

PALÁC NAD ŘEKOU – PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH A POSOUZENÍ

Daniel Samek, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
daniel.samek.1@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Zadáním práce byl předběžný návrh a posouzení obytného mostu přes řeku Vltavu v Praze v katastrálním území Karlína a Holešovic.

Konstrukce je řešena jako dva předpjaté mosty z vysokohodnotného betonu (HPC), které jsou navzájem propojené lávkami. Nosná konstrukce je tvořena stěnami a deskami, které jsou navzájem rámově spojeny a působí jako prostorová komorová konstrukce.

Pro výpočet a návrh konstrukce byly vytvořeny dva modely ve výpočetním programu SCIA Engineer 19.1. První deskostěnový model sloužil pro globální analýzu konstrukce a předběžný návrh potřebného množství předpínací výztuže. Druhý deskostěnový model sloužil pro ověření konstrukce ve fázích výstavby mostu; u prvního podlaží se uvažuje letmá montáž s postupným vyvěšováním, další podlaží byla vybetonována na pracovní ploše tvořené prvním podlažím.

KLÍČOVÁ SLOVA

Palác nad řekou • Obytný most • Zavěšený most • Předpínací výztuž • Vysokohodnotný beton

ABSTRACT

The aim of this work was a preliminary design and assessment of a residential bridge over the Vltava River in Prague in the cadastral area of Karlín and Holešovice.

The structure is designed as two prestressed bridges made of high-performance concrete (HPC), which are interconnected by footbridges. The supporting structure consists of walls and plates, which are frame-connected to each other and act as a three-dimensional chamber structure.

Two models were created in the calculation program SCIA Engineer 19.1 for the calculation and design of the structure. The first slab-wall model was used for global analysis of the structure and preliminary design of the required amount of prestressing reinforcement. The second slab-wall model was used to verify the structure in the construction phases of the bridge. The first floor is considered a quick assembly with gradual suspension. The next floors were concreted on the surface formed by the first floor.

KEYWORDS

Palace above a river • Residential bridge • Cable-stayed structure • Prestressing reinforcement • High-performance concrete

1. ÚVOD

Cílem diplomové práce bylo navrhnout přemostění řeky Vltavy mezi městskými částmi Holešovicemi a Karlínem v Praze. Jednalo se o návrh dvou souběžných mostů vzájemně propojených dvěma lávkami. Návrh řešil mosty jako čtyřpatrovou budovu prostě uloženou na obou březích Vltavy.



Obrázek 1: Umístění stavby

Uvnitř mostů je v prvním podlaží počítáno s garážemi pro osobní automobily, které budou ohraničeny po stranách obchody. Tyto prostory jsou přístupné z venkovní galerie, která je navržena jako vykonzolovaná deska. Ve druhém a třetím podlaží se nachází vnitřní galerie pro shromažďování osob a kanceláře. V posledním čtvrtém podlaží jsou byty, kdy je strop nad nimi (střecha) řešen jako pochozí terasa se zelenou střechou.

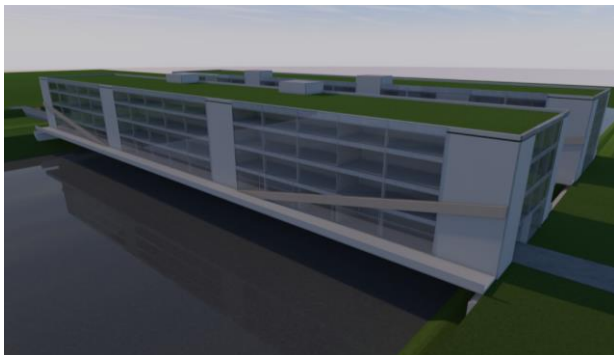
Diplomová práce byla rozdělena do tří částí. V první části této práce je technická zpráva popisující mostní konstrukci včetně postupů realizace.

Druhou částí je statický výpočet, který obsahuje výpočet zatížení a vstupních hodnot potřebných pro zadání do výpočetního programu SCIA Engineer. Součástí je i návrh předpětí mostů, posouzení napětí v podélném i příčném směru

* Školitel: doc. Ing. Roman Šafář, Ph.D.

na konstrukci v jednotlivých fázích výstavby i po dokončení mostů.

Poslední část obsahuje výkresovou dokumentaci, tj. výkresy tvaru mostu a výkresy jednotlivých fází postupu výstavby.



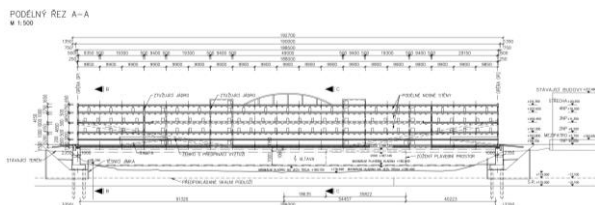
Obrázek 2: Vizualizace navrhované konstrukce

2. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU

2.1. Popis konstrukce

Konstrukce je řešena jako dva předpjaté betonové mosty propojené dvěma lávkami. Nosná konstrukce o čtyřech patrech je navržena jako rámová komorová konstrukce. Skládá se ze dvou svislých stěn, které probíhají přes všechna patra konstrukce, spojené rámově s pěti deskami tvořícími stropy jednotlivých pater. Stěny s deskami jsou propojeny přibližně ve čtvrtině šířky těchto desek. Na okrajích jsou jednotlivé desky propojeny sloupy a stěnami tvořícími ztužující jádra. Po dobu výstavby bude pod ztužující jádra doplněna i jejich dolní část tak, že se dosáhne jejich založení na poloskalní podloží pode dnem Vltavy. Takto se vytvoří provizorní pylony (věže), které se využijí pro postupné vyvěšování nosné konstrukce během výstavby. Po dokončení realizace mostů bude dolní část pylonů pod konstrukcí odstraněna.

Celková délka konstrukce je 190,0 m, šířka 104,5 m a výška činí 24,75 m.



Obrázek 3: Podélný řez konstrukcí

Most má jedno pole o rozpětí 188,0 m, které překonává řeku Vltavu a nachází se přibližně ve výšce 8,8 m nad její běžnou hladinou.

2.2. Založení mostu

S ohledem na zjištěné geologické poměry, únosnost skalního podloží a mocnost hornin překryvných útvarů, je založení opěr mostu zvoleno na pilotách o průměru 1200 mm. Naopak založení provizorních podpůrných věží při výstavbě mostu je uvažováno jako plošné pod hladinou řeky.

Krajní opěry a navazující křídla, které jsou na březích Vltavy, jsou založené na pilotách vetknutých do uvažovaného skalního podloží.

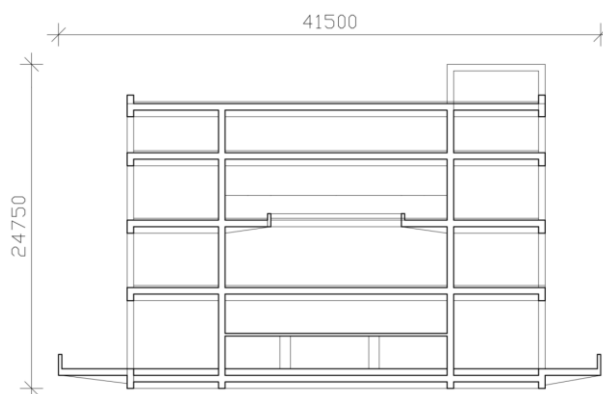
Podpůrné věže konstrukce, jež budou odstraněny po dokončení stavby, jsou založené na patkách se základovou spárou v hloubce přibližně 8,0 m pod hladinou řeky. Půdorysné rozměry mají 10 x 12 m a výšku 2 m.

2.3. Spodní stavba

Opěry jsou řešeny jako masivní ve svahu a založené na pilotách. Základový blok je vysoký 2,5 m, dřík s úložným prahem 8,3 m a celková výška závěrné zidky je 2,8 m.

2.4. Nosná konstrukce

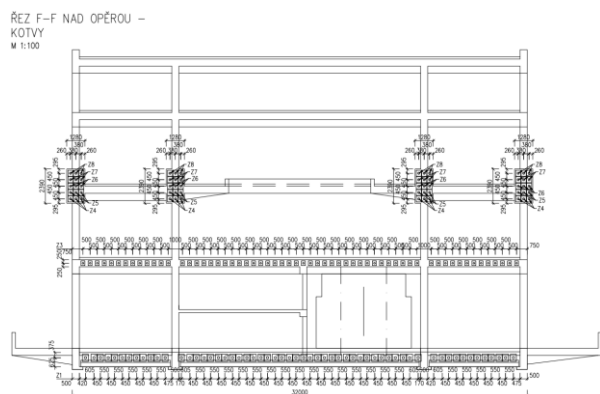
Nosná konstrukce z předpjátého vysokohodnotného betonu (HPC) o čtyřech patrech je navržena jako rámová na způsob komorového nosníku. Tvoří ji dvě svislé stěny na výšku celé konstrukce spojené rámově s pěti deskami tvořícími stropy jednotlivých pater. Stěny s deskami jsou propojeny přibližně ve čtvrtině šířky těchto desek. Na okrajích jsou jednotlivé desky propojeny sloupy a stěnami tvořícími ztužující jádra. Soustava stěn, desek a sloupů tak tvoří prostorovou rámovou konstrukci umožňující překonat požadovanou překážku. Tloušťky desek a stěn jsou 500 mm. Desky jsou řešeny jako žebrové. Žebra spodní desky mají průřez 300 x 500 mm, ostatní 500 x 500 mm. Krajní sloupy mají rozměry 500 x 500 mm a vnitřní sloupy 500 x 700-1000 mm.



Obrázek 4: Příčný řez nosnou konstrukcí

Celá konstrukce je nejen podélně, ale i příčně předepnuta. Podélné předpětí je umístěno do spodních dvou desek a ve spodní desce je odstupňováno podle potřeby. Desky jsou předepnuty z jejich čel. Dále je předpětí vnášeno do lomených žebek probíhajících přes celou délku mostu. Na každém mostě se nacházejí čtyři tyto žebra, jejich příčný řez má rozměry 1000 x 1600 mm. Stejně jako desky se žebra předpínají z jejich

čel umístěných v úrovni stropů nad druhým nadzemním podlažím.



Obrázek 5: Rozmístění kotel předpínací výtuže

2.5. Postup výstavby

Postup výstavby byl navržen tak, aby umožňoval realizaci rozsáhlé konstrukce nad širokou vodní překážkou s frekventovanou vodní cestou.

Nejprve se v řece vybudují provizorní podpůrné věže, které posléze budou tvořit ztužující jádra konstrukce. Následně se k těmto věžím osadí prefabrikované nosníky a připnou se předpínací tyčemi. Poté se konce nosníku spojí pomocí předpínací výtuže s vrcholy podpůrných věží a tím dojde k vyvšení nosníků, na které se následně osadí prefabrikované příčné nosníky. Tyto nosníky se zmonolitní a tím vznikne spodní žebrová deska. Připínání a vyvšování prefabrikovaných podélných a příčných nosníků a následné zmonolitnění se opakuje až do vytvoření celé žebrové desky přes celou překonávanou překážku.

Na takto vybudovanou konstrukci se budou realizovat další monolitická patra. Nejprve vzniknou nosné stěny, po nich sloupy a stěny ztužujících jader a následně po třech záběrech stropní konstrukce. Při postupu výstavby je uvažováno se záběrem umožňujícím betonáž až 1000 m³.

3. NÁVRH A POSOUZENÍ KONSTRUKCE

3.1. Zatížení

Ve výpočtu bylo uvažováno se stálým zatížením, a to s vlastní tíhou konstrukce, která byla generována výpočetním programem. Dále s ostatním stálým zatížením od podlah, pochozího střešního pláště, podlahy garáží a pevné jízdní dráhy. Dále bylo uvažováno užité zatížení různých kategorií, a to pro obchody, galerie, kanceláře, byty, pochozí střechu a garáže.

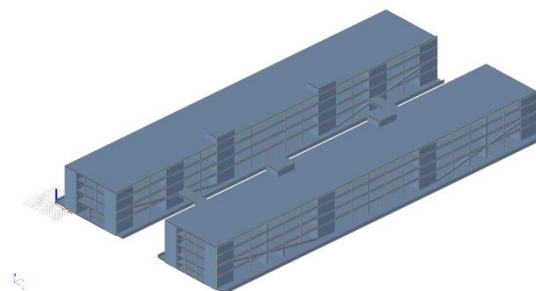
Bylo počítáno se zatížením od dopravy, a to model zatížení 1 – LM1 a model zatížení 4 – LM4. Dále se uvažovalo zatížení od tramvají, kdy se uvažovaly 3 tramvajové soupravy o 2 vozech v každém směru a následný jejich plošný roznos. Do výpočtu bylo dále zahrnuto zatížení chodci, zatížení teplotou jak rovnoměrnou (oteplení, ochlazení celé konstrukce), tak i teplotou nerovnoměrnou. Uvažovalo se s ohřátím/ochlazením horního/dolního/levého/právého

povrchu a jejich kombinací, a to jak konstantní změnou teploty, tak i lineární (po tloušťce desky) změnou teploty. Do výpočtu bylo zahrnuto i zatížení větrem, a to tlak i sání, včetně redukčního součinitele pro zastínění druhého mostu. A dále bylo uvažováno i s redukčními součiniteli pro užité zatížení, a to podle počtu podlaží a podle zatížené plochy.

3.2. Výpočetní model

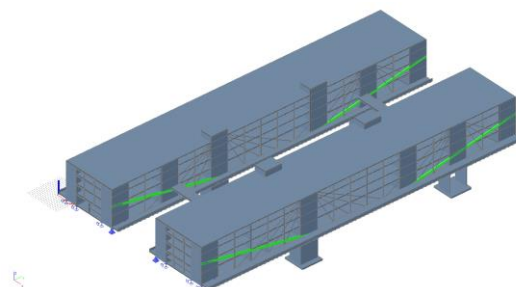
Pro zjištění vnitřních sil a napětí na konstrukci byl vytvořen deskostěnový model. Všechna spojení prvků byla uvažována jako rámová. Konce mostů jsou uloženy na pevných ložiscích a na jednosměrně nebo všesměrně posuvných ložiscích.

Provizorní podpůrné věže jsou ve spodní části vetknuty a s konstrukcí mostu jsou propojeny liniovými tuhými rameny. Věže pod úrovní mostu jsou modelovány jako prutové prvky, a to z důvodu postupu výstavby, ve kterém SCIA Engineer neumožňuje odebrání plošných prvků při tvorbě stavebních fází. Závěsy nejsou modelovány jako lana, ale jsou nahrazeny ocelovou tyčí s přepočteným průměrem odpovídajícím navrženým lanům v závěsech.



Obrázek 6: 3D model konstrukce – globální model

Postup výstavby byl rozdělen do 44 stavebních fází. Celkem bylo vytvořeno pro potřeby výpočtu 149 fází výstavby. V první fázi se nejdříve vybudují provizorní podpůrné věže konstrukce. V dalších etapách výstavby se k těmto věžím budou připevňovat prefabrikované nosníky pomocí předpínacích tyčí a poté se vyvěsí pomocí provizorních závěsů. Na takto zhotovené nosníky se následně položí příčné prefabrikované nosníky a ty se zmonolitní do žebrové desky. Na takto vytvořenou desku se v dalších fázích vytvoří monolitické stěny, sloupy a desky dalších pater.



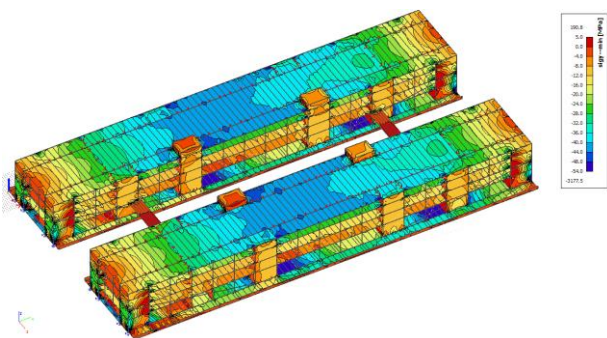
Obrázek 7: 3D model konstrukce – fáze výstavby

3.3. Výpočet a posouzení napětí

Výpočet a posouzení napětí na konstrukci je provedeno z hlediska mezních stavů použitelnosti ve všech stavebních fázích i na dokončené konstrukci a z hlediska mezních stavů únosnosti na dokončené konstrukci. Ve stavebních fázích je napětí na konstrukci posuzováno pro charakteristickou kombinaci zatížení. Na dokončené konstrukci je výpočet proveden pro zatížení v charakteristické a kvazistálé kombinaci jak v uvedení do provozu, tak na konci životnosti konstrukce. Na konstrukci jsou posuzována napětí v podélném i v příčném směru při horních i spodních vláknech.

Tabulka 1: Omezující podmínky napětí v konstrukci

Fáze	Kombinace	MSP	
		Tlak [MPa]	Tah [MPa]
Dokončená konstrukce	Charakteristická	48,0	5,0
	Kvazistálá	36,0	0
Stavební fáze	Stav. fáze - Charak.	54,0	4,1



Obrázek 8: Napětí na konstrukci s předpětím v MSÚ při uvedení do provozu

3.4. Návrh předpětí

Celá konstrukce je předepnuta, a to jak v podélném směru, tak i v příčném směru. Výpočet předpětí a potřebných počtů lan byl realizován v programu MS Excel a na globálním modelu ve SCIA Engineer. Podélné předpětí mostní konstrukce je realizováno pomocí přímých kabelů, které jsou vedeny v desce prvního a druhého nadzemního podlaží. Část kabelů ve spodní desce není dovedena až k opěře, ale je zakotvena dříve z důvodu snížení tlakových napětí v krajních částech konstrukce. Podélné předpětí konstrukce je dále realizováno předpínací výztuží v lomených žebrech, jež jsou na každé konstrukci čtyři. Všechny stropní desky jsou také předepnuty v příčném směru. Příčné předpětí je vneseno pomocí zvedaných kabelů. Tyto kabely jsou umístěny do žeber desek, a to jeden kabel do každého žebra.

Navržené předpětí je do výpočetního modelu zaneseno jako spojité zatížení, popřípadě jako bodová síla v místě jeho působení.

Pro návrh předpětí bylo pracováno s předpínacím systémem od firmy Freyssinet. Kabely jsou uvažovány pro vnitřní předpětí bez soudržnosti s monostrandy a injektáží vnější společné chráničky cementem. Použitá předpínací výztuž je průměru 15,7 mm s pevností 1860 MPa.

Výpočtem na globálním modelu konstrukce byla zjištěna hodnota předpínací síly, potřebné k přenesení zadaného zatížení. Konstrukci je nutné předepnout ve spodní desce kabely z 55 lan a zkrácenými kabely z 37 lan. Dále je potřeba předepnout desku druhého nadzemního podlaží pomocí kabelů z 22 lan. Další předpětí je do konstrukce vneseno pomocí kabelů z 37 lan vedených v lomených žebrech konstrukce. Předpětí je do konstrukce vnášeno po částech během výstavby konstrukce.

Navržené bylo i příčné předpětí v každé stropní desce. Toto předpětí desek je realizováno pomocí kabelu složeného ze sedmi lan, který je řešen jako zvedaný v rámci každého žebra desky.

Během výstavby je dále za potřeby předepnout vrcholy provizorních věží, a to v místě připojení provizorních závěsů. U každého závěsu je navržen předpínací kabel složený z 19 lan. Tyto kabely slouží pro přenesení tahových sil vznikajících od provizorních závěsů a jejich rektifikace.

4. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo provedení předběžného návrhu přemostění řeky Vltavy mezi městskými částmi Holešovicemi a Karlínem v Praze. Návrh byl zpracován do dvou souběžných mostů propojených společně dvěma lávkami. Mosty byly řešeny jako čtyřpatrová budova prostě uložená na obou březích Vltavy, která působí jako prostorová krabicová (komorová) konstrukce.

Navrhovaná konstrukce byla zkoumaná jako deskostěnový model, na kterém byly pomocí výpočetního programu SCIA Engineer 19.1 zjištěny napětí na jednotlivých prvcích.

Konstrukce byla nejdříve celá vymodelovaná ve výpočetním softwaru se zadanými parametry a veškerým zatížením. Na takto vytvořeném globálním modelu bylo dále zjištěno a navrženo potřebné množství předpínací výztuže.

V další části se navrhovaná konstrukce rozdělila na potřebný počet stavebních fází podle navrženého postupu výstavby. Postup výstavby byl zvolen jako postupné vyvšování spodní části konstrukce z prefabrikovaných nosníků a jejich následného zmonolitnění. Na takto vytvořenou žebrovou desku by se dále vytvořily další monolitická patra konstrukce. Všechny tyto fáze výstavby byly posouzeny pomocí výpočetního modelu. Dále byla celá konstrukce posouzena v dokončeném stavu na charakteristickou a kvazistálou kombinaci. Veškerá posouzení byla navržena pomocí omezení napětí na konstrukci.

Předběžný návrh konstrukce prokázal z globálního hlediska reálnost a proveditelnost navrhované konstrukce.

Další pokročilý návrh by bylo vhodné vypracovat podrobněji, a to pomocí detailnějšího výpočtu potřeby předpínací síly a optimalizace uspořádání a spotřeby předpínací výztuže. Například ve svislém směru pro sepnutí celé konstrukce. Dále bych ještě doporučil posoudit některá lokální místa pro omezení šířky tchlin.



Obrázek 9: Vizualizace navržené konstrukce

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Romanu Šafářovi, Ph.D., a to nejen za odborné vedení a rady, ale i za ochotu při konzultacích, motivaci při psaní a za vždy optimistickou náladu.

Reference

Diplomová práce

ČSN EN 1990 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-1:*

Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-4:*

Obecná zatížení – Zatížení větrem

ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-5:*

Obecná zatížení – Zatížení teplotou

ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 2:*

Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: *Navrhování betonových*

konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: *Navrhování betonových*

konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady

Šafář, R., Kukáň, V., Drahorád, M., Foglar, M. (2010),

Betonové mosty 1 – přednášky

Šafář, R., (2017), *Betonové mosty 2 – Přednášky*

Šafář, R., (2015), *Betonové mosty 2 – Cvičení – Návrh předpjatého mostu podle Eurokódů*

Projektové podklady – *Pons Pragensis 2018*

Firemní materiály – *Freyssinet*