



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA

SPOLOČNE BEZ HRANÍC

NÁZEV PROJEKTU:

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne

EDUMOS



VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

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



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA

SPOLOČNE BEZ HRANÍC

NÁZEV PŘEDNÁŠKY:

Možné využití vysokohodnotného betonu pro návrh prefabrikovaných mostních nosníků

Pavlaína MATEČKOVÁ
Radim ČAJKA

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA



VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

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

Projekt KoNaNos

Komplexní návrh nosníků z pokročilých betonů (2017 – 2019)

Partneři projektu:

- ŽPSV, s.r.o.
- Ústav fyziky materiálů, AV ČR
- VŠB-TU Ostrava

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

žpsv



ÚSTAV FYZIKY MATERIÁLŮ
Akademie věd České republiky, v. v. i.



Akademie věd
České republiky

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

Projekt KoNaNos

Za VŠB se na řešení projektu podíleli:

Prof. Ing. Radim Čajka, CSc.

Doc. Ing. Jaroslav Navrátil, CSc.

Doc. Ing. Petr Konečný, Ph.D.

Ing. Petra Doné

Ing. Marie Kozielová, Ph.D.

Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.

Ing. Petr Mynarčík, Ph.D.

Ing. Lucie Mynarzová, Ph.D.

Ing. Oldřich Sucharda, Ph.D.

Ing. Martina Šmiřáková, Ph.D.

Ing. Jana Vašková, Ph.D.

Ing. Libor Žídek

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

High-performance concrete – vysokohodnotný beton

Příklad mostu z HPC Confederation Bridge (1993 – 1997)



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

High-performance concrete – vysokohodnotný beton UHPC – lávka pro pěší a cyklisty v Čelákovících (2014)



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

Projekt KoNaNos: 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

Složení betonové směsi:



50 l x 0,8 m³

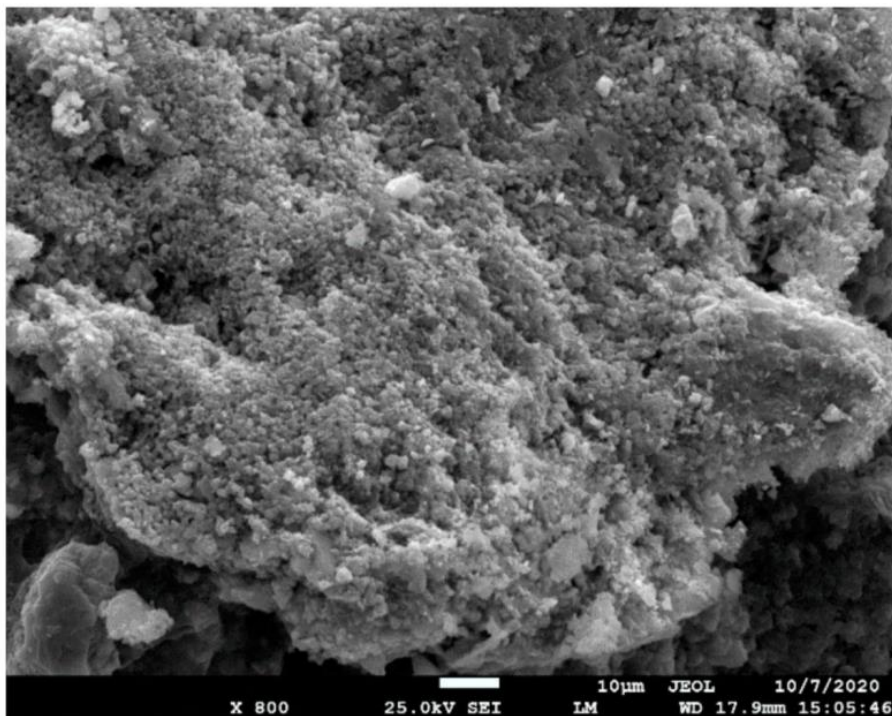


Složení betonové směsi:

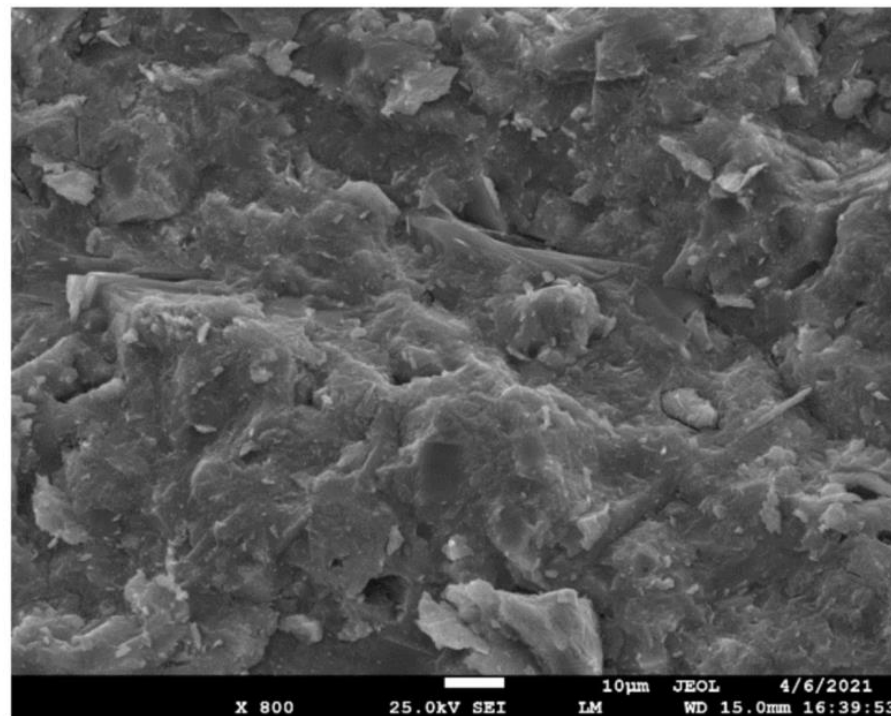


Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Složení betonové směsi Mikrostruktura betonu

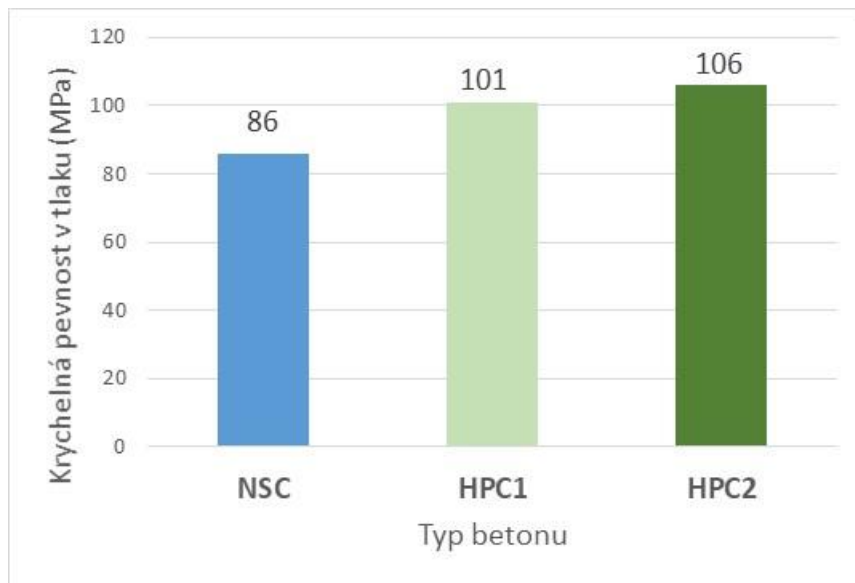


$w/c = 0,55$

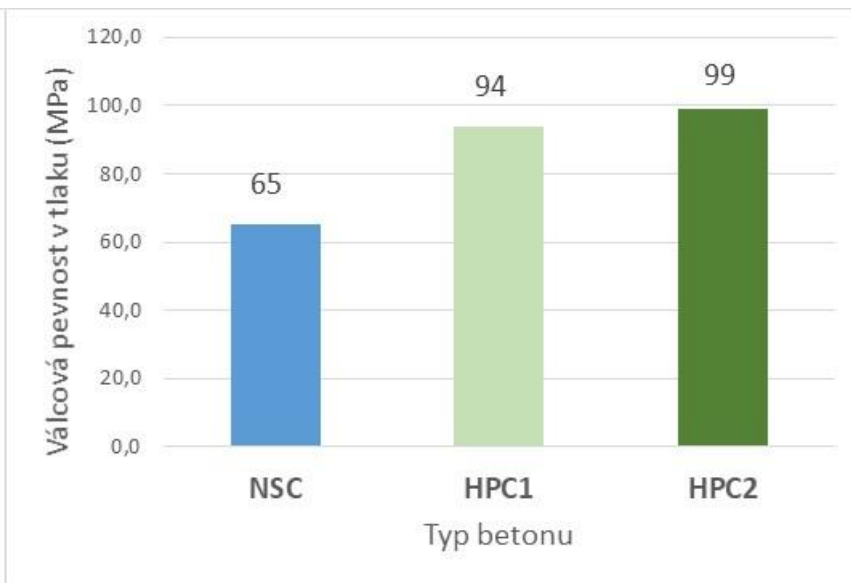


$w/c = 0,29$

Mechanické vlastnosti betonu:

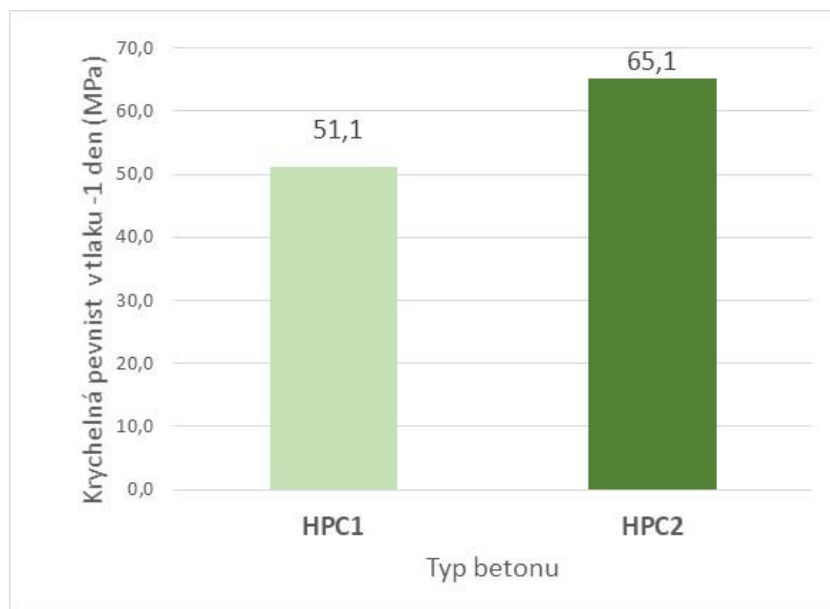


Krychelná pevnost

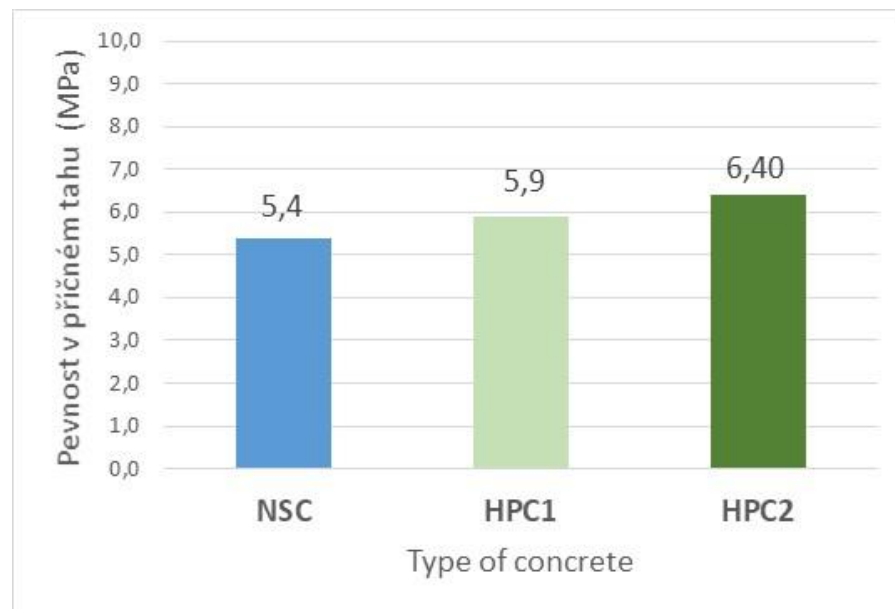


Válcová pevnost

Mechanické vlastnosti betonu:



Jednodenní krychelná pevnost



Pevnost v příčném tahu

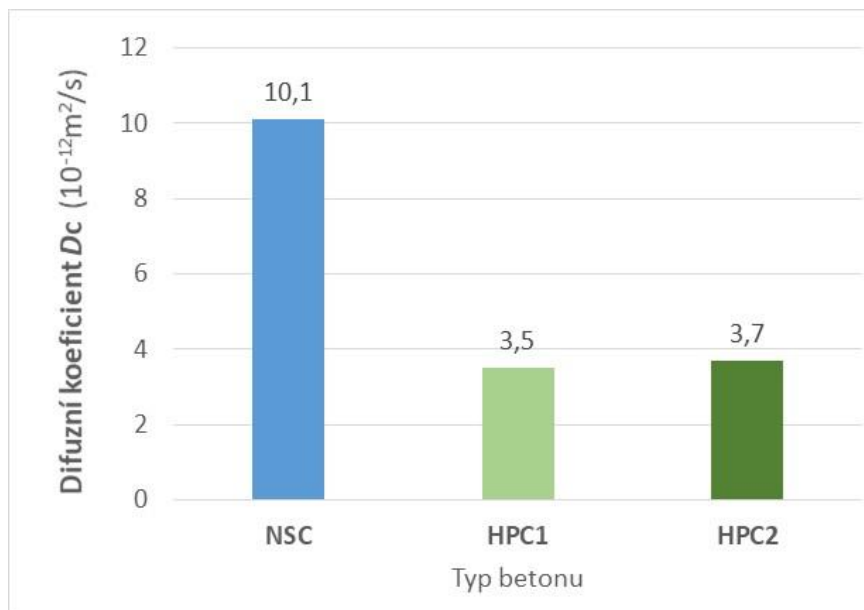
Trvanlivost – odolnost proti pronikání chloridů

- NT Build 443
- AASHTO TP-95

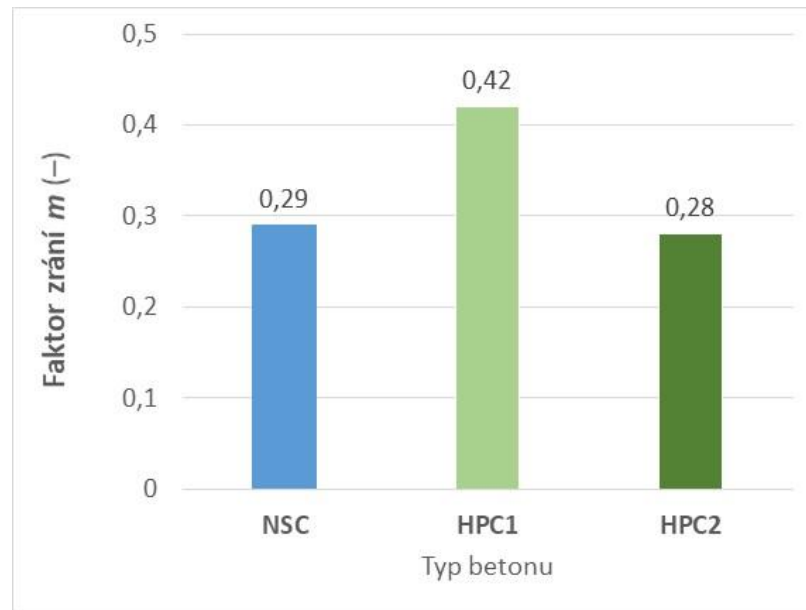


Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Trvanlivost – odolnost proti pronikání chloridů



Difuzní koeficient
NT Build 443



Faktor zrání
AASHTO TP-95

Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Motivace pro testování

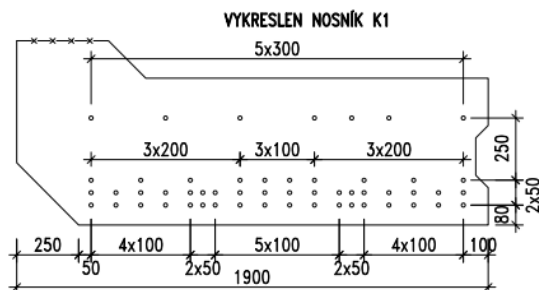
- Platnost EC2 pro beton třídy C90/105 ($f_{cm} = 98 \text{ MPa}$)
- Platnost model code 2010
až po beton třídy C120 (krychelná pevnost 140 Mpa)



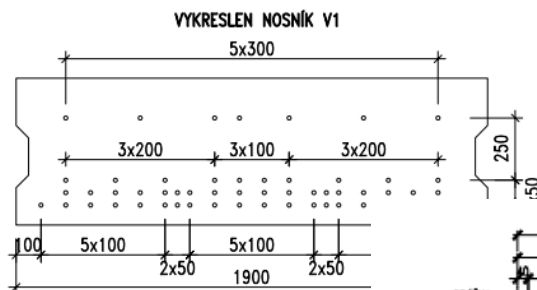
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru Portfolio ŽPSV, s.r.o.

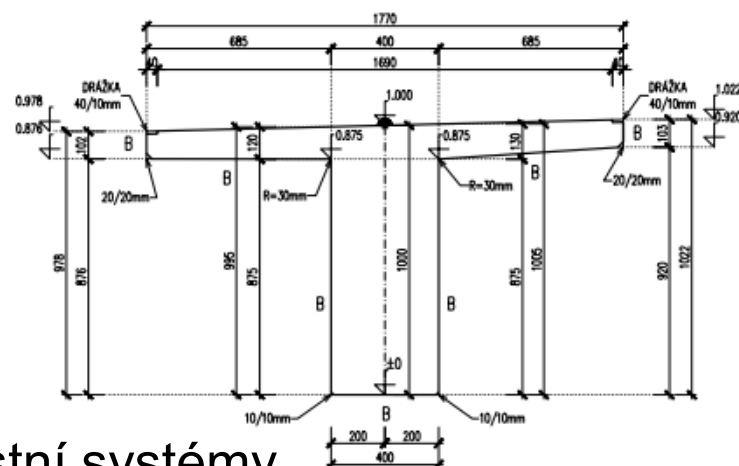
PŘÍČNÝ ŘEZ 1 - 1 1:15



PŘÍČNÝ ŘEZ 1 - 1 1:15



- 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



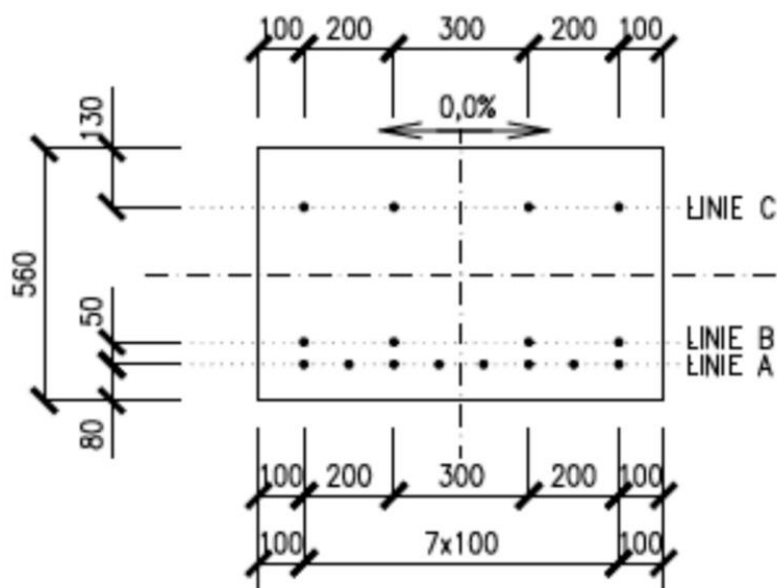
Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru Prostorové a kapacitní limity v ESC

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

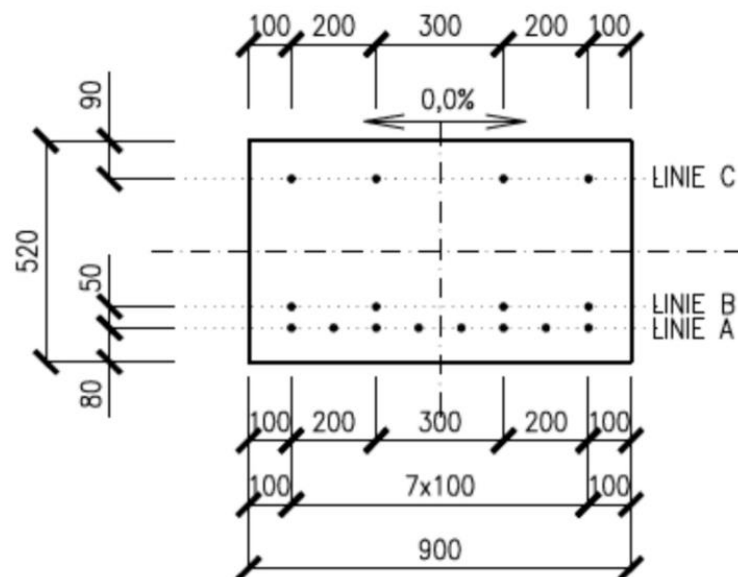


Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru Návrh testovacích nosníků



Testovací nosník NSC



Testovací nosník HPC2

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

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

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

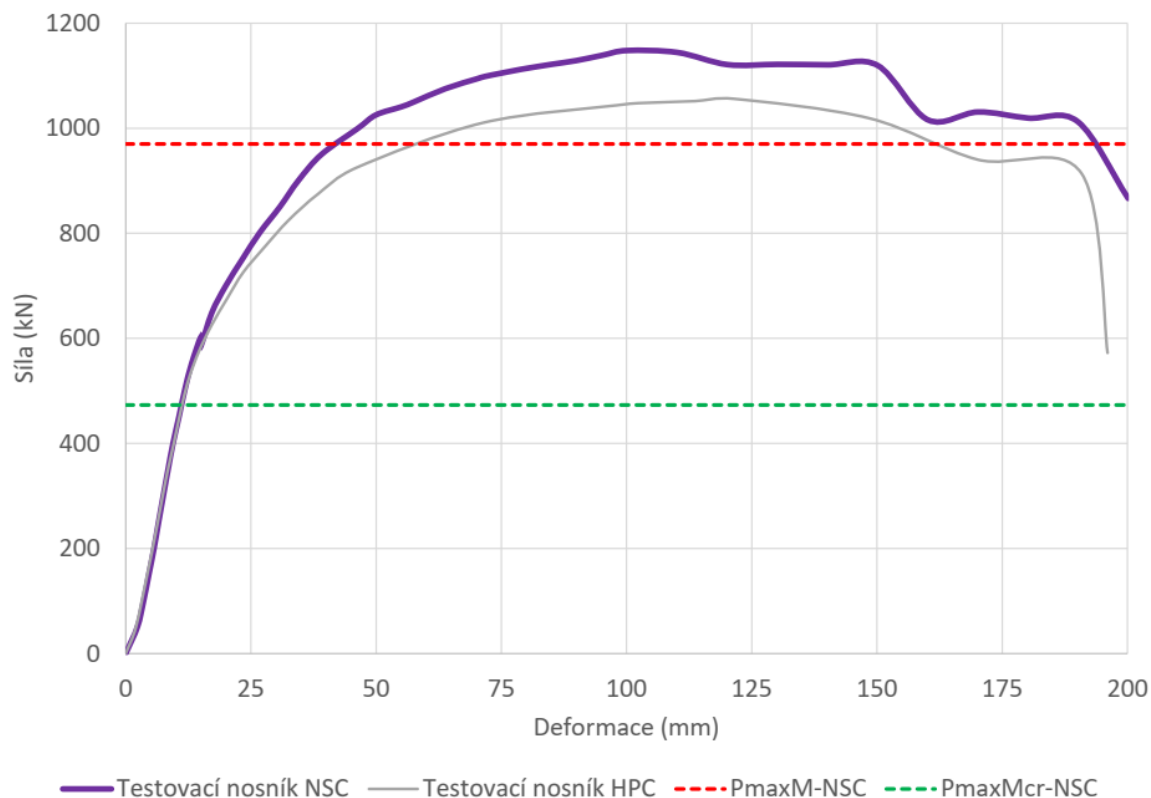
Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru



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

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

Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

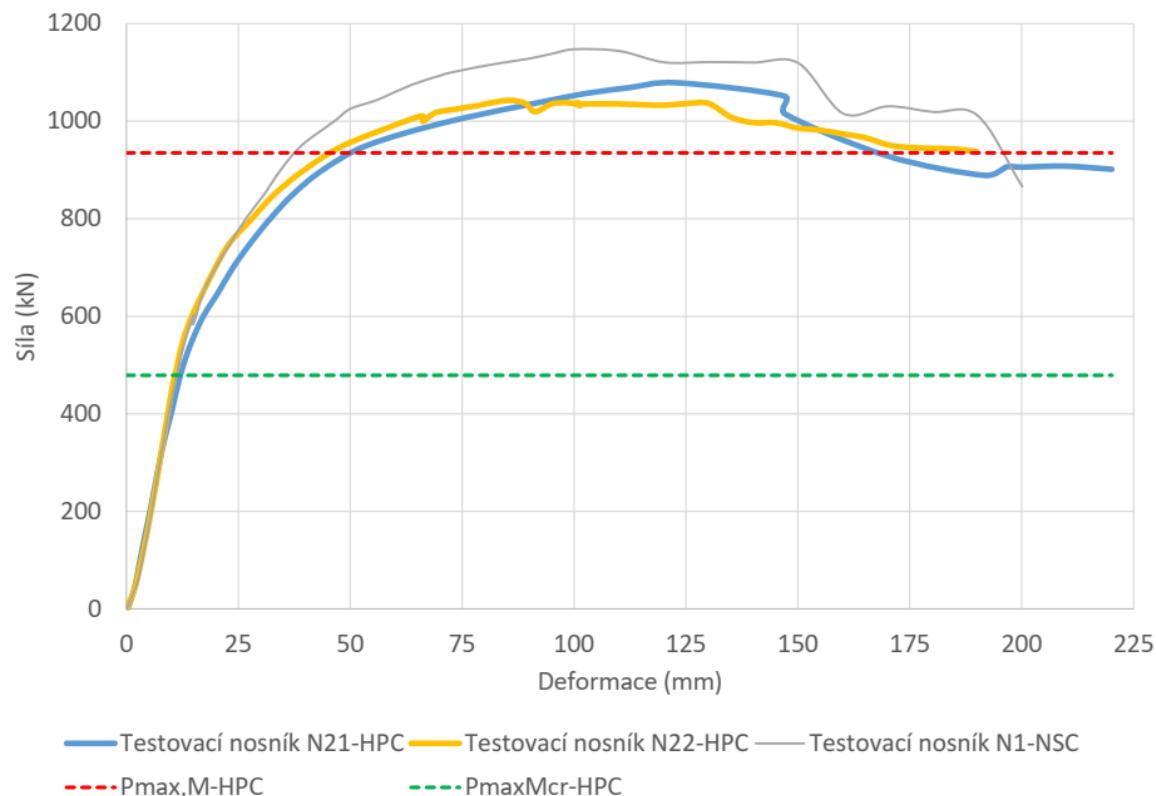
Testovací nosník N1 – NSC



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

Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Testovací nosník N2 – HPC2



$$P_{\max,\text{exp}} = 1062 \text{ kN}, P_{\max,\text{calc}} = 935 \text{ kN}$$

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

Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Testovací nosník N2 – HPC2



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

Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Shrnutí

Mez únosnosti

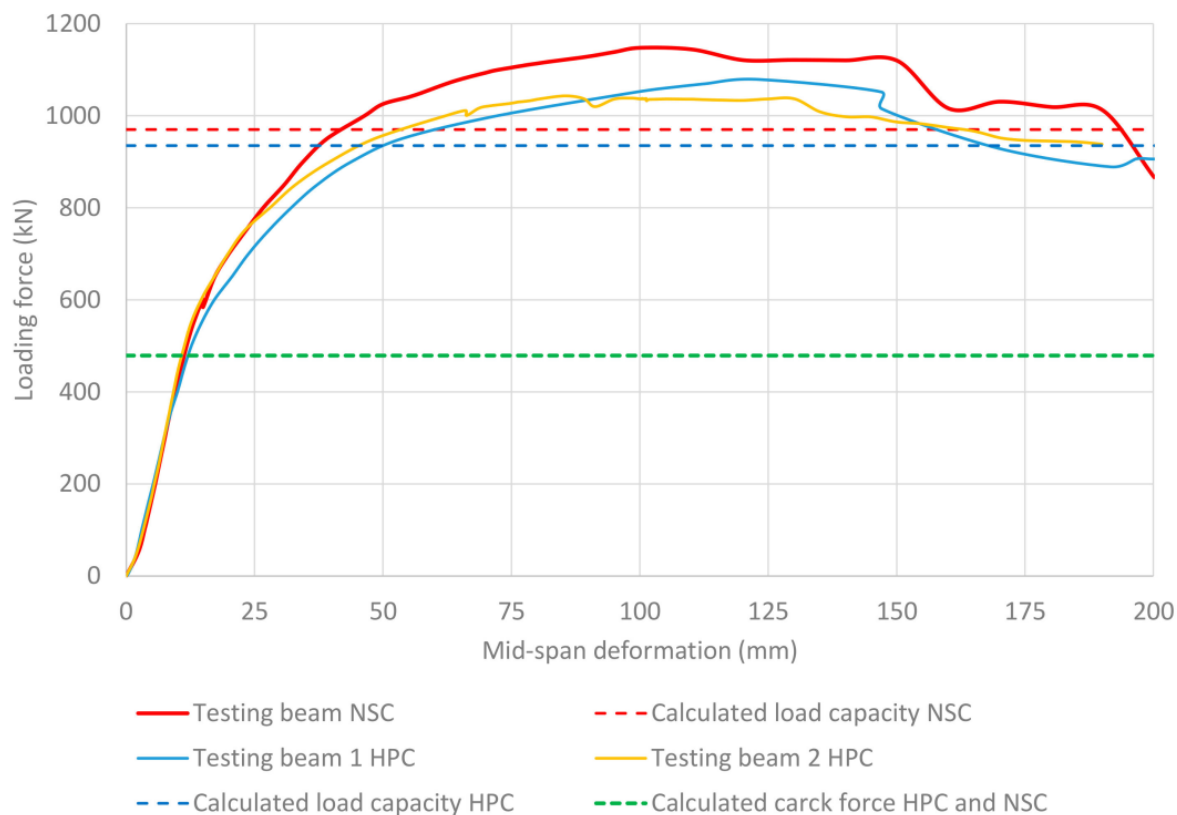
Beton	Označení nosníku	Experiment	Výpočet	Porovnání	
		$P_{\max, \text{Exp}}$	$P_{\max, \text{calc}}$	$\Delta P_{\max}$	$\Delta P_{\max} / P_{\max, \text{calc}} \cdot 100$
		kN	kN	kN	%
NSC	N1	1148	970	178	18
HPC	N2 ₁	1080	935	145	16
	N2 ₂	1043	935	108	12

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

Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

Shrnutí

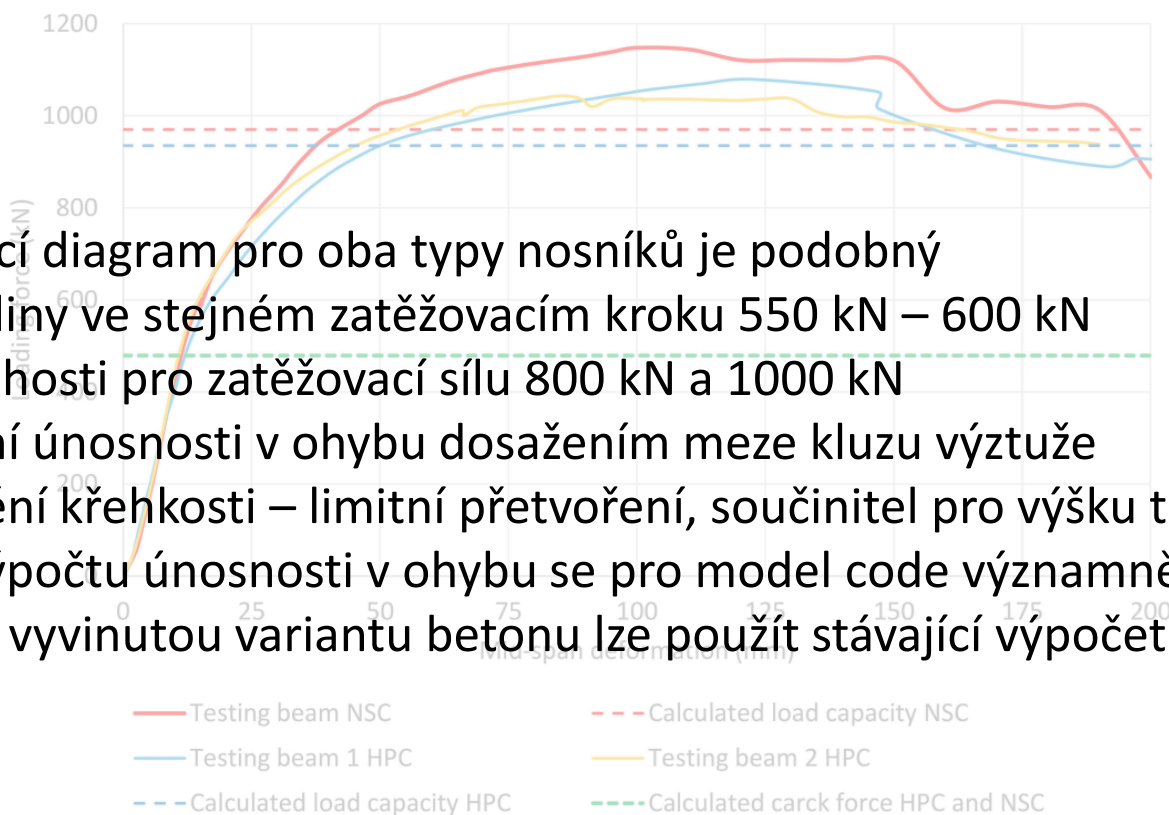


Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

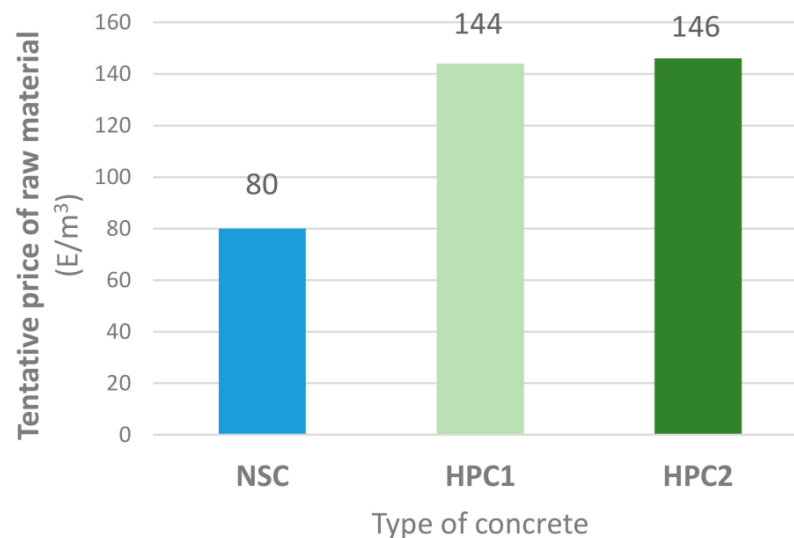
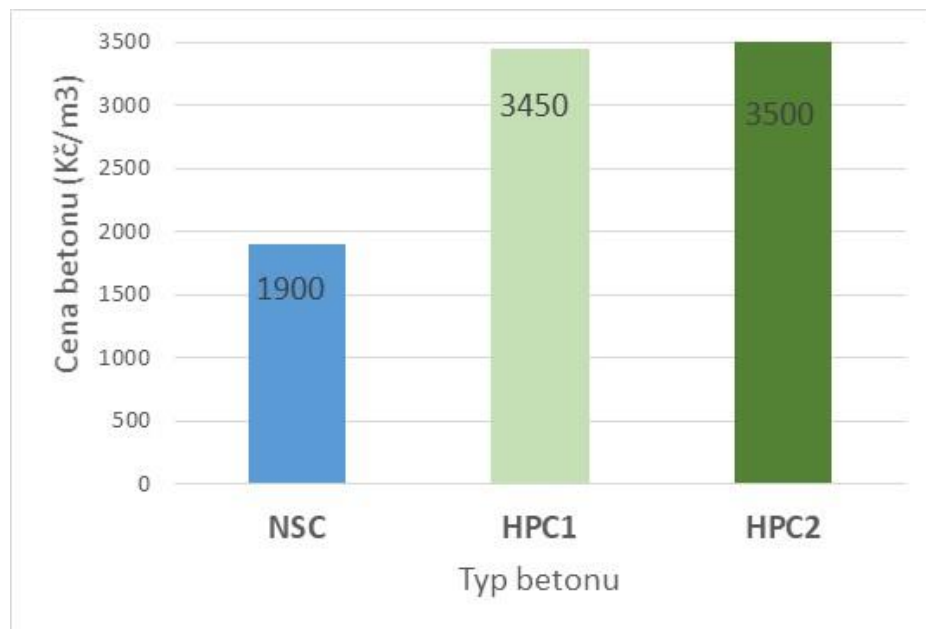
Testování nosníků v Experimentálním stavebním centru

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



Orientační stanovení ceny Cena betonu



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

Orientační stanovení ceny

Cena výztuže

- Cena nepředpjaté výztuže – 22,50 Kč/kg
- Cena předpjaté výztuže – 20,00 Kč/m



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

Orientační stanovení ceny

Porovnání – deskové nosníky

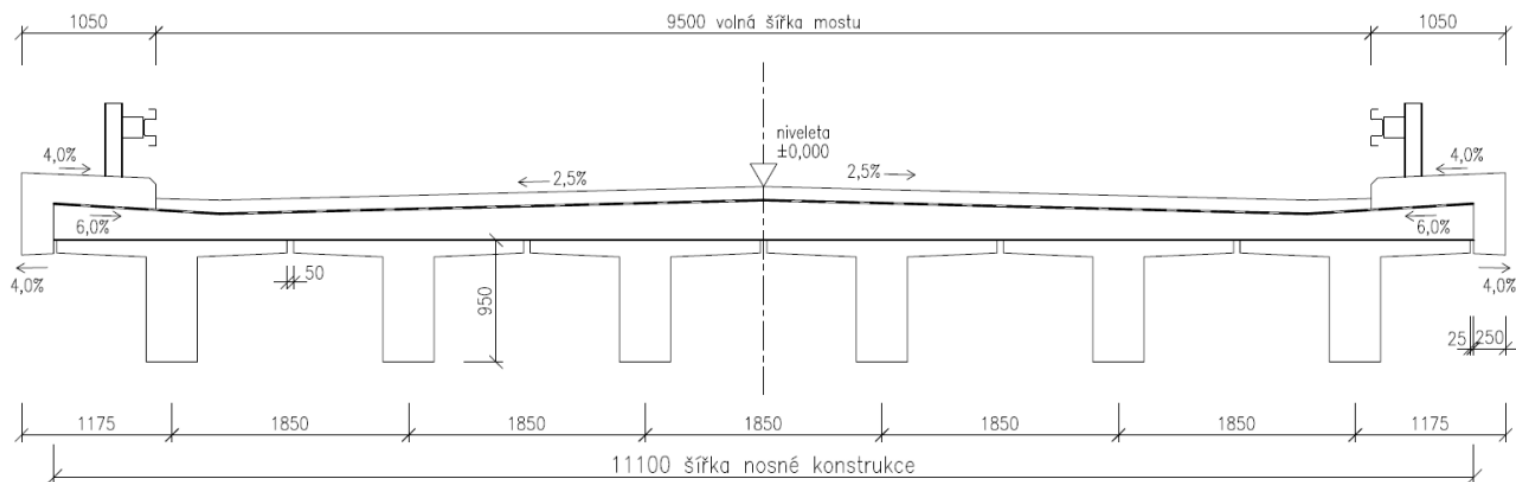
- Přibližně stejná spotřeba předpjaté i nepředpjaté výztuže
- Nárůst ceny je 40 %

	N1 (NSC)				N2 (HPC2)		
	množství	cena [Kč]	cena [E]		množství	cena [kč]	cena [E]
Beton [m3]	3,53	6707	283		3,28	11480	479
Předpjatá výztuž [m]	144	2880	130		144	2880	130
Nepředpjatá výztuž [kg]	190	4275	152		185	4163	148
Cena		13862	565			18523	757
Cena na 1 kN únosnosti		12,1	0,5			17,4	0,7

- Jedná se pouze o orientační náklady se započtením ceny materiálu
- Není zohledněna cena zabudované výztuže
- Není zohledněna o něco delší doba, potřebná k míchání HPC betonu
- Není zohledněna životnost/dopravní náklady atd

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

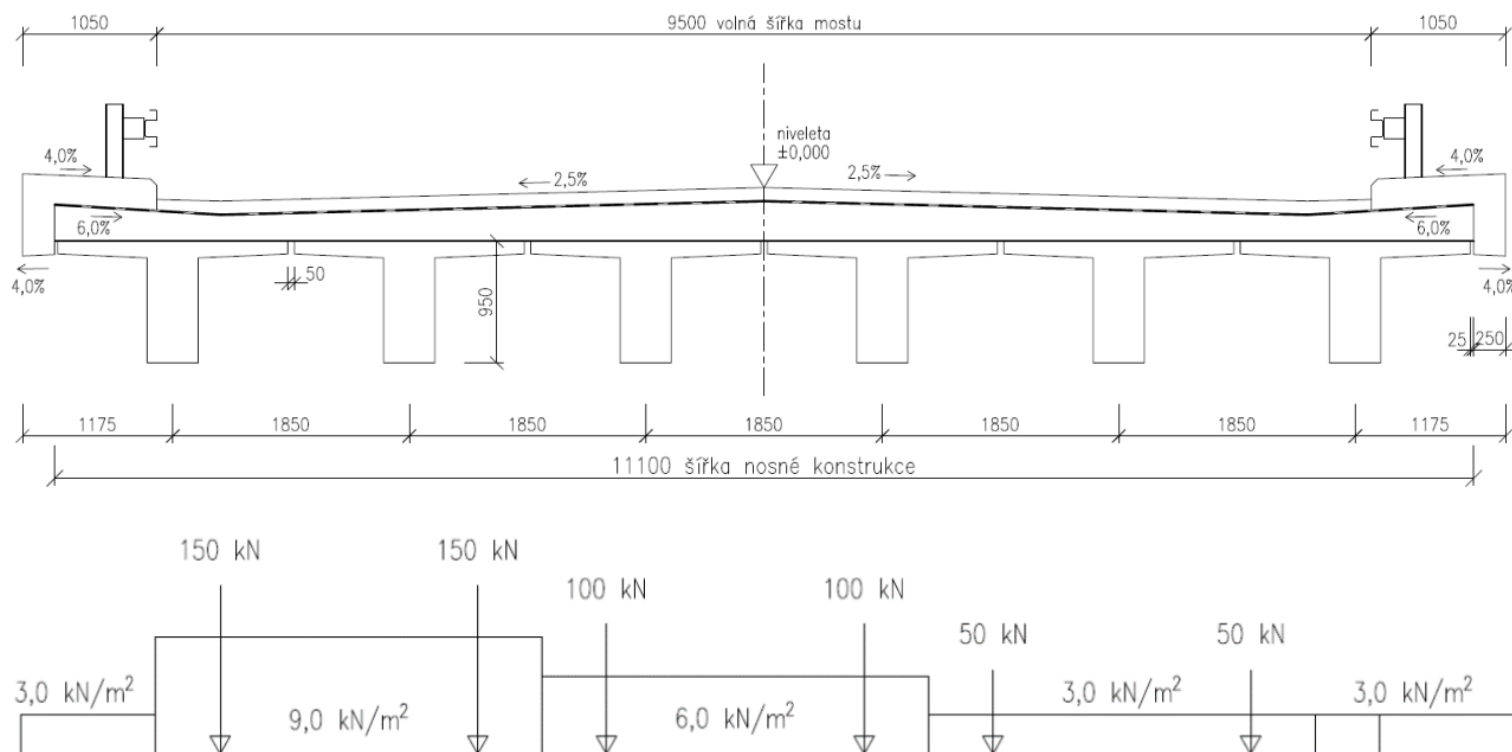
ANTON, Jan. Návrh prefabrikovaných mostních nosníků, 2019, diplomová práce, VŠB-TUO

DUTKO, Michal. Optimalizace návrhu předem předpjatých mostních nosníků, 2020, diplomová práce, VŠB-TUO

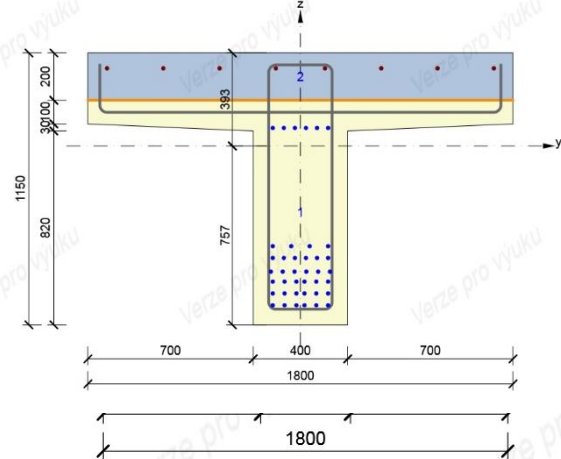
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu



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



é mostní nosníky z NSC a HPC

rostu

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

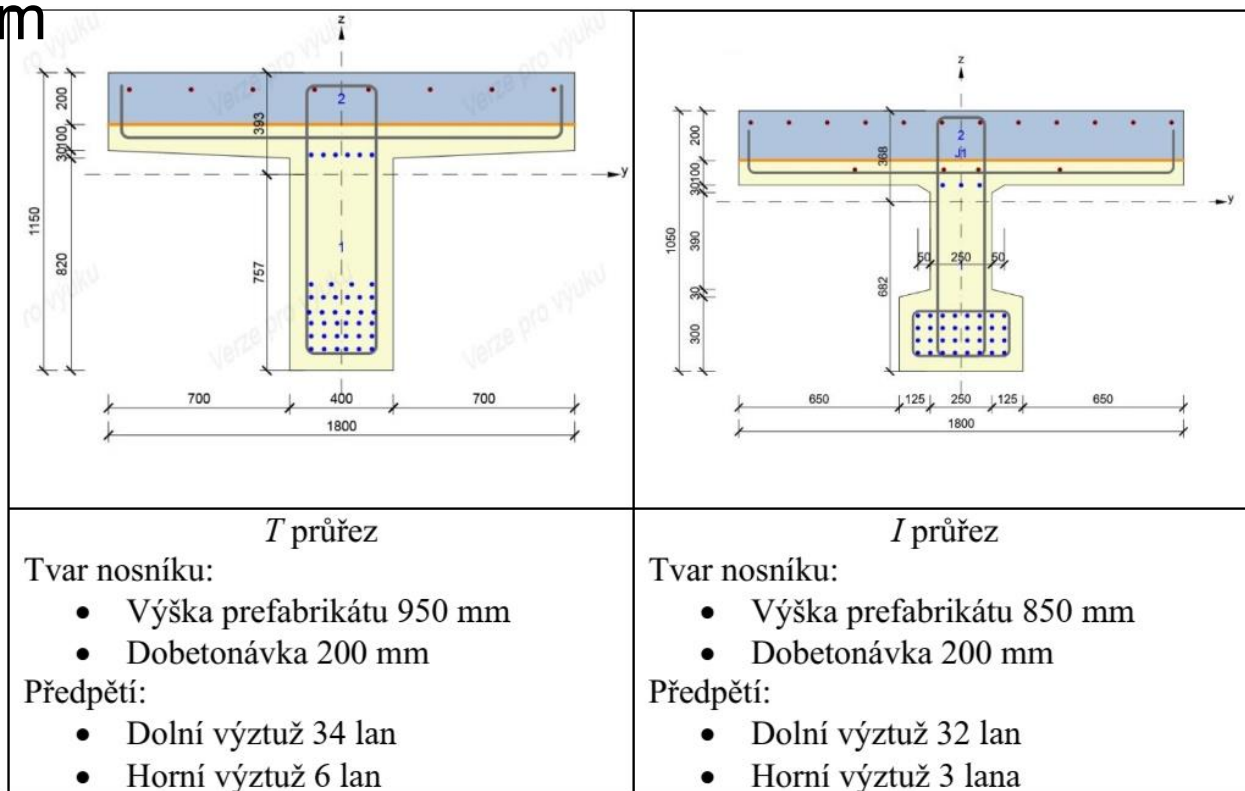
T nosník NSC

T nosník HPC2

Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

Rozpětí 20 m



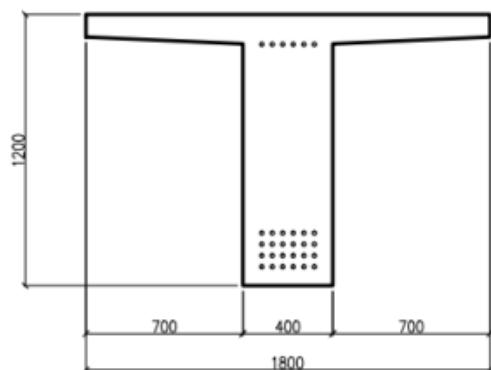
T nosník HPC2

I nosník HPC2

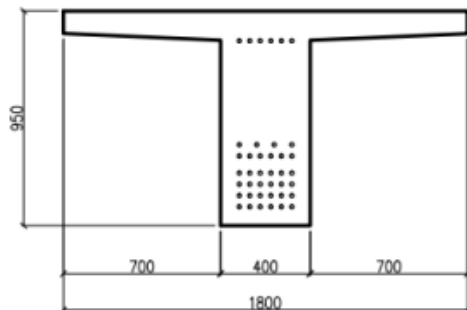
Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

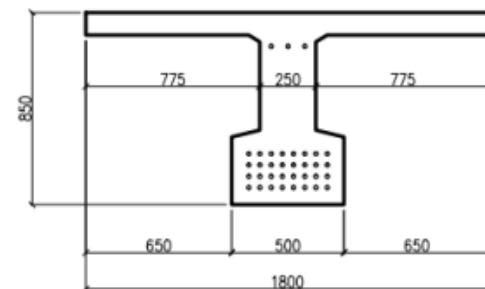
Rozpětí 20 m



NSC



HPC

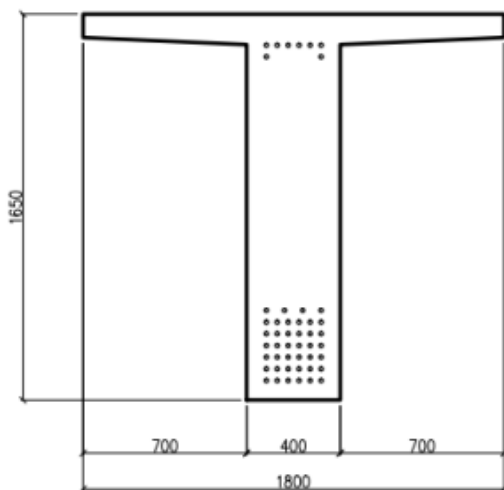


HPC optimalizovaný

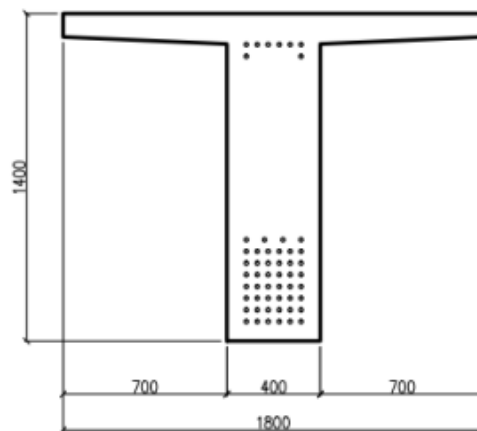
Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

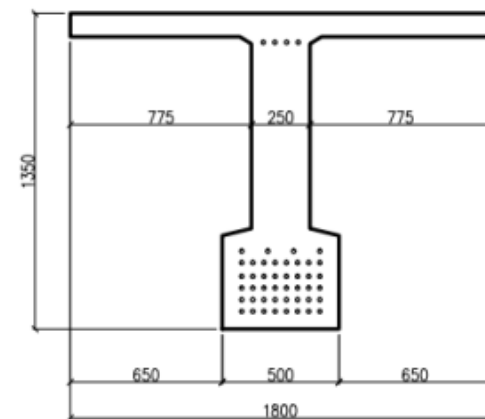
Rozpětí 30 m



NSC



HPC



HPC optimalizovaný

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

Porovnání výšky a plochy T nosníků

	NSC		HPC	
Rozpětí [m]	výška [mm]	plocha [m ²]	výška [mm]	plocha [m ²]
15	900	0.509	750	0.449
20	1150	0.629	950	0.529
25	1400	0.709	1200	0.629
30	1650	0.809	1450	0.729

Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

Porovnání počátečních nákladů na beton – T a I nosníky

	NSC T nosníky		HPC T nosníky		
Rozpětí	Objem prvku	Cena betonu	Objem prvku	Cena betonu	Nárůst ceny
m	m ³	tis. Kč	m ³	tis. Kč	%
15	7,64	13,74	6,74	22,23	62
20	12,58	22,64	10,58	34,91	54
25	17,73	31,91	15,73	51,89	63
30	24,27	43,69	21,87	72,17	65

(Porovnání nákladů je založeno na cenách surovin je tedy jen orientační)

Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

Porovnání počátečních nákladů na beton – T a I nosníky

	NSC T nosníky		HPC I nosníky		
Rozpětí	Objem prvku	Cena betonu	Objem prvku	Cena betonu	Nárůst ceny
m	m ³	tis. Kč	m ³	tis. Kč	%
20	12,58	22,64	9,05	29,87	32
30	24,27	43,69	18,36	60,6	39

(Porovnání nákladů je založeno na cenách surovin je tedy jen orientační)

Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

Porovnání počátečních nákladů na beton – T a I nosníky

Započtení ceny výztuže

		NSC – T beam				HPC – T beam		
Rozpětí [m]		množství	náklady [Kč]	náklady [E]		množství	náklady [Kč]	náklady [E]
20	Beton [m³]	13,2	25080	1056		11,1	38850	1622
	Předpjatá výztuž [m]	702	14040	632		936	18720	843
	Nepředpjatá výztuž [kg]	974	21915	779		780	17550	624
	Celkem		61035	2467			75120	3089
30	Beton [m³]	25,1	47690	2006		22,6	79100	3300
	Předpjatá výztuž [m]	1636	32720	1472		1840	36800	1656
	Nepředpjatá výztuž [kg]	2147	48308	1717		1843	41468	1475
	Celkem		128718	5195			157368	6431

Nárůst ceny 25 %

(Porovnání nákladů je založeno na cenách surovin je tedy jen orientační)

Předem předpjaté mostní nosníky z NSC a HPC

Studie silničního mostu

Porovnání počátečních nákladů na beton – T a I nosníky

Započtení ceny výztuže

		NSC – T beam			HPC – I beam			
Rozpětí [m]		množství	náklady [Kč]	náklady [E]		množství	náklady [Kč]	náklady [E]
20	Beton [m³]	13,2	25080	1056		9,1	31850	1322
	Předpjatá výztuž [m]	702	14040	632		820	16400	738
	Nepředpjatá výztuž [kg]	974	21915	779		694	15615	555
	Celkem		61035	2467			63865	2615
30	Beton [m³]	25,1	47690	2006		18,1	63350	2639
	Předpjatá výztuž [m]	1636	32720	1472		1636	32720	1472
	Nepředpjatá výztuž [kg]	2147	48308	1717		1653	37193	1323
	Celkem		128718	5195			133263	5434

Nárůst ceny 5 %

(Porovnání nákladů je založeno na cenách surovin je tedy jen orientační)

Závěr

Komplexní návrh nosníků 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

Provedené zatěžovací zkoušky potvrzují platnost metody pro výpočet ohybové únosnosti

Pomocí testů byla prokázána výrazně vyšší odolnost proti pronikání chloridů u HPC než u NSC

Cena HPC betonu je přibližně 1,9 krát větší než NSC

Orientační porovnání nákladů ve studii mostu, při započtení ceny výztuže, vede na 25% nárůst ceny nosníků z HPC oproti ceně nosníku z NSC

Při optimalizované variantě je nárůst ceny surovin 5 %

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

Děkuji za partnerům za spolupráci



žpsv



ÚSTAV FYZIKY MATERIÁLŮ
Akademie věd České republiky, v. v. i.



Akademie věd
České republiky

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

Děkuji za Vaši pozornost

Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.
Katedra konstrukcí
Fakulta stavební

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA