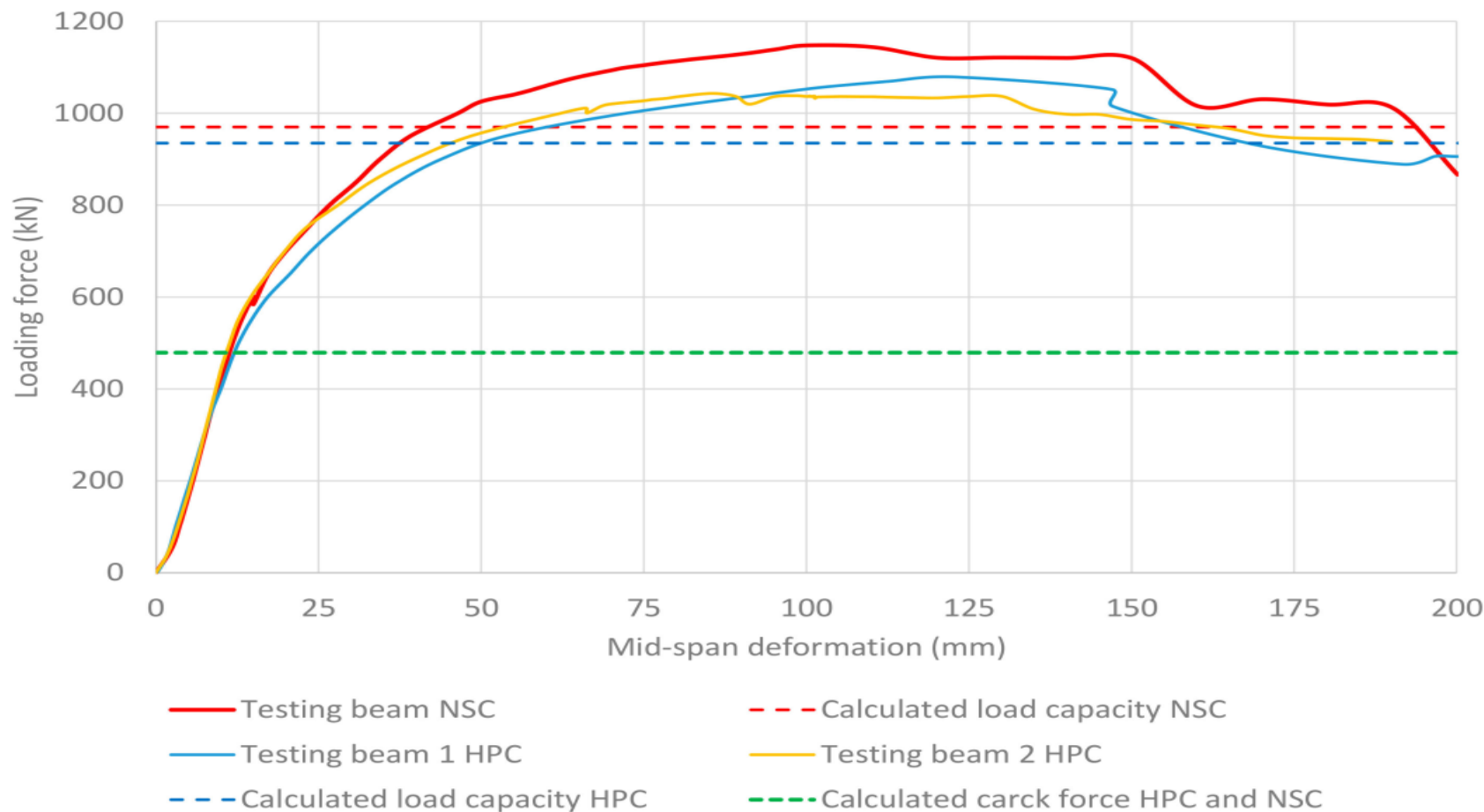
Beton	Označení nosníku	Experiment	Výpočet	Porovnání	
		$P_{\max, \text{Exp}}$	$P_{\max, \text{calc}}$	$\Delta P_{\max}$	$\Delta P_{\max} / P_{\max, \text{calc}} \cdot 100$
		kN	kN	kN	%
NSC	N1	1148	970	178	18
HPC	N2 ₁	1080	935	145	16
	N2 ₂	1043	935	108	12

mez vzniku trhlin

Beton	Označení nosníku	Experiment	Výpočet	Porovnání	
		$P_{\max, \text{Exp}}$	$P_{\max, \text{calc}}$	$\Delta P_{\max}$	$\Delta P_{\max} / P_{\max, \text{calc}} \cdot 100$
		kN	kN	kN	%
NSC	N1	586	480	106	22
HPC	N2 ₁	546	479	67	14
	N2 ₂	546	479	67	14

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Projekt KoNaNos

(VŠB – TUO)

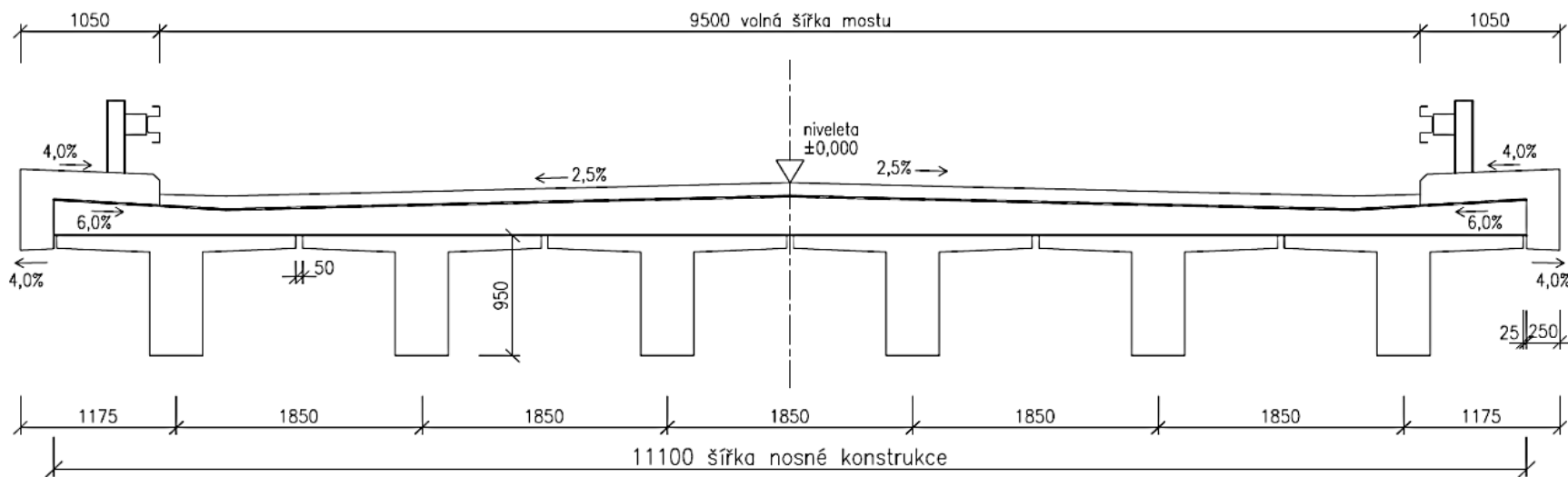
Shrnutí

- zatěžovací diagram pro oba typy nosníků je podobný
- první trhliny ve stejném zatěžovacím kroku 550 kN – 600 kN
- pokles tuhosti pro zatěžovací sílu 800 kN a 1000 kN
- vyčerpání únosnosti v ohybu dosažením meze kluzu výztuže
- zohlednění křehkosti – limitní přetvoření, součinitel pro výšku tlačené oblasti
- model výpočtu únosnosti v ohybu se pro model code významně nemění
- pro nově vyvinutou variantu betonu lze použít stávající výpočetní postupy

Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

- rozpětí 15 m, 20 m, 25 m a 30 m
- monolitická deska, průměrná tloušťka desky 250 mm, C 35/40
- v oblasti podpor monolitické příčníky



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

- rozpětí 20 m

NSC Tvar nosníku: - Výška prefabrikátu 1150 mm - Dobetonávka 200 mm Předpětí: - Dolní výztuž 24 lan - Horní výztuž 6 lan	HPC Tvar nosníku: - Výška prefabrikátu 950 mm - Dobetonávka 200 mm Předpětí: - Dolní výztuž 34 lan - Horní výztuž 6 lan

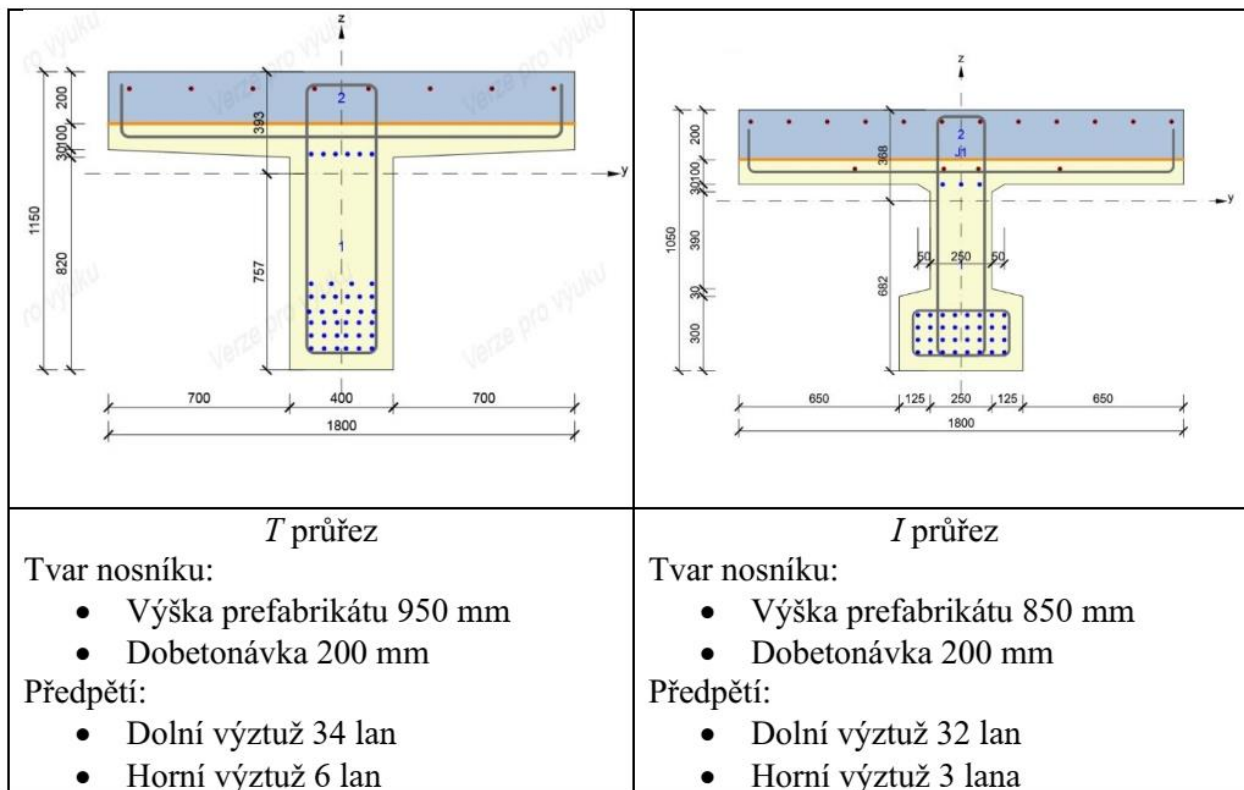
T nosník NSC

T nosník HPC2

Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

- rozpětí 20 m



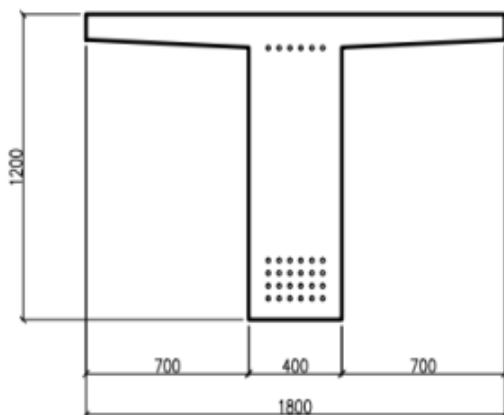
T nosník HPC2

I nosník HPC2

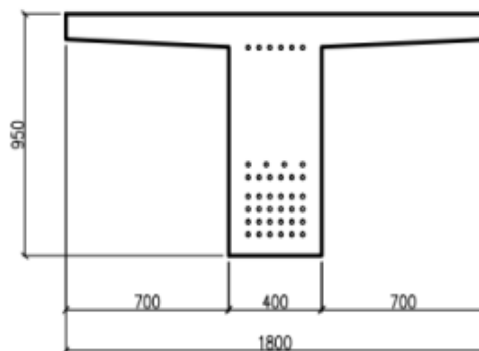
Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

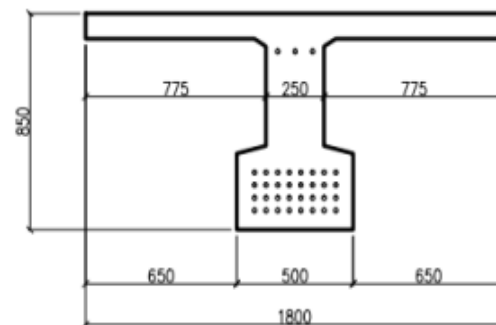
- rozpětí 20 m



NSC



HPC

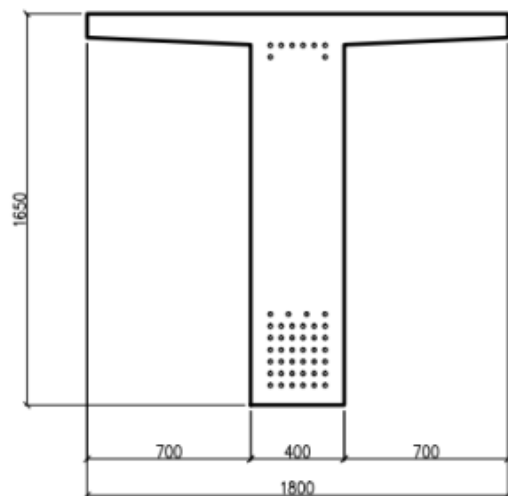


HPC optimalizovaný

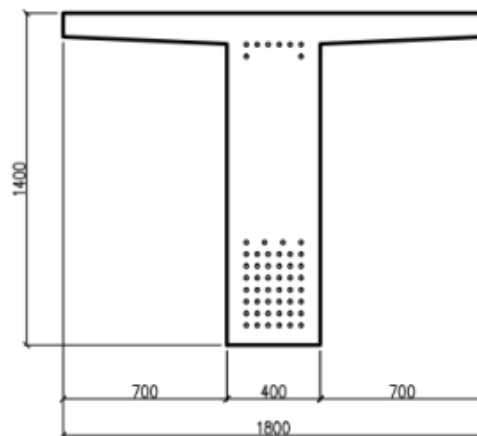
Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

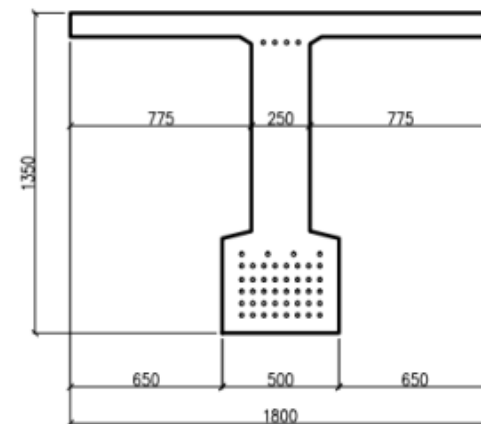
- rozpětí 30 m



NSC



HPC



HPC optimalizovaný

Závěr

Komplexní návrh nosníků mimo jiné zahrnuje

- Návrh receptury, ověřené v průmyslových podmínkách
- Testování mechanických vlastností
- Zatěžovací zkoušku
- Ověření zvýšené trvanlivosti
- Testování lomově mechanických a únavových parametrů
- Orientační porovnání nákladů

Závěr

- zabývali jsme se využitím vybraných variant nově navrženého betonu s vysokými užitnými vlastnostmi pro návrh prefabrikovaných železobetonových nosníků pro pozemní stavby a předpjatých mostních nosníků
- byly představeny tři varianty nově vyvinutého vysokohodnotného betonu. Všechny varianty jsou založeny na místní dostupné surovinové základně a byly vyzkoušeny v podmínkách industriální výroby průmyslového partnera
- nově vyvinuté varianty vysokohodnotného betonu byly použity pro výrobu železobetonových nebo předem předpjatých nosníků, které byly podrobeny zatěžovací zkoušce v Experimentálním stavebním centru pro ověření únosnosti stanovené výpočetními postupy podle platné normy
- ověření únosnosti zkouškami bylo naplánováno s ohledem na očekávanou pevnost betonu, pro kterou už stávající norma pro navrhování není platná
- dosažení pevnosti kolem 100 MPa je progresivní krok završený průkazními zkouškami nové varianty betonu

Závěr

- třetí varianta vysokohodnotného betonu byla použita pro výrobu předem předpjatých testovacích deskových nosníků, pro porovnání byly vyrobeny obdobné nosníky z betonu běžně používaného pro předpjaté konstrukce
- nosníky při zatěžovací zkoušce vykazovaly podobný způsob porušení ohybem, bylo dosaženo meze kluzu předpínací výztuže
- na základě provedených zkoušek experimentálního zatěžování nosníků lze předpokládat, že model pro výpočet únosnosti v ohybu ve stávající běžně používané normě pro navrhování je platný i pro třídy betonu v oblasti na hranici platnosti normy
- zatěžované prvky porušené ve smyku, indikují, že model pro výpočet únosnosti ve smyku ve stávající normě pro navrhování je méně přesný, ale bezpečný pro třídy betonu v oblasti na hranici platnosti normy

Závěr

- z vysokopevnostního betonu byly tedy podle stávající platné normy navrženy předem předpjaté mostní nosníky s T a I průřezem a porovnány s T nosníky z běžně používaného betonu s ohledem na spotřebu materiálu a základní počáteční náklady
- vysokou pevnost betonu lze využít zejména ve stadiu předpínání, kdy lze zvýšit předpětí oproti nosníkům z běžného betonu
- nosníky z HPC betonu mají v prezentované studii vyšší stupeň vyztužení předpínací výztuží, bylo prokázáno, že lze snížit výšku nosníku a tím průřezovou plochu o cca 12 %
- výrazně vyšší cena vysokohodnotného betonu přesto způsobuje nárůst počátečních materiálových nákladů průměrně o 43 % při započtení ceny předpínací výztuže.
- náklady lze snížit použitím optimalizované varianty průřezu ve varu I s rozšířenou dolní částí průřezu, nárůst počátečních materiálových nákladů je pak 24 %

Závěr

- s ohledem na snížení emisí CO₂ byla také porovnána spotřeba cementu na jednotlivé varianty nosníků
- nosníky z vysokohodnotného betonu tvaru T jsou zatíženy vyšší spotřebou cementu, u optimalizované I varianty nosníku lze dosáhnout přibližně stejné spotřeby cementu jako u nosníků z běžně používaného betonu
- s ohledem na udržitelný rozvoj a životnost konstrukcí je pak významné, že byly prokázány u dvou nově navržených variant vysokohodnotného betonu výrazně vyšší odolnosti vůči pronikání chloridů než u běžně používaného betonu
- byla prokázána jen mírně snížená únavová odolnost nově navržených variant betonu

Závěr

- využití vysokohodnotného betonu pro tradiční průřezy má opodstatnění v případech, kdy i relativně malé snížení výšky nosníků je stěžejní, např. při rekonstrukcích, výměně stávajících nevyhovujících nosníků nebo v případě zvětšení průjezdného profilu při přemostění překážek, případně při zohlednění návrhové hladiny vodního toku
- budoucnost vysokohodnotného betonu v prefabrikaci je v další optimalizaci navržených průřezů takovým způsobem, aby bylo možno využít s výhodou vysokou pevnost betonu a díky zvýšené životnosti navrhnout prvky konstrukcí v souladu s trvale udržitelným rozvojem