

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Adam Mitrenga

2024

Alternativní návrh spřaženého dálničního mostu u Nitry

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jiří Jachan

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím zdrojů a literatury uvedených v seznamu použité literatury.

V Praze dne _____

Adam Mitrenga

Poděkování

Chtěl bych poděkovat prof. Ing. Pavlu Ryjáčkovi, Ph.D za odborné vedení této diplomové práce a cenné rady při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Jachanovi a Ing. Martinu Sedmíkovi z firmy Valbek, spol. s.r.o. za poskytnuté konzultace, rady a tipy při řešení této diplomové práce.


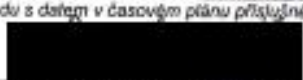
Děkuji také moji rodině za podporu při studiu.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Mitrenga</u>	Jméno: <u>Adam</u>	Osobní číslo: <u>468287</u>
Zadávající katedra: <u>K134 - Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Alternativní návrh spáženého dálničního mostu u Nitra</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Alternative design of the composite highway bridge in Nitra</u>	
Pokyny pro vypracování: Zpracování 3 variant řešení mostu a výběr efektivní varianty. Rozpracování zvolené varianty do podrobného statického posouzení NK. Zpracování přehledných výkresů mostu, výkresu montáže, výkres tvaru OK a výkazu materiálu. Ekonomické porovnání s realizovanou variantou.	
Seznam doporučené literatury: ČSN EN 1991-2, ČSN EN 1993-2	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>prof. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>4.9.2023</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>8.1.2023</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>4.9.2023</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
--	---

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navrhnout alternativní řešení mostu přes údolí Majerského potoka na Slovensku. V první části práce je zpracována rešerše na téma ocelobetonových spřažených mostů, včetně příkladů mostů z ČR a zahraničí. Následně jsou vybrány 3 alternativní varianty, tyto varianty jsou porovnány a je vybrána finální varianta. Finální varianta je poté zpracována do podrobného statického výpočtu, výkresů, a je provedeno ekonomické porovnání s realizovaným mostem.

Klíčová slova

most, spřažený ocelobetonový most, ocelový nosník, betonová deska

Abstract

The aim of this thesis is to propose an alternative design for the bridge over the valley of the Majerský stream in Slovakia. In the first part of the work, a research on the topic of steel-concrete composite bridges is prepared, including examples of bridges from the Czech Republic and abroad. Subsequently, 3 alternative variants are selected, these variants are compared and the final variant is selected. The final variant is then processed into a detailed static calculation, drawings, and an economic comparison with the realized bridge is performed.

Key Words

Bridge, steel-concrete composite bridge, steel beam, concrete slab

Obsah

1.	Rešerše	10
1.1	Historie ocelových a spřažených mostů a jejich použití v ČR	10
1.2	Konstrukční systém.....	12
1.2.1	Ocelová část.....	13
1.2.2	Betonová část.....	15
1.2.3	Spřahující prvky.....	18
1.3	Metody výstavby.....	19
1.3.1	Ocelová část.....	20
1.3.2	Betonová část.....	25
1.4	Přehled spřažených ocelobetonových mostů v ČR a zahraničí	30
1.4.1	Rozpětí 20 – 40 m.....	30
1.4.2	Rozpětí 40 – 60 m.....	33
1.4.3	Rozpětí 60 – 120 m.....	38
1.5	Normy a související předpisy	48
2.	Zadání diplomové práce.....	49
3.	Navržené varianty	50
3.1	Software na optimalizaci spřažených ocelobetonových mostů	50
3.2	Předpoklady optimalizace.....	51
3.3	Navržené varianty	52
3.3.1	Návrh č.1 - roštový systém s 6 nosníky	52
3.3.2	Návrh č.2 - roštový systém s 4 nosníky	53
3.3.3	Návrh č.3 - dvoutrámový systém.....	55
3.4	Porovnání navržených variant	57
3.5	Závěr	58
4.	Výkresová dokumentace navržených alternativních variant	59
5.	Statický výpočet.....	61
6.	Výkresová dokumentace finální varianty	62
7.	Ekonomické porovnání	63
8.	Závěr diplomové práce	64
9.	Seznam příloh	65
10.	References.....	66
11.	Seznam obrázků.....	68
12.	Seznam tabulek.....	70

1. Rešerše

Cílem rešerše je zavedení teorie týkající se spřažených mostů, která následně slouží pro rozhodnutí o navržených alternativních variantách k spřaženému ocelobetonovému mostu dle zadání.

První část (1.1) rešerše se zaměřuje na představení spřažených konstrukcí a jejich historický vývoj včetně vývoje ocelových mostů obecně. Dále je zde zmíněno použití spřažených mostů v ČR.

Druhá část rešerše (1.2) je věnována konstrukčnímu systému spřažených mostů. Popis konstrukce je zde proveden zvlášť pro ocelovou část (hlavní nosná konstrukce), betonovou část a část spřažení.

Třetí část rešerše (1.3) popisuje metody výstavby ocelových a spřažených mostů. Metody výstavby jsou zde také rozděleny pro jednotlivé části spřaženého mostu.

Poslední část rešerše (1.4) je tvořena přehledem spřažených mostních konstrukcí postavených v ČR i zahraničí.

1.1 Historie ocelových a spřažených mostů a jejich použití v ČR

Spřaženými konstrukce se obecně nazývají konstrukce, které v průřezu nosných prvků kombinují různé typy materiálů, jako například ocel, beton, dřevo, zdivo, nebo v posledních letech také sklo a karbon (1). Díky této kombinaci je možné efektivně využít takové vlastnosti daných materiálů, které jsou při namáhání výhodné jak už z hlediska statického, tak i například ekonomického. Jednou z nejčastějších kombinací v mostním stavitelství, kterou se i zabývá tato diplomová práce, je spojení ocele a betonu, respektive železobetonu. V tomto případě bývá betonová část navržena tak, aby byla využita vysoká pevnost betonu v tlaku. Naproti tomu, ocel přebírá co nejvíce tahových účinků zatížení, aby bylo předejito vzniku tahových trhlin v betonu. Mezi další charakteristiky ocelobetonových spřažených konstrukcí patří jednoduchá montáž, provádění a také vcelku nenáročná výroba ocelové části oproti ocelovým mostům s ortotropními mostovkami. (2)



Obr. 1 - most přes řeku Severn (3)

Prvním milníkem ve vývoji ocelových mostů až do dnešní podoby bylo použití litiny. Litina se v konstrukcích mostů používá od roku 1779, kdy byl uveden do provozu litinový obloukový most přes řeku Severn v Anglii (Obr. 1 - most přes řeku Severn). Tento most se skládá z pěti oblouků o rozpětí 30 m. Další podobné mosty z litiny byly následně vystavěny na konci 18. a začátku 19. století. (4) (1)

Na začátku 19. století zároveň začala výroba litinových výrobků válcováním, což umožnilo výrobu větších konstrukcí. Jednotlivé válcované části byly v té době spojované technologií nýtování. (4)

Vzhledem ke křehkosti litiny nebylo možné tento materiál použít pro výrobu nosníků. Z tohoto důvodu byla litina v polovině 19. století nahrazena při výrobě nosných částí mostů svařkovou ocelí, která měla lepší pevnost v tahu. (4)



Obr. 2 - Forth Bridge, Skotsko

Na konci 19. století pak začala výroba oceli pro použití ve stavebním inženýrství a s tím přišel rozmach ve výstavbě ocelových mostů. Jedním z prvních evropských ocelových mostů je Forth Bridge severozápadně od města Edinburgh ve Skotsku (Obr. 2). Tento most postavený v devadesátých letech 19. století má dvě hlavní pole o rozpětí 521 m. (4)

Na konci 19. století se také začaly objevovat první pokusy o spřažení ocelových a betonových prvků. Jednalo se o ocelové nosníky tvaru I zabetonované v betonové desce, kde tyto dvě části nebyly nijak montážně propojeny a jejich interakce nebyla při návrhu uvažována. (5)

Až do 40. let 20. století nenastal ve vývoji spřažených konstrukcí a mostů žádný významný posun. Vývoj ocelových a betonových mostů probíhal odděleně, kdy ocelové mosty byly navrhovány pro velká rozpětí a železniční tratě, a betonové mosty měly uplatnění pro menší rozpětí a silniční stavitelství. (5)

Významným okamžikem v historii spřažených mostů byl začátek výroby spřahovacích trnů firmou Nelson Stud Welding Company na konci první poloviny 20. století. Tyto trny jsou dodnes nejvíce používaným spřahovacím systémem po celém světě. (6)

Ve druhé polovině 20. století začala produkce plnostěnných svařovaných nosníků. To bylo umožněno především díky výrobě (válcování) ocelových prvků větší tloušťky, a také nově zavedené technologii svařování. Do té doby byly ocelové nosníky nýtovány. (4)

Od začátku 21. století dochází k nárůstu navrhování a výstavby ocelových a spřažených mostů malých a středních rozpětí, kde v minulosti byly preferovány mosty železobetonové a z předpjatého betonu. Tento nárůst je důsledkem vývoje (4):

- Vývoje oceli vyšší kvality a pevnosti.
- Vývoje v technologii svařování.
- Geometricky přesnější výroby ocelových konstrukcí.
- Možnosti zvedací techniky pro velká a těžká břemena.

V České republice lze spatřit ocelové mosty především na železničních tratích. U silničních mostů byly historicky preferovány spíše mosty z předpjatého betonu, a to díky vysoké technické úrovni a zkušenostem s použitím předpjatého betonu. Jak je již zmíněno výše, od začátku 21. století se u nás spřažené mosty začínají více uplatňovat i v silničním stavitelství, protože jsou cenově konkurenceschopnými s betonovými mosty.

1.2 Konstrukční systém

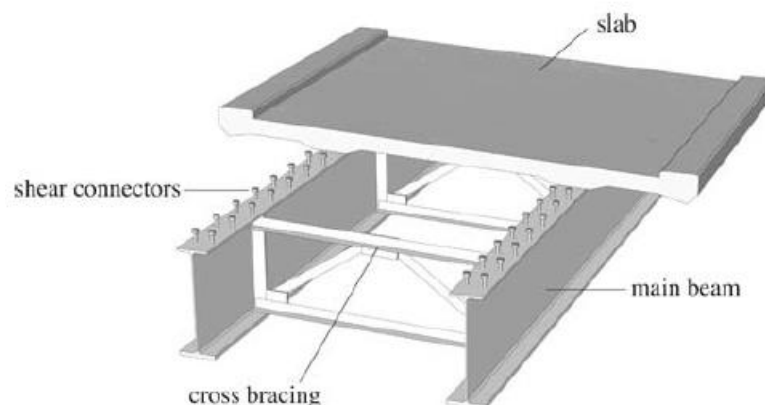
V dnešní době nejvíce navrhovaným typem spřažené konstrukce v mostním stavitelství je spojení ocelové nosné konstrukce (plnostěnné, příhradové) a železobetonové desky. Toto spojení je provedeno spřahovacími trny nebo jiným prvkem k tomu určeným.

Spřažené mosty lze navíc dělit podle typu dopravy na:

- Silniční
- Železniční
- Lávky pro chodce

Protože zadáním této diplomové práce je variantní návrh mostu silničního, nebudou ostatní kategorie dále diskutovány.

Na následujícím obrázku je zobrazen příčný řez typickou spřaženou mostní konstrukcí (4):



Obr. 3 - prvky spřažené konstrukce mostu (4)

Ocelovou část spřaženého mostu na Obr. 3 tvoří dva hlavní nosníky s příčným příhradovým ztužením. Příčné ztužení zvyšuje stabilitu hlavních nosníků, přispívá ke

ztužení konstrukce a pomáhá roznášet zatížení. Může být ve formě jak příhradové konstrukce, tak diafragmatu nebo příčnicků tvaru I. (4)

Betonová část sprážených mostů je tvořena železobetonovou deskou různé tloušťky v závislosti na počtu hlavních nosníků, zatížení a geometrii mostu. (4)

Oblast použitelnosti sprážených ocelobetonových mostů je přibližně od rozpětí 35 m, kdy se začínají tyto konstrukce z hlediska ceny blížit deskovým mostům z předpjatého betonu. V praxi lze ovšem nalézt sprážené ocelobetonové mosty již od rozpětí 20 m (5). Sprážené mostovky mohou být navíc součástí obloukových, zavěšených či visutých mostů.

1.2.1 Ocelová část

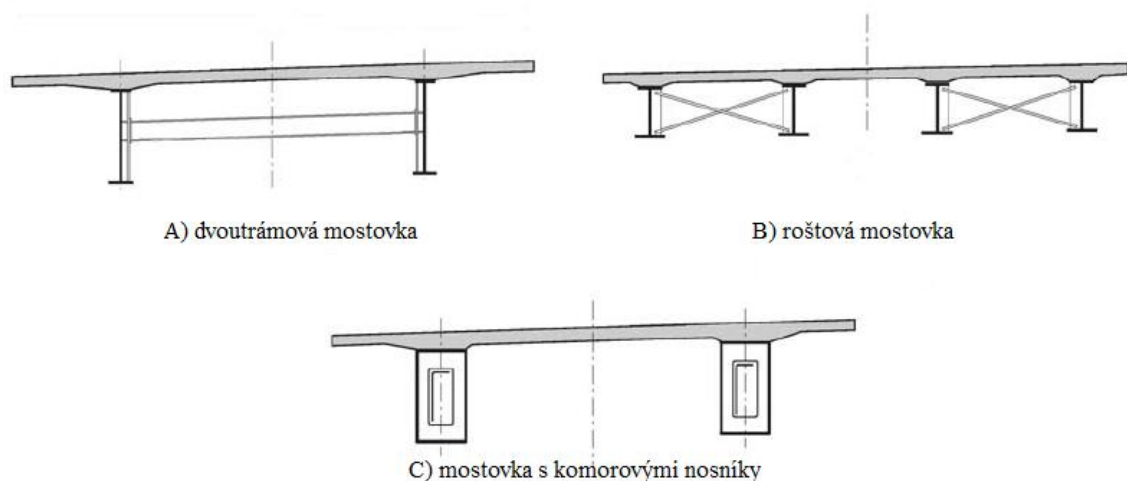
Ocelovou část sprážených mostů tvoří hlavní nosníky nebo komora, příčné, podélné či další typy vyztužení. Obecně lze hlavní nosné konstrukce *silničních* sprážených mostů rozdělit na:

- Otevřené (nosníky tvaru I, komorové nosníky)
- Uzavřené (komorové průřezy)

Rozdíl mezi těmito dvěma skupinami z hlediska statického je v přenášení excentrického zatížení, neboli zatížení působícího mimo osu symetrie hlavní nosné konstrukce. Takové zatížení působí na konstrukci krutíci účinky. (4)

Otevřený průřez

Jedná se o trémovou nosnou konstrukci skládající se z 2 a více hlavních nosníků. Pokud jsou hlavní nosníky dva, hovoříme o *dvoutrémové* konstrukci (Obr. 4 A). V případě použití více nosníků s jedná o konstrukci *roštovou* (Obr. 4 B). Nosníky jsou tvořeny v převážné většině svařovanými nebo válcovanými nosníky tvaru I, ale možné je i použití uzavřených *komorových nosníků* (Obr. 4 C). (4) (7)



Obr. 4 - typy nosných konstrukcí s otevřeným průřezem (4)

Roštový nosný systém se navrhuje pro nejmenší rozpětí od 20 m až do přibližně 40 m, kdy tato konstrukce již přestává být ekonomicky výhodná ve srovnání s dvoutrémovou mostovkou. Výhody roštové mostovky jsou: malá konstrukční výška, menší hmotnost ocelových nosníků, a také možnost návrhu širší betonové desky, než u dvoutrémové

konstrukce. Roštové mostovky jsou spřaženy s betonovými deskami o tloušťce 0,22 až 0,25 m. (8) (5)

Dvoutrámový nosný systém je vhodný pro rozpětí od 40 m až 100 m. Jeho výhoda oproti roštové mostovce, mimo již zmíněné větší rozpětí, je montáž menšího počtu nosníků. Spřažené betonové desky dvoutrámových mostovek jsou běžně v tl. 0,35 – 0,55 m nad hlavními nosníky, a 0,25 – 0,30 m mezi nosníky a v místě vykonzolování betonové desky. (5)

Komorové nosníky lze použít jako hlavní nosnou konstrukci od rozpětí 60 m pro dosažení větší torzní tuhosti ve srovnání s nosníky tvaru I. To má za následek odpadnutí návrhu a montáže rozsáhlého příčného a podélného ztužení hlavní nosné konstrukce. (5) (4)

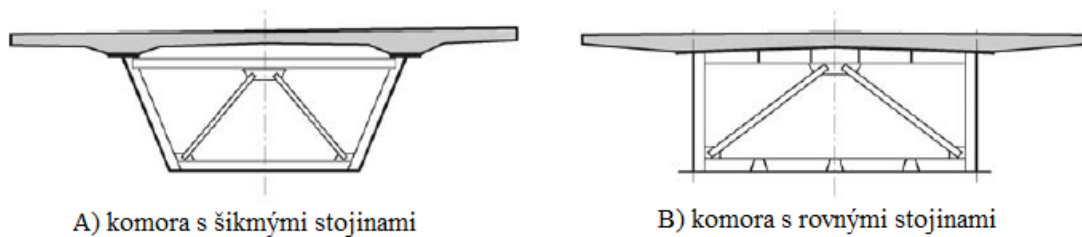
Konstrukční výška hlavních nosníků u otevřeného průřezu závisí na statickém systému a rozpětí mostu, kdy poměr mezi rozpětím polí a výškou hlavních nosníků L/h je (4):

- 12 až 18 pro prosté nosníky
- 20 až 28 pro spojitě nosníky

Uzavřený průřez

Uzavřeným průřezem u spřažených mostů se nazývá komorový hlavní nosník tvaru U, který je spřažený s betonovou deskou. *Komora* se skládá zprv, z dolní široké pásnice, která je navíc běžně vyztužená podélnými výztuhami. Zadruhé, ze stěn komory, které mohou být buď svislé (Obr. 5 B) nebo šikmé (Obr. 5 A) pod úhlem 15 až 25° od svislé roviny. Zatřetí, z horních pásnic spojených s betonovou deskou. (5)

Výhodou návrhu šikmých pásnic je menší vzdálenost mezi ložisky, a tím pádem menší rozpětí nadpodporového ztužení (příčníky, diafragma) (4). Na druhou stranu, pokud má komorový most zakřivenou geometrii, šikmé stěny mají tvar komplikovaný na výrobu.



Obr. 5 - typy nosných konstrukcí s uzavřeným průřezem (4)

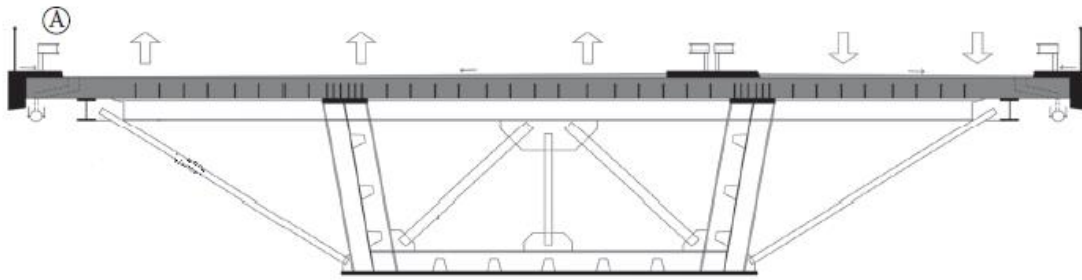
Komorové spřažené mosty se navrhují při rozpětích 50 až 150m. Jedná se tedy o mostovky určené pro větší rozpětí než průřezy otevřené. (4)

Díky vyšší únosnosti průřezu je konstrukční výška komor menší než u I nosníků nebo komorových nosníků. Poměr mezi rozpětím mostu a výškou komory L/h je v intervalu (4):

- 20 až 25 pro prosté nosníky
- 25 až 30 pro spojitě nosníky

Mosty s více než dvěma jízdnicími pruhy jsou obvykle rozděleny na dvě souběžné mostní konstrukce. To umožňuje převedení dopravy na jednu z konstrukcí v případě uzavření té

druhé. V případě, že je preferováno navrhnout pouze jeden mostní objekt, vzniká široká komorová konstrukce se systémem podélných a příčných výztuh (Obr. 6).



Obr. 6 - komorová konstrukce pro vícepruhovou komunikaci (5)

Kromě hlavní nosné konstrukce lze na Obr. 6 vidět podélníky, podpírající na koncích betonovou desku, které jsou podepřeny diagonálními ocelovými výztuhami. Betonová deska je podepřena příčníky a podélníky po celé své délce a diagonálním vyztužením mezi stěnami komory. Návrh tohoto příčného řezu se uplatní u mostů s šířkou větší než 20 m. (4)

1.2.2 Betonová část

Betonové desky spřažených mostů jsou svými detaily a návrhem často velmi podobné betonovým prvkům mostů ze železobetonu či předpjatého betonu. Obecně je hlavním účelem desky mostovky přenášet zatížení od dopravy a jiné zatížení do hlavní nosné konstrukce. U spřažených mostů je navíc další funkcí betonové mostovky zvýšení ohybové tuhosti mostu. Dále železobetonová deska působí jako vodorovné ztužení mostu, přenáší vodorovné síly do podpor, a také zajišťuje stabilitu horních pásnic proti klopení. (4)

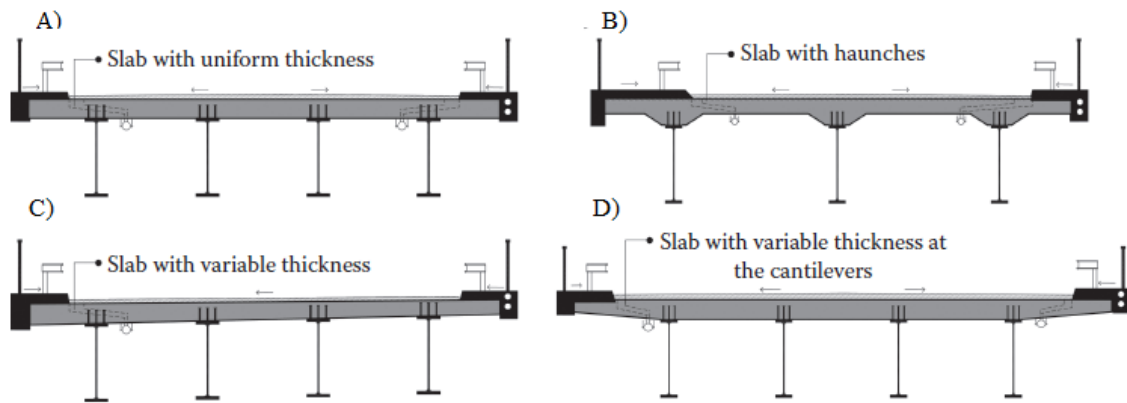
Betonové desky spřažených mostů můžeme rozdělit na:

- Monolitické železobetonové desky
- Částečně prefabrikované železobetonové desky
- Plně prefabrikované železobetonové desky

Monolitické železobetonové desky

Nejvíce navrhovaným a realizovaným typem desky je monolitická železobetonová deska betonovaná na stavbě. Její výhodou je tvarová variabilita i pro velmi šikmé mostní konstrukce. Její výstavba je provedena buď na pevné podpěrné skruži, obvykle pro kratší mosty, či pomocí posuvného bednění. Speciální, a také málo častou metodou, je podélný výsuv železobetonové desky. (4)

Další výhodou tohoto typu mostovky je navíc to, že technologie její výstavby je poměrně jednoduchá a dostupná pro většinu dnešních dodavatelů. To se obvykle projevuje nejnižší cenou ze všech typů desek. Nevýhodou je problematické betonování při nízkých teplotách, delší výstavba, velké smršťování betonu desky a množství použité oceli. (7)

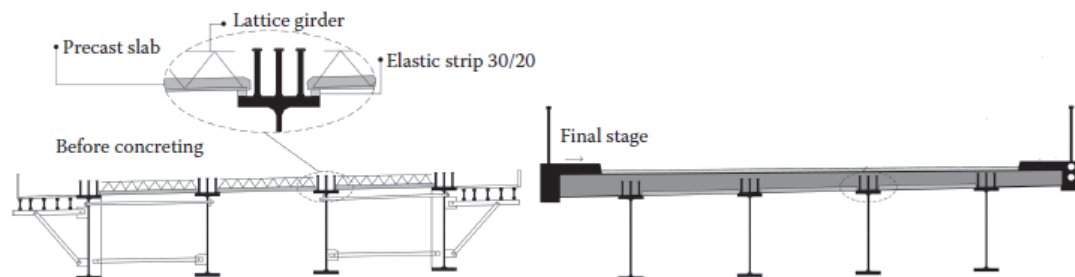


Obr. 7 - tvarové možnosti monolitických desek (7)

Monolitické desky mohou mít také různé tvary v závislosti na šířce mostu, počtu nosníků, vzdálenosti mezi nosíky a také celkové geometrii mostu, jak lze vidět na Obr. 7. Nejjednodušší z pohledu návrhu i výstavby jsou desky s konstantní tloušťkou, které se používají pro šířkově menší mosty s malým rozpětím. Obvyklá tloušťka se v tomto případě pohybuje mezi 220 až 250 mm. Pro širší desky je vhodné použít vylehčené desky s tloušťkou zmenšující se směrem ke krajům konzol. Při velké osové vzdálenosti nosníků, a hlavně tedy u dvoutrámových mostů, se obvykle provádějí náběhy desky nad hlavními nosíky pro ztužení desky. (7)

Částečně prefabrikované železobetonové desky

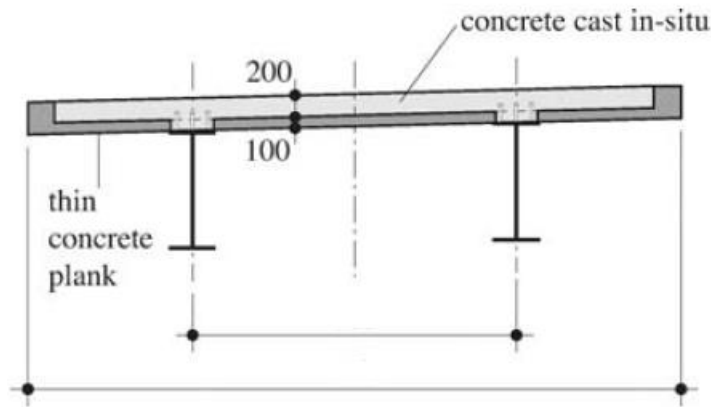
V případě nutnosti urychlit výstavbu, vynechání podpěrných skruží a bednění či redukování účinků smrštění betonu, je možné použít částečně prefabrikované betonové desky o tloušťce mezi 70 do 100 mm vyztužené filigránovými příhradovými nosíky. (7)



Obr. 8 - částečně prefabrikovaná deska z filigránových panelů (7)

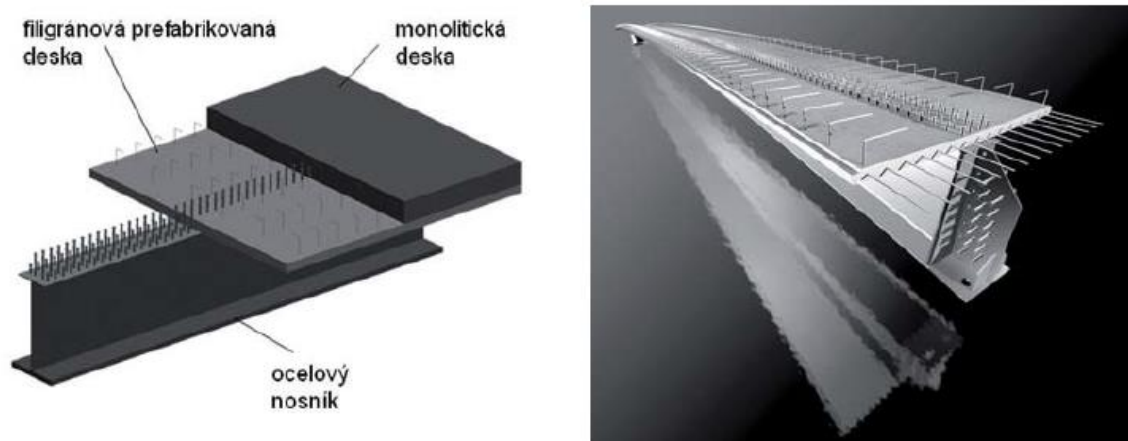
Betonové desky z filigránovými nosíky slouží především jako ztracené bednění při výstavbě, čímž odpadá potřeba skruže mezi nosíky. Toho se často využívá u mostů, které překlenují železniční trať či jinou komunikaci, a je tedy pod most omezený přístup. Po montáži filigránových panelů je provedena betonáž desky do navržené tloušťky, jak lze vidět na Obr. 8, a po zatvrdnutí betonu je možné výztuž panelů uvažovat při výpočtu celkové únosnosti desky. (7)

Slabou stránkou tohoto typu desky jsou spoje mezi jednotlivými panely a jejich účinek na celkový spřažený průřez. Z toho důvodu je nezbytné tyto spoje omezit a úseky desky navrhovat v minimálních délkách 8 až 10 m. Také je obvykle výhodné spoje mezi deskami vyplnit maltou s nízkým smrštěním. (7)



Obr. 9 - prefabrikovaná vanička s konzolami pro betonáž desky (4)

Další možností pro mosty s osovou vzdáleností hlavních nosníků do 3,0 m je použití tzv. vaniček vyztuženými filigránovými panely, nebo trapézové plechy. Jak lze ale vidět na Obr. 9, v tomto případě jsou podepřeny i konzoly desky, a odpadá tím pádem úplně nutnost podskružení. (4)

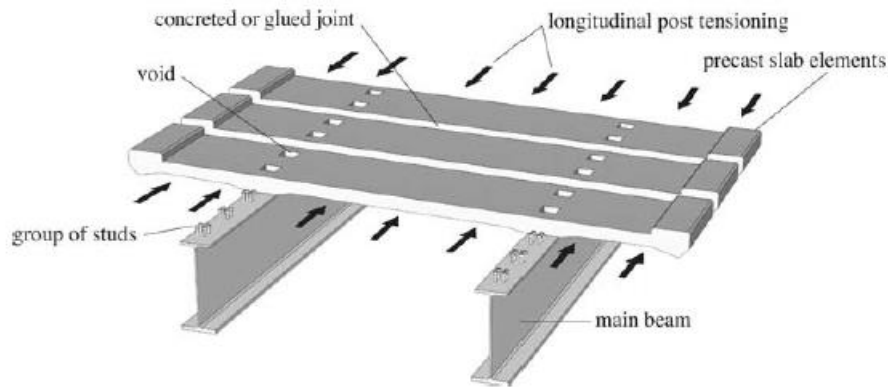


Obr. 10 - technologie VFT (9)

Jedním z moderních poloprefabrikovaných systémů jsou nosníky VFT (Obr. 10). Tento systém se skládá ze svařovaného ocelového nosníku a filigránové desky ze železobetonu, provedené buď ve výrobě nebo na staveništi. Po osazení na podpory je dobetonována monolitická železobetonová deska a filigránová deska slouží jako ztracené bednění. Výhodou tohoto systému je rychlá výstavba, optimální využití materiálu a vysoká hospodárnost, protože filigránová deska spolupůsobí ve spřaženém průřezu v konečném i montážním stavu. Použití lze nalézt u přemostění železničních tratí a silničních komunikací, kde je potřeba zredukovat dobu montáže na minimum. (9)

Plně prefabrikované železobetonové desky

V prostředí, kde je složitá či není vůbec umožněna betonáž je možné využít prefabrikované železobetonové segmenty vyrobené v blízkosti staveniště nebo ve výrobě betonových konstrukcí. Tak jako v předchozím případě u ztraceného bednění, výhodou je především rychlost výstavby, odpadnutí výstavby skruže a také možnost provedení v extrémních teplotách. (7)



Obr. 11 - prefabrikovaná železobetonová spřažená deska

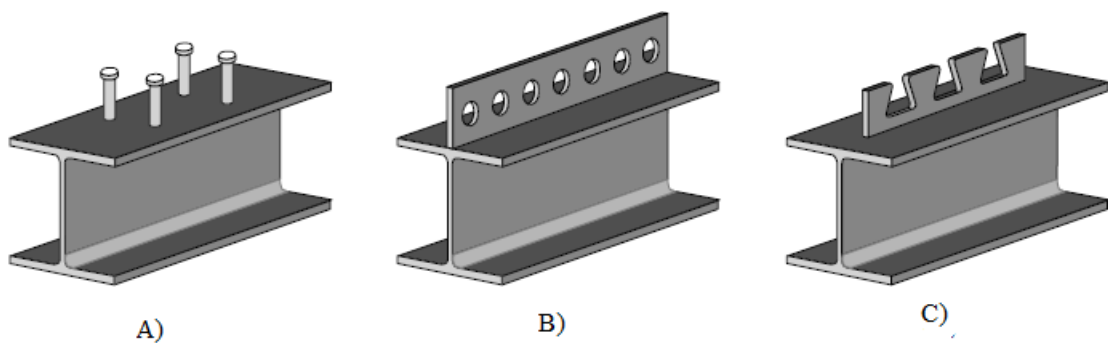
Obvyklá délka segmentů je kolem 2 m a jsou v nich umístěny otvory pro spřahující prvky podle Obr. 11. Otvory jsou po osazení segmentu a geometrické konfiguraci zality vysokopevnostní maltou či betonem. Nutné je také aby spoje jednotlivých segmentů byly vždy zatíženy tlakem v podélném směru. K tomu se využívá podélné předpětí pomocí kabelů, což může způsobovat přetížení spřahujících prvků či betonového průřezu. (7) (4)

1.2.3 Spřahující prvky

Spřahující prvky zajišťují přenos sil a spolupůsobení mezi hlavními nosníky a betonovou deskou. V případě, že by nebyly tyto dvě části nijak propojeny, chovaly by se jako dvě nezávislé konstrukce. Spřahující části musí být tedy schopné přenést vodorovné síly, které vznikají mezi deskou a nosníky, a také vzednutí desky od nosníků. (5) (4)

Základní dělení spřahujících prvků je na:

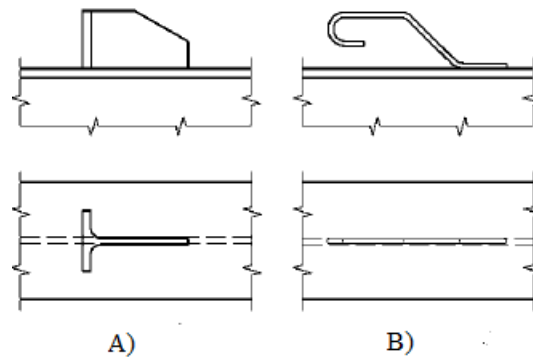
- Pružné
- Tuhé



Obr. 12 - pružné spřahovací prvky (6)

Pružné spřahovací prvky umožňují značnou deformaci při návrhu na mezní stav únosnosti (MSÚ). Naopak v mezním stavu použitelnost (MSP) jsou navrženy na přibližně 50% svojí pevnosti, aby byla deformace omezena. Mezi nejpoužívanější pružné spřahovací prvky na světě patří spřahovací trny (Obr. 12 A), které vyvinula ve 40. letech minulého století firma Nelson Stud Welding Company. Jejich nevýhodou jsou problémy při únavovém namáhání, a také potřeba speciální svářečské technologie včetně 225 kVA napájení na stavbě či výrobě. Trny mají u mostů obvykle délku alespoň 150 mm a obvyklý průměr 22 mm. V 80. letech byly potom vyvinuty perforované lišty (Obr. 12 B)

pro konstrukci mostu ve Venezuele. Jedná se o ocelovou lištu obvykle navařenou do horní pásnice nosníku ve výrobně ocelových konstrukcí. Jejich spolupůsobení je uvažováno jako tření mezi lištou a betonem a semknutí mezi lištou a ocelovou výztuží umístěnou v otvorech lišty. Její nevýhoda je složité umístění ocelové výztuže skrz lištu, které musí být přesné. Jako poslední pružný spřahovací prvek na Obr. 12 C je tzv. CR connector. Ten je považován za alternativu perforovaných lišt s tím, že umístění výztuže je snadnější díky větším otvorům v CR liště. (6) (4)



Obr. 13 - tuhé spřahovací prvky (4)

Tuhé spřahovací prvky se používaly hlavně v 60. a 70. letech minulého století a dnes se již téměř nevyskytují. Jejich porušení v MSÚ je buď selháním svaru mezi spřahovacím prvkem a nosníkem, nebo drcením betonu v okolí prvku. Mezi tyto prvky patří tzv. ocelový blok (Obr. 13 A), který je tvořen přivařeným ocelovým profilem tvaru T nebo úhelníkem, a tzv. kotva (Obr. 13 B). Ta může být vyrobena například z betonářské výztuže. (5) (4)

1.3 Metody výstavby

Zvolená metoda výstavby mostní konstrukce významně ovlivňuje již samotný návrh mostu. Pro většinu mostů středních a dlouhých rozpětí je namáhání hlavní nosné konstrukce, příčné a podélné výztuže, a dalších ztužujících prvků, nejvíce kritické při samotné výstavbě konstrukce. Z toho vyplývá, že metoda výstavby by měla být rozhodnuta v ranné fázi návrhu projektu. (7) (4)

Při volbě metody, kterou bude mostní konstrukce vystavena je zapotřebí uvažovat následující okolnosti (10) (4):

- Typ navrhovaného mostu
- Podmínky v okolí staveniště
- Technologické možnosti dodavatele
- Možnosti postavení zdvihacích jeřábů na staveništi
- Zkušenosti dodavatele
- Vzdálenost výroby ocelových konstrukcí a její technologické možnosti
- Požadavek na rychlost výstavby
- Dopad na životní prostředí

V dnešní době je navíc jedním z hlavních faktorů ovlivňující proces výstavby ekonomická efektivita výstavby, která je ovlivněna i narůstajícími náklady na lidskou

práci. Zatímco v minulosti se ocelové mosty kompletovaly především na staveništi z menších dílů, které bylo možno lehce dopravit, dnes je snaha většinu částí mostů co nejvíce prefabrikovat ve výrobnách, dopravit na staveniště, a následně instalovat. (11)

Přeprava jednotlivých částí ocelové konstrukce je možná (8):

- Po silnici – do přibližné délky 35 m a hmotnosti 50 tun.
- Po železnici – do přibližné délky 40 m a hmotnosti 100 tun.
- Po vodě (řeka, moře) – rozměry podle typu lodí

a kombinací jednotlivých výše zmíněných způsobů.

V následujících podkapitolách 1.3.1 a 1.3.2 jsou popsány jednotlivé metody výstavby zvláště pro ocelovou konstrukci a betonovou desku spřažených mostů. Je nutno dodat, že základní typy popsané v těchto podkapitolách se mohou vyskytovat v různých vzájemných kombinacích a modifikacích.

1.3.1 Ocelová část

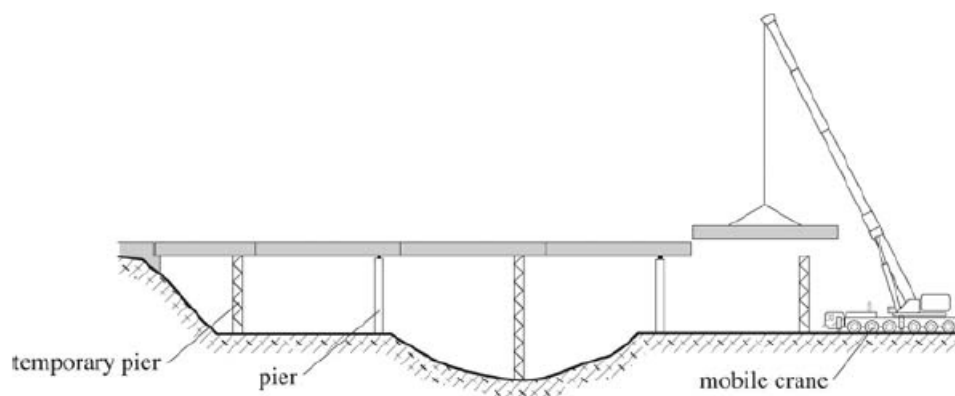
Nejčastěji se vyskytují následující metody (4) (11):

- Blokovaná montáž
- Letmá montáž
- Podélný výsun
- Příčný výsun
- Instalace celého mostu či celého mostního pole
- Speciální metody jako např. otočení, zaplavení, sklopení.

Speciální metody a případy, kdy dojde k instalaci celého mostního pole či celého mostu, jsou finančně náročnější, a použití těchto metod se uvažuje například při nahrazení staré mostní konstrukce novou, s požadavkem na minimální narušení dopravy, či v případě, když není žádná možnost přístupu pod most. (4)

Blokovaná montáž

Blokovaná montáž je nejvíce ekonomická pro mosty malých a středních rozpětí, u kterých je možná montáž jeřábem postaveným pod mostem. Je tedy nutné, aby výška mostu nad terénem nebyla víc než přibližně 15 m, a zároveň byl zaručen přístup pod most v celé jeho délce. (4) (7)



Obr. 14 - schéma výstavby pomocí blokové montáže (4)

Princip této metody je znázorněn na Obr. 14. Jednotlivé prvky nosné konstrukce jsou pomocí jeřábu zdviženy na podpory ve formě pilířů, opěr či dočasných podpor. Po rektifikaci jejich polohy jsou svařeny s předchozí, již vynesenu částí. (4)

Pro urychlení výstavby je možné použít více jeřábů a uspořádat je do tandemu za sebou, aby si mohly jednotlivé části mostu mezi sebou podávat. Vzhledem k ceně za provoz a pronájem jeřábů by se o této možnosti mělo uvažovat pouze v případě časové nouze. (7)

V praxi lze pozorovat různé modifikace blokové montáže podle typu jeřábů, technologie zvedání, a typu podpěr. Při návrhu technologie výstavby u nového mostu by ale bloková montáž měla být první uvažovanou možností. (11) (10)

Letmá montáž

Oblast použití této metody se nachází zpravidla u mostů, které mají výšku mostovky nad zemí takovou, že by bylo nemožné nebo složité instalovat mostovku jeřábem z pod mostu. Dále je možné letmou montáž použít u mostů s omezeným přístupem pod most. Například mosty přes vodní toky, přehradu nebo moře. (7) Tato metoda pracuje na podobném principu jako technologie montáže segmentových betonových mostů. (11)

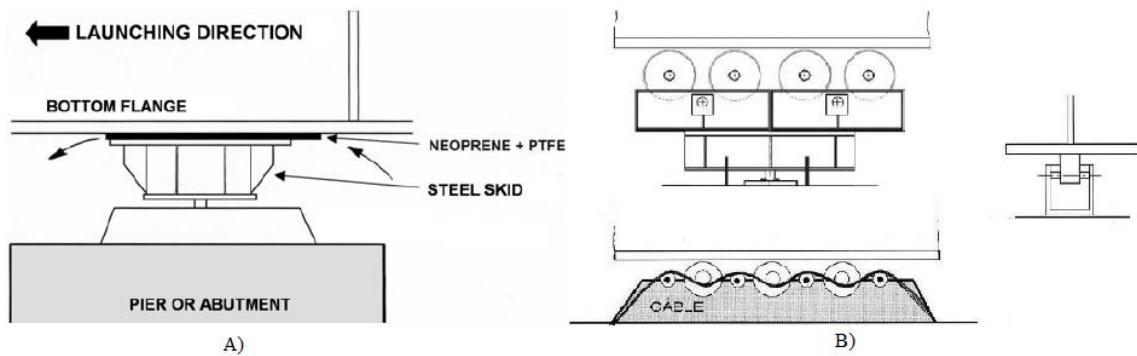


Obr. 15 – schéma výstavby pomocí letmé montáže (7)

Mostovka je předem rozdělena na segmenty. Tyto jsou připevněny na ocelová lana, následně zdviženy do definitivní polohy, a svařeny s předchozím segmentem. Délka jednotlivých segmentů se pohybuje mezi 3 až 6 m, a montáž začíná v tzv. zárodku, tedy částí nad pilířem. Zárodek je navíc pevně spojen s pilířem kvůli ztrátě stability. Na Obr. 15 je znázorněno schéma výstavby letmé montáže, která byla použita například u mostu přes Åstfjord na silnici FV. 714 v Norsku, který je zmíněn v kap.1.4. Nejvíce se ale tato technologie objevuje u výstavby mostů zavěšených. (4) (7)

Podélný výsun

Jedná se o metodu, kdy je nosná konstrukce nebo její část prefabrikována za jednou z opěr mostu, a následně po částech vysouvána na speciálních kluzných blocích (Obr. 16 A) nebo válcových sedlech (Obr. 16 B) umístěných na pilířích či dočasných podpěrách. Podélný výsun je možné realizovat pro mosty o rozpětí až do 140 m. (10) (8)

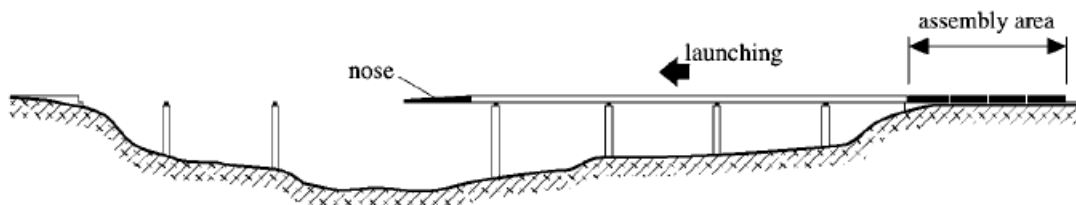


Obr. 16 - A) kluzný blok, B) válcové sedlo (8)

Kluzné bloky z Obr. 16 A mají navíc dvě možné alternativy upevnění. Zprv je možné bloky pevně spojit s podpěrou, nebo zadruhé spojit blok s nosnou konstrukcí, a tu pak zároveň s blokem posouvat po podpěrách. Použití prvního případu je častější a je vhodnější pro mosty malých a středních rozpětí. Druhá možnost se používá u velmi těžkých mostovek (například při výsuvu s deskou), protože je zaručena poloha kluzného bloku pod místem nosné konstrukce, které je pevně vyztuženo. (8)

Třecí plochy na kluzných blocích mohou být z různých materiálů, jako např. fosfor, bronz nebo PTFE, známý jako teflon. (7)

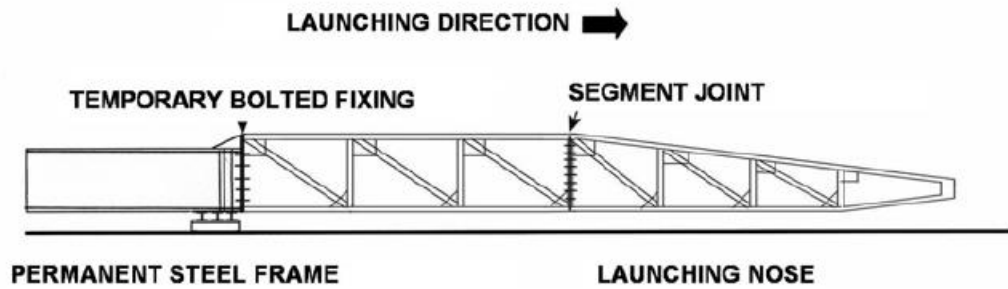
Válcová sedla jsou charakterizována nízkým třením, efektivním přenosem zatížení a také vysokou rychlostí výsuvu. Jejich použití je limitováno menší únosností ve srovnání s kluznými bloky, která je přibližně 300 tun. (8)



Obr. 17 - schéma metody podélného výsuvu (4)

Během návrhu mostu s plánovanou metodou výstavby pomocí podélného výsuvu je nutné ověřit všechny možné fáze výsuvu, a podle obálky vnitřních sil pak konstrukci navrhovat. Ověření je nutné hlavně v důsledku neočekávaného boulení stěn, ohybových účinku či nadměrných podporových reakcí. (7)

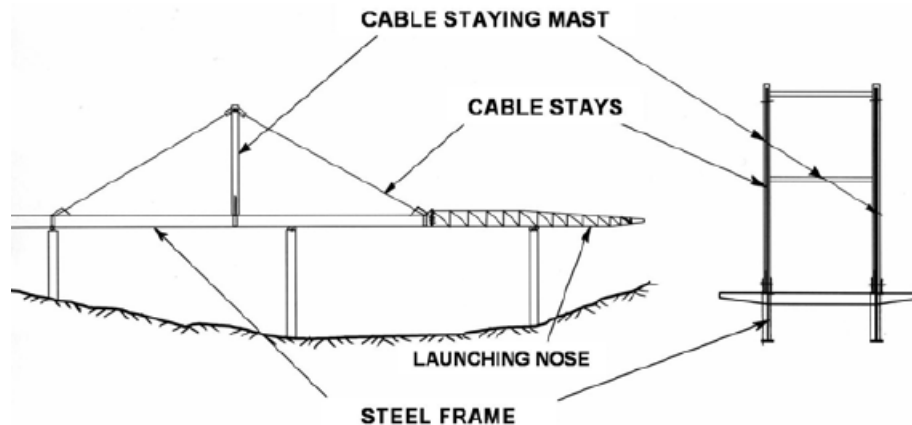
Při výsuvu je často výhodné použít odlehčený výsuvný nos (Obr. 17) pro snížení deformací čela vysouvané konstrukce, protože hmotnost na běžný metr výsuvného nosu je přibližně třikrát nižší než hlavní nosné konstrukce. Jedná se většinou o lehkou příhradovou konstrukci o délce mezi 15 a 40 m, v závislosti na možnostech dodavatele a délce rozpětí mostu. (8) (7)



Obr. 18 - konstrukce výsuvného nosu spojeného šrouby hlavními nosníky (8)

Spojení výsuvného nosu s ocelovou konstrukcí se ve většině případů provádí šroubovými spoji (Obr. 18), které jsou snadno demontovatelné. Tento spoj musí být navržen tak, aby vydržel síly při přenosu zatížení během posunu nosu přes podporu. (8)

U mostů, kde hodnota rozpětí polí překračuje 100 m, může být výhodné zavěsit přední část výsuvného nosu přes ocelová lana na provizorní ocelový pylon (Obr. 19) upevněný do hlavní nosné konstrukce. Cílem tohoto zavěšení je omezit deformace výsuvného nosu a zatížení hlavních nosníků. (8)



Obr. 19 - zavěšení výsuvného nosu pomocí provizorního pylonu (8)

Posun konstrukce bývá obvykle zajištěn 3 způsoby (8):

- Ocelovým lanem taženým přes naviják a přidržovaný brzdícím navijákem
- Předpínacím kabelem taženým předpínací pistolí a připevněným přes ocelový rám do mostní opěry
- Tlačáním pomocí hydraulických lisů

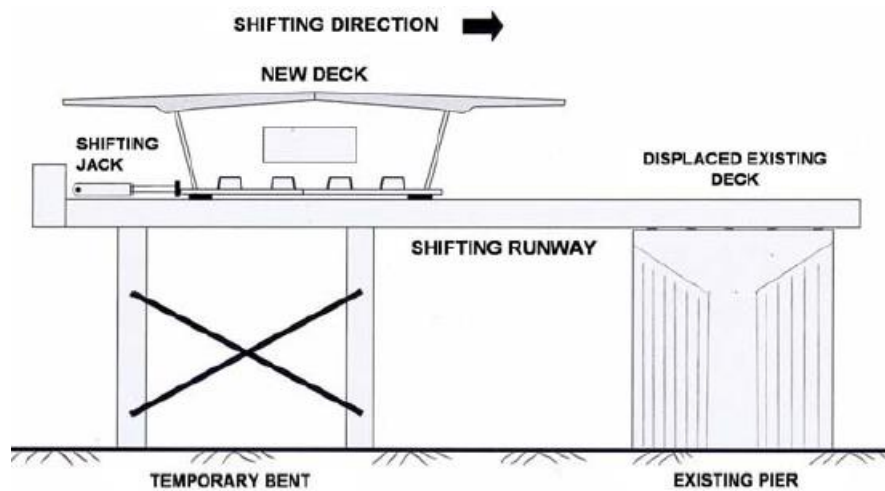
Metoda posunu pomocí navijáku má značné prostorové nároky, a proto v místech s menšími prostorovými možnostmi jsou upřednostňovány ostatní zmíněné metody. Metoda posunu je také ovlivněna technologií vlastněnou dodavatelem. (8)

Během výsunu je konstrukce směrově vedena pomocí vodících ložisek umístěných na podpěrách, ať už dočasných či trvalých, ve formě pilířů.

Příčný výsun

U této metody je konstrukce kompletně vybudována na dočasných podporách umístěných podél stávajícího mostu. Následně je příčně přesunuta do finální polohy na podpory. Mezi hlavní výhody této metody patří minimální omezení dopravy na mostě a odpadnutí

složitého návrhu s ohledem na všechny zatěžovací stavy, což je nutné u podélného výsunu. Jako hlavní nevýhodu je možné zmínit malé prostorové možnosti pro uskutečnění příčného výsunu v zástavbách měst. (7)



Obr. 20 - schéma metody příčného výsunu

Instalace celého mostu či celého mostního pole

Stejně jako v případě příčného výsuvu, i zde dochází k instalaci celého mostního pole či mostu v jeden okamžik. To je možné hlavně díky dnes již dostupné těžké zvedací technice ve formě jeřábů a přepravních prostředků s vysokou nosností. Hlavní důvod pro využití této metody je velmi krátká výstavba a odpadnutí téměř veškeré montáže a svařování na staveništi. (10)



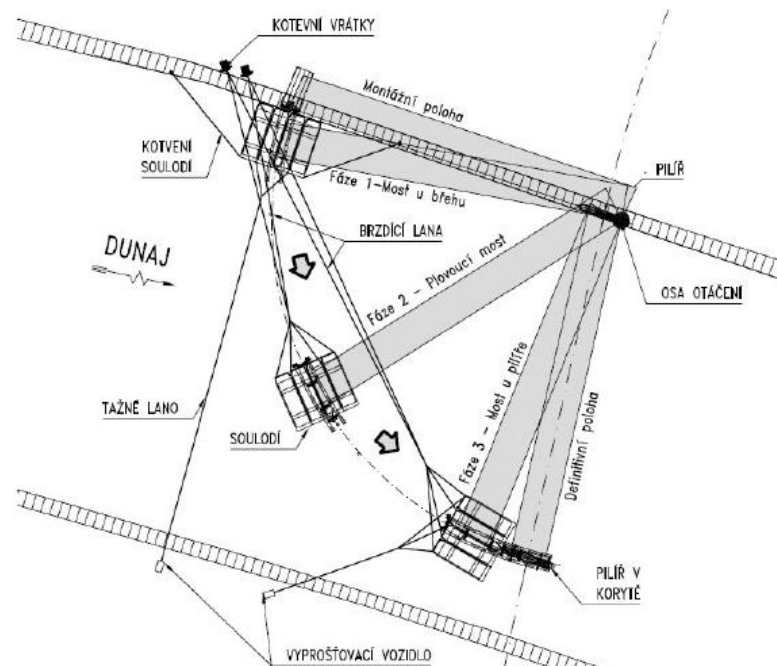
Obr. 21 - mostní pole mostu Skovbrynet S- Station (12)

Příklad mostu, kde bylo využito této technologie je most u železniční stanice Skovbrynet v Dánsku. Požadavek investora byl nahradit původní mostní konstrukci, a zprovoznit nový most, během 42 dní. Nový most tvoří uzavřená ocelová komora s ortotropní ocelovou mostovkou, a byl rozdělen na jednotlivé segmenty podle rozměrů polí. Nejdelší přepravované segmenty (Obr. 21) měly 40 m na délku, šířku přes 15 m a hmotnost 210 t. (12)

Po osazení nových pilířů, které byly také vyrobeny z oceli kvůli délce výstavby, byla jednotlivá pole vynesena do finální polohy, a spojena. Po provedení izolačních a vozkových vrstev byl most následně otevřen po 42 dnech výstavby podle nároku investora. (12)

Speciální metody

V případě mostní konstrukce, kterou nelze vystavět žádnou z konvenčních metod zmíněných výše, je možné využít buď jejich kombinaci, nebo navrhnout speciální metodu výstavby pro daný most. Jak již bylo zmíněno výše, může se jednat například o zaplavení, otočení či sklopení.



Obr. 22 - schéma zaplavení mostu Apollo v Bratislavě (11)

Zaplavení bylo využito například při výstavbě mostu Apollo, který se nachází v Bratislavě na Slovensku, a převádí dopravu přes řeku Dunaj. Most je tvořen 6 poli s hlavním polem o rozpětí 231 m tvořeným síťovým obloukem. Postup výstavby, který je naznačen na Obr. 22, spočíval v montáži hlavního pole na montážní plošině mimo koryto řeky, a následném otočení celého mostu přes řeku. Během otáčení byl druhý konec mostu podepřen pomocí soulodí a pohyb byl umožněn proudem řeky a také pomocí remorkérů. (11)

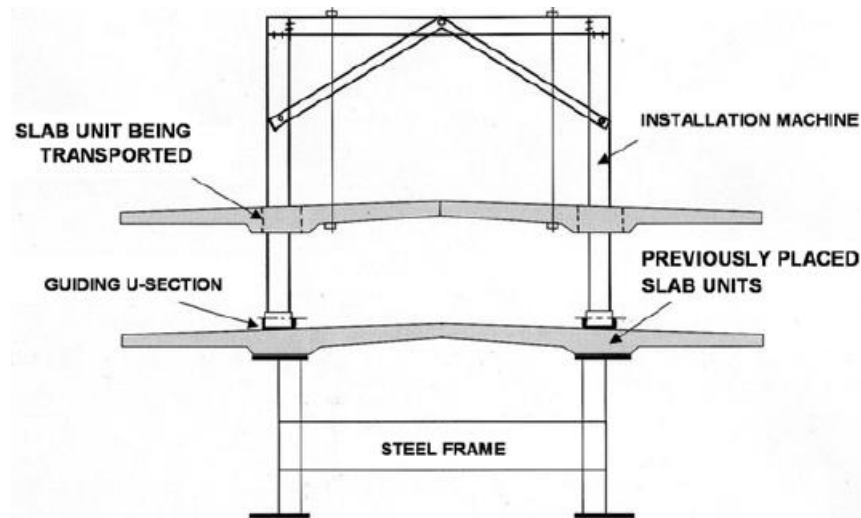
1.3.2 Betonová část

Betonové desky sprážených mostů mohou být buď monolitické, částečně nebo plně prefabrikované, jak již bylo podrobně rozebráno v kap. 1.2.2.

Prefabrikované desky

Pokud je navržená deska prefabrikovaná a terén v okolí mostu je dostupný pro zvedací techniku, instalace probíhá jeřábem postaveným v okolí mostu. V případech nepřístupného terénu v okolí mostu je možné využít speciální zařízení na přesun jednotlivých segmentů desky. Tohle zařízení je umístěno na nosné konstrukci mostu, a

může se pohybovat na již hotových segmentech betonové desky nebo po horních pásnicích hlavní nosné konstrukce. (8)



Obr. 23 - mobilní rámové zařízení na přesun segmentů desky (8)

Zařízeními na přesun prefabrikovaných částí desky mohou být mobilní jeřáby, či speciální přesunovací zařízení vyrobené pro konkrétní projekt. Na Obr. 23 lze vidět příklad takového mobilního systému, který pojíždí po již hotových segmentech desky v kolejnicích, vyrobených z ocelových profilů tvaru U. Podobných zařízení je možno využít i u částečně prefabrikovaných desek, zmíněných v kap. 1.2.2. s tím, že pro instalaci konzol z filigránových nosníků je nutné, aby se rameno jeřábu mohlo otáčet. (8)

Monolitické desky

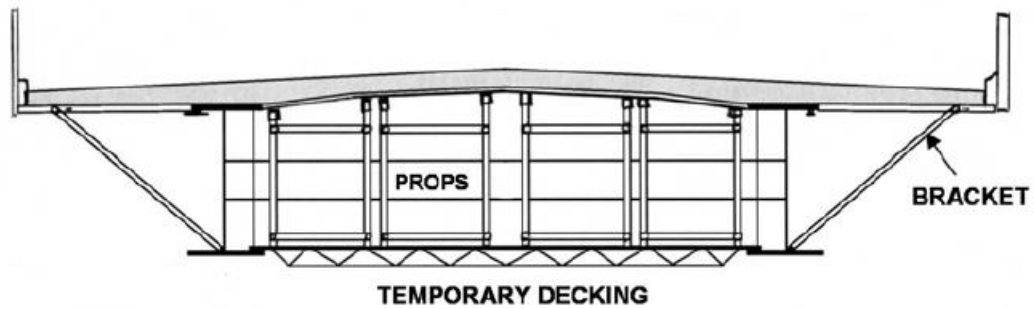
Železobetonové desky jednopolových mostů s rozpětím do 25 m jsou převážně betonovány jedním záběrem. V případě delších mostů se obvykle betonáž rozdělí na několik fází tak, aby úsek mezi podporami byl vybetonován primárně, a následně je dobetonována část nad podporami. To má za následek, že úsek v poli již působí jako spřažený při betonáži části nad podporou, a také zamezí tahovému potrhání betonu nad podporou. (7)

Při betonáži monolitické železobetonové desky se v zásadě používají dva typy bednění:

- Konvenční pevné bednění
- Posuvné bednění ve formě bednicího vozíku

Konvenční pevné bednění

Využívá se především u krátkých mostů, a může být ve formě pevné skruže podepřené na zemi, nebo upevněné na dolní pásnice hlavních nosníků. (8)

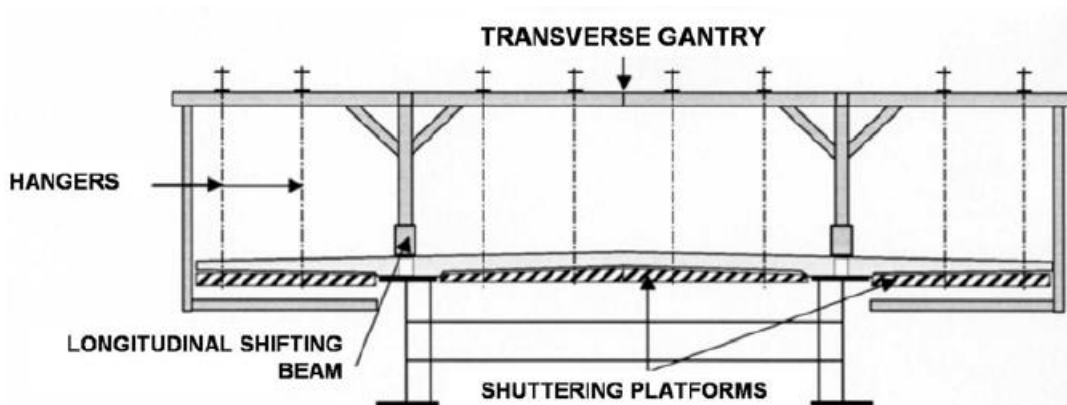


Obr. 24 - pevné bednění podepřené na dolních pásnicích hlavní NK

Část bednění mezi podporami může být podepřena buď na dolních pásnicích hlavní nosné konstrukce, jak lze vidět na Obr. 24, nebo je možné bednění podepřít na příčném ztužení hlavních nosníků. V tom případě je nutné příčníky výškově odsadit od horních pásnic hlavních nosníků, aby zde byl prostor pro instalaci bednění. Konzoly jsou u většiny typů bednění připevněny do horní a dolní pásnice hlavních nosníků. (8)

Posuvné bednění

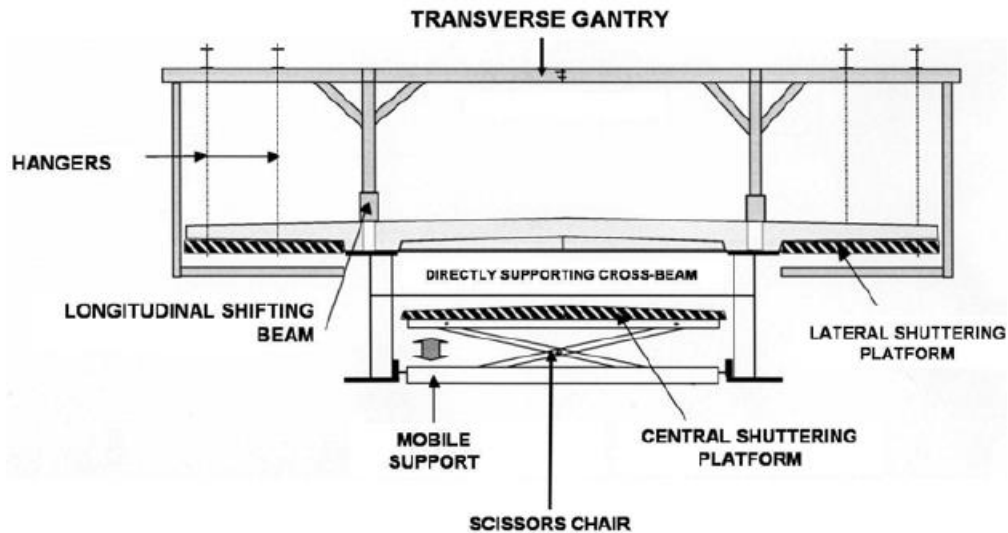
Pro delší mosty a mosty větších rozpětí je výhodné použití bednicího vozíku. Jedná se o rámovou ocelovou konstrukci, která pojíždí po horních pásnicích hlavní nosné konstrukce.



Obr. 25 - schéma bednicího vozíku (8)

Na Obr. 25 je schéma typického bednicího vozíku pro dvoutránovou konstrukci. Střední část bednění je zde podepřena zavěšením na bednicí vozík. Po vybetonování daného úseku, technologické přestávce pro zatvrdnutí betonu a odbednění, se bednicí dílce střední části uvolní, položí na příčníky, a většinou odvalí na další etáž pomocí válců umístěných na příčnicích. (8)

Další možností podepření střední části železobetonové desky je pomocí mobilního bednicího dílce, umístěného na dočasné podpěře, připevněné na spodní pásnice hlavní nosné konstrukce (Obr. 26). To umožní návrh příčníku, který bude má horní pásnici ve stejné výšce jako je pásnice hlavního nosníku. (8)



Obr. 26 - schéma bednicího vozíku s přesuvnou střední částí (8)

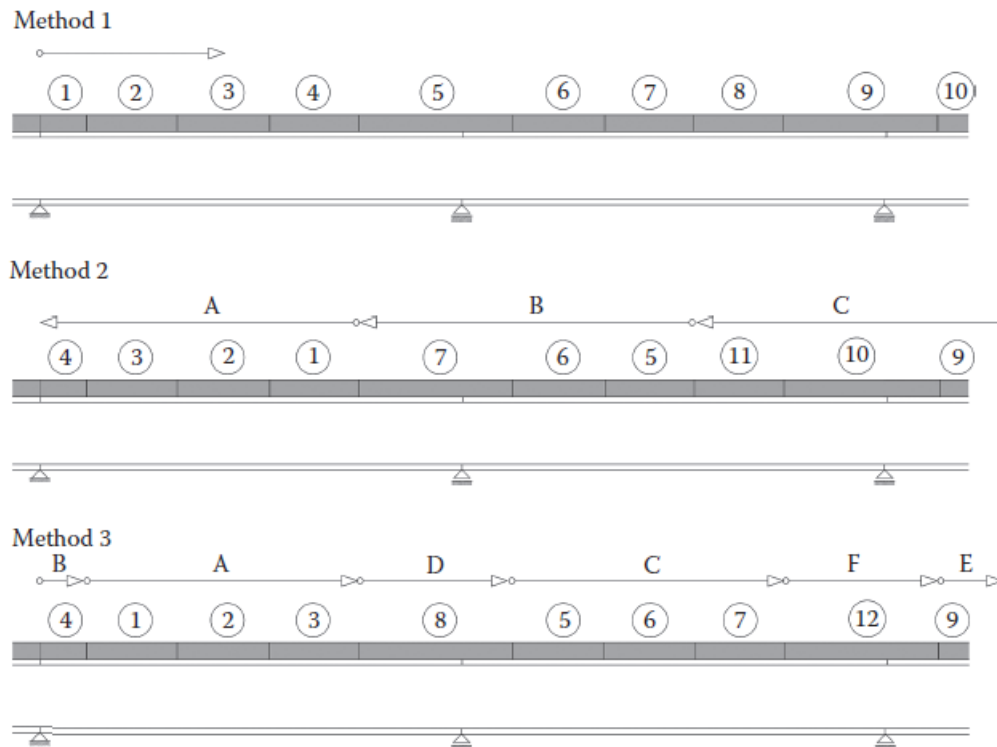
Při betonáži se může postupovat třemi základními metodami, pokud se nejedná o konstrukci se specifickým směrovým vedením či tvarem. Cílem je minimalizovat záporné momenty nad podporami a trhliny v betonové desce, které vznikají díky tahu způsobeným zápornými momenty. (7)

Na výstavbě se mohou podílet jeden nebo případně dva bednicí vozíky. Pokud jsou použity dva bednicí vozíky, betonáž probíhá jedním z následujících způsobů (8):

- Vozíky začnou na krajní opěře a postupují směrem do středu mostu.
- Vozíky začnou ve středu mostu a postupují směrem ke krajním opěrám.
- Vozíky začnou na stejné straně a jeden betonuje úseky v polích a druhý nad podporami.

Je důležité zmínit, že ve všech případech se uplatňuje tzv. poutnický způsob, tedy metoda, kdy betonáž v poli probíhá s předstihem před betonáží nad podporami. (8)

Pokud je u výroby desky použit pouze jeden vozík, sekvence se následující:

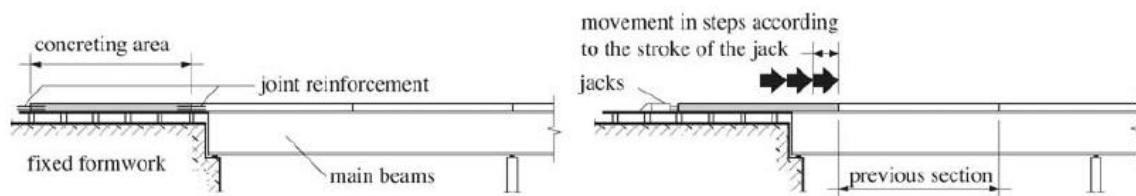


Obr. 27 - pořadí betonování jednotlivých úseků při betonáži s jedním vozíkem (7)

První metoda (Method 1) je převážně využívána pro mosty malých rozpětí, kde záporné ohybové momenty nad podporami nejsou rizikové. Betonáž v tomto případě probíhá jedním směrem kontinuálně. U mostů s většími rozpětími se uplatní jedna ze dvou zbývajících metod (Method 2 a Method 3). Rozdíl mezi těmito dvěma metodami je směr a pořadí betonáží nadpodporových úseků. (7)

Monolitické desky vysouvané

V 80. letech minulého století se ve Francii vyvinula metoda podélného výsunu železobetonové desky. Princip této metody je velmi podobný podélnému výsunu ocelové hlavní nosné konstrukce, kdy je deska budována po úsecích za opěrou, a následně vysouvána pomocí hydraulických lisů. První desky vybudované touto metodou musely být kvůli kolizi desky a spřahovacích trnů, a také geometrických nedokonalostí, příčně předepnuté. V oblasti desky nad pásnicemi nosníků zůstaly mezery, a ty se dobetonovaly až po úplném výsunu desky. (8)



Obr. 28 - schéma podélného výsunu železobetonové desky (4)

Výhodou této metody, zobrazené na Obr. 28, je výstavba spojitě železobetonové desky, a zároveň rychlost provedení. Další výhodou je také odpadnutí použití bednění či bednicího vozíku pro dodavatele. (4)

Při betonáži desky jsou ponechány otvory na dodatečně připevnění spřahovacích prvků. Jakmile je výsun desky dokončen, spřahovací trny se připevní svarem k horní pánsnici nosníků, a mezery jsou dobetonovány speciálním betonem s nízkým smrštěním. (4)

1.4 Přehled spřažených ocelobetonových mostů v ČR a zahraničí

Tato kapitola uvádí přehled spřažených mostů postavených v ČR a zahraničí. Spřažené mosty jsou zde rozděleny podle rozpětí na 3 skupiny:

- Rozpětí 20 – 40 m
- Rozpětí 40 – 60 m
- Rozpětí 60 a více metrů

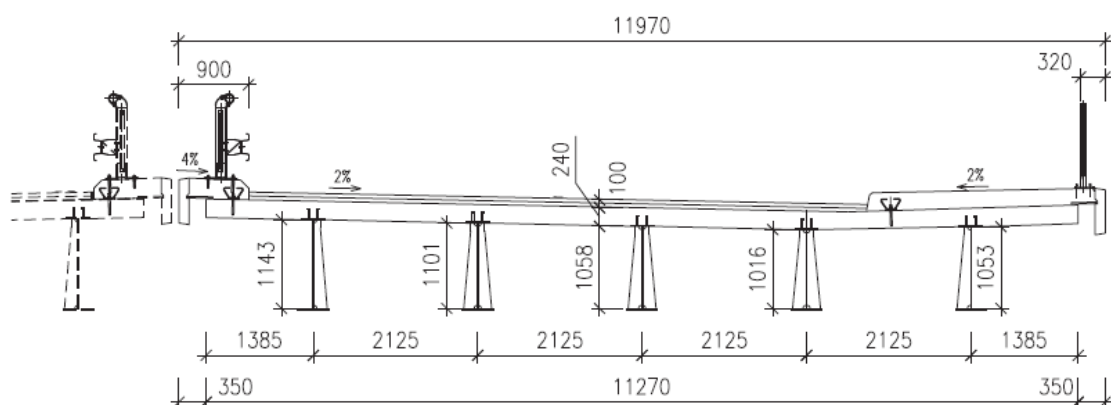
Intervaly rozpětí byly vybrány s ohledem na použití základních typů spřažených konstrukcí. Pro nejmenší rozpětí 20 – 40 m se nejvíce navrhuje roštový typ mostovek, pro rozpětí 40 – 60 m nachází největší uplatnění dvoutrámový systém, a nakonec pro rozpětí větší než 60 m jsou to komorové mostovky. Zároveň jsou zde uvedeny i mosty, které zasahují do jiného intervalu rozpětí, než je pro daný typ konstrukce obvyklé.

1.4.1 Rozpětí 20 – 40 m

Pro nejkratší rozpětí, od kterého začíná být návrh spřaženého mostu výhodný, se používá především tzv. roštový systém. Jedná se o 3 a více ocelových plnostěnných nosníků tvaru I. Tyto nosníky jsou pro spojitý nosníky v převážné většině svařované z výroby ocelových konstrukcí, a také v mnoha případech osově nesymetrické, kdy spodní pánsnice nosníků je širší než pánsnice horní. Válcované profily se používají méně často, a to z důvodu malé dostupnosti profilů velkých rozměrů u výrobce, a malé možnosti optimalizace návrhu. Nosníky jsou spojeny s betonovou deskou, která má obvykle tloušťku 0,22 až 0,35 m v závislosti na šířce mostu. (7)

Estakáda na ulici Českobratrská v Ostravě

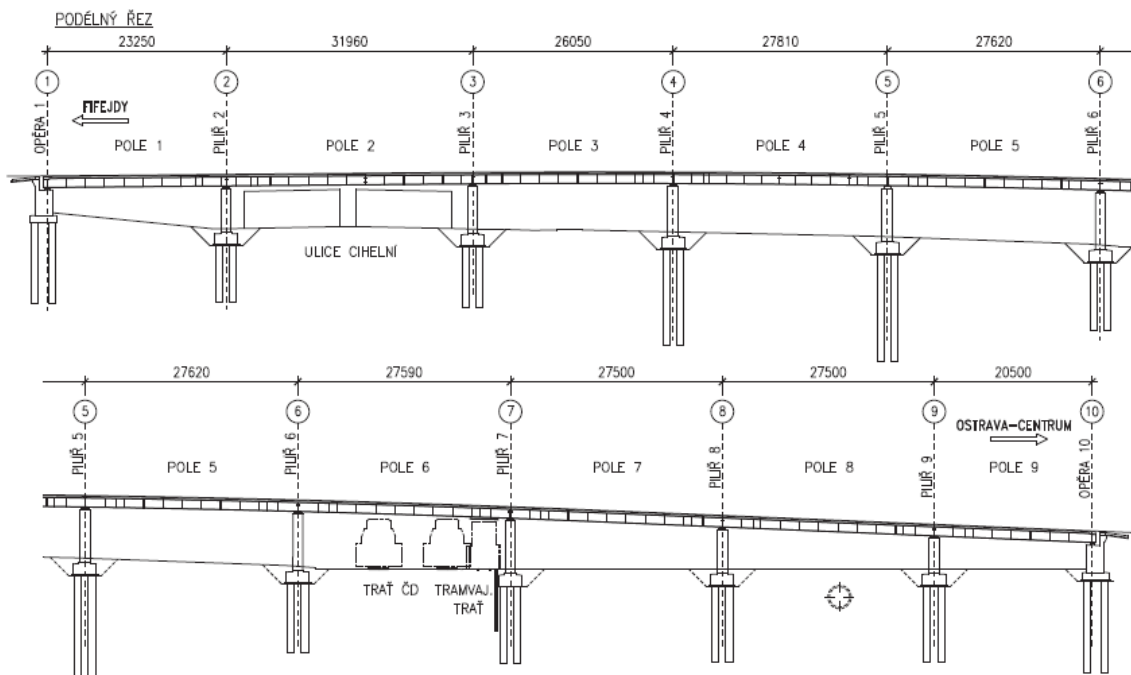
Příkladem roštového systému s 5-ti nosníky je stavba s názvem Estakáda na ulici Českobratrská v Ostravě na Obr. 29.



Obr. 29 - estakáda na ulici Českobratrská v Ostravě (13)

Most zde tvoří dvě samostatné nosné konstrukce, které převádí směrově rozdělenou komunikaci kategorie MS 19/60. Jak je patrné z Obr. 29, na nosné konstrukci se nachází dva pruhy pro silniční dopravu a chodník pro chodce a cyklisty. Směrové vedení mostu

je částečně v rovině a částečně v oblouku o poloměru $R = 500$ m. V poli 4 je navíc připojena odbočovací rampa pro budoucí napojení komunikace. (13)



Obr. 30 - podélný řez estakádou na ulici Českobratrská v Ostravě (13)

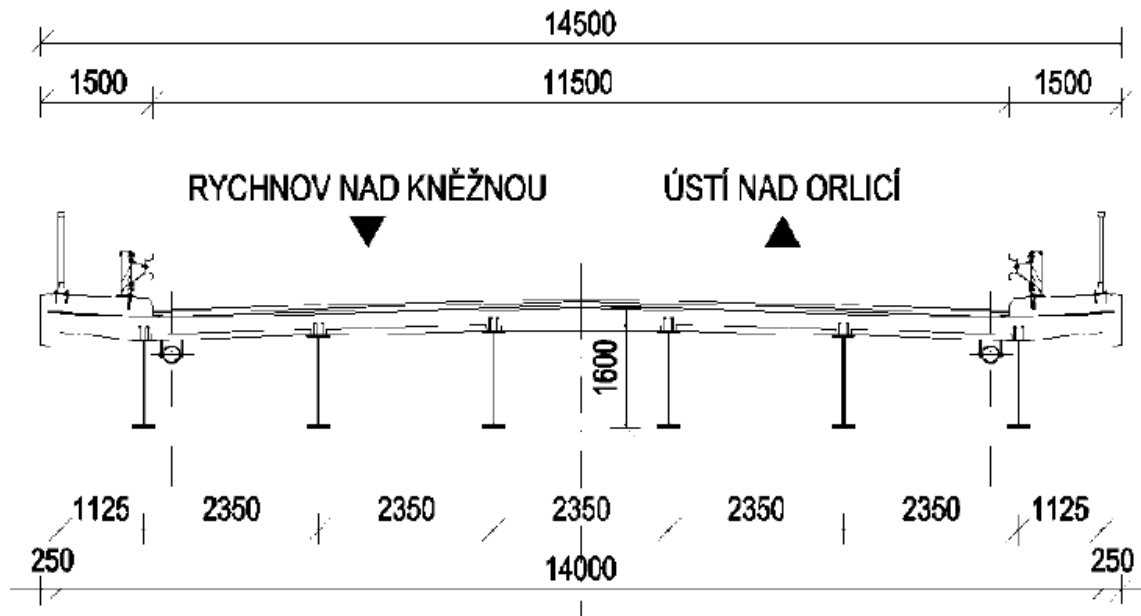
Nosná sprážená ocelobetonová konstrukce je navržena jako spojitý nosník o 9-ti polích s rozměry 20,5 až 32,0 m (Obr. 30), což spadá do kategorie krátkých rozpětí. Malá šířka mostu, a především menší zatížení v důsledku pouze dvou jízdních pruhů na mostě má za následek použití 5-ti svařovaných I nosníků o výšce mezi 1,016 m až 1,143 m. Tyto ocelové nosníky jsou ve vzájemné osové vzdálenosti 2,125 m. Betonová deska má konstantní tloušťku 0,24 m. (13)

Zvýšený nárok při návrhu mostu byl tedy především co se týče stavební výšky. Jak je patrné z Obr. 30, most se nachází v relativně malé výšce nad terénem, a překrnuje tramvajovou a železniční trať v poli 6, a pozemní komunikaci v poli 2. (13)

Vzhledem k nízké výšce nad terénem byla hlavní nosná konstrukce realizována pomocí technologie blokové montáže, protože podélný výsun zde nebyl z prostorových důvodů za opěrou možný. (13)

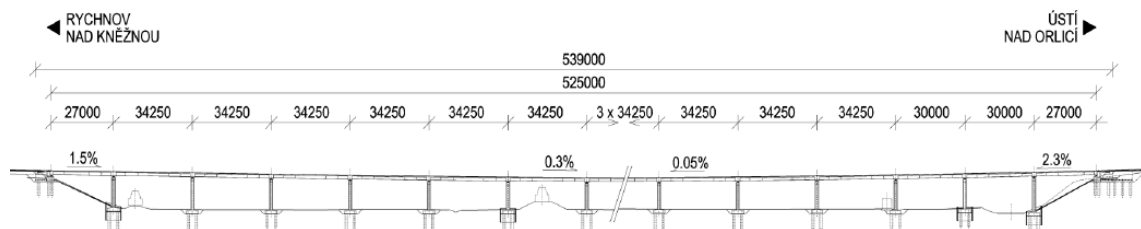
Estakáda na I/14 Vamberk

Dalším spráženým mostem s ocelovým roštem je Estakáda stavby I/14 Vamberk na Obr. 31.



Obr. 31 - estakáda stavby I/14 Vamberk (13)

Tento most o 16-ti polích s rozpětími 27 až 34,25 m (Obr. 32) převádí komunikaci přes údolí řeky Zdobnice, a jedná se o dvoupruhovou silnici I/14 kategorie S11,5. Zajímavostí této stavby je, že původní návrh byl změněn ze spřažené konstrukce beton/beton, která je při výběru návrhu konkurencí ocelobetonových mostů. Hlavním důvodem změny bylo využití kapacit dodavatele a uzpůsobení návrhu pro výrobní možnosti dodavatele tak, aby výstavba byla co nejjednodušší. (13)



Obr. 32 - podélný řez estakádou na silnici I/14 Vamberk (13)

Pro co největší zjednodušení výstavby byl zvolen systém osazení ocelových prostých nosníků, a následného spojení ve spojitý nosník. To bylo provedeno pomocí zmonolitnění s železobetonovými příčníky, které byly navíc částečně prefabrikované. Osová vzdálenost ocelových svařovaných nosníků je 2,35 m, a jejich výška 1,17, 1,23 a 1,29 m směrem od kraje do středu mostu (Obr. 31). (13)

Dalším rozdílem oproti předchozímu mostu bylo použití filigránových prefabrikovaných panelů, díky čemuž odpadla nutnost použití bednění při betonáži desky. V důsledku použití prefabrikátů je zde ale zvýšená tloušťka desky na 0,28 m. (13)

Výstavba byla jako v předchozím případě provedena pomocí jeřábů s tím, že v jednom z polí, kde nebyl možný přístup dvou jeřábů, bylo použito speciální vahadlo a pouze jeden jeřáb. (13)

Pro rozpětí menší než 40 m je obvykle nejvhodnějším typem konstrukce rošt z ocelových nosníků tvaru I s různým počtem nosníků (7). Nejčastěji se navrhují 4, 5 nebo 6 nosníků, v závislosti na zatížení a šířce převáděné komunikace .

1.4.2 Rozpětí 40 – 60 m

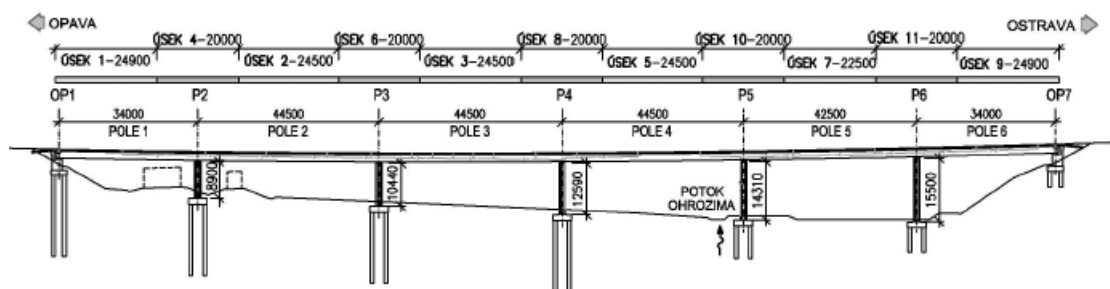
Rozpětí o délce 40 metrů u spojitého nosníku sprážených mostů je udávána jako hranice použití mezi roštovou mostovkou a dvoutrámovým systémem. (7) Výhodou dvoutrámové mostovky oproti roštové je menší počet ocelových nosníků při montáži, a také menší počet pilířů (obvykle jeden mohutnější). Naopak rizikem může být to, že dvoutrámový systém nemá možnost redistribuce sil do ostatních nosníků, pokud jeden z hlavních nosníků selže (5). Hlavní nosníky dvoutrámové mostovky jsou navíc mnohem mohutnější než u roštové mostovky, a tím pádem složitější na manipulaci.

Návrh dvoutrámové konstrukce vede na mohutnější hlavní nosníky, které vzhledem ke štíhlosti stojin a pásnic vyžadují návrh více výztuh. Betonová deska je u této varianty zpravidla také o větší tloušťce v důsledku větší osové vzdálenosti hlavních nosníků. U některých dálničních mostů s velkou šířkou konstrukce je možno navrhnout příčné předpětí betonové desky. (7)

S délkou rozpětí naopak klesá ekonomická efektivita využití roštového systému. Od rozpětí 40 m se zvětšuje počet hlavních nosníků, a s tím také spotřeba oceli. V praxi lze ovšem nalézt i mosty, které mají roštovou mostovku a rozpětí více než 40 m, jak je ukázáno v následující podkapitole.

Most přes údolí potoka Ohrazima

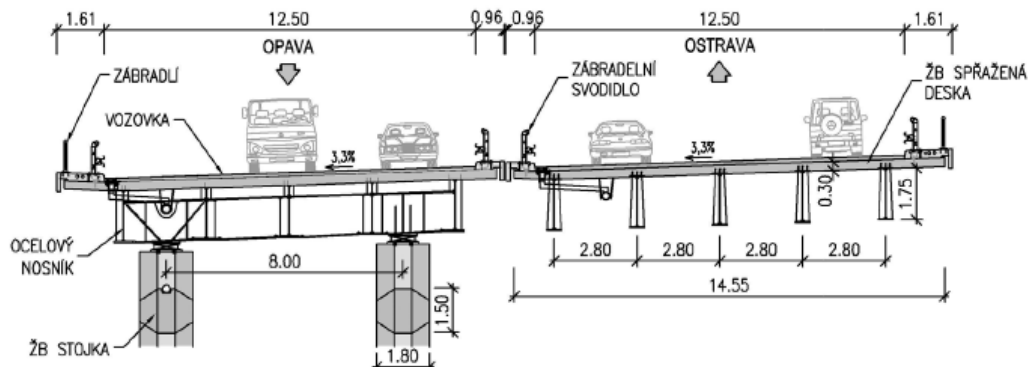
Jedním z mostů s roštovou mostovkou a rozpětím polí přes 40 m je most přes údolí potoka Ohrazima na silnici I/11 Mokrý Lazce. Most převádí směrově rozdělenou komunikaci kategorie S22,5/80 a skládá se z šesti polí o rozpětích 34,0 + 3 x 44,5 + 42,5 + 34,0 m (Obr. 33). (14)



Obr. 33 – podélný řez mostu přes údolí potoka Ohrazima (14)

Mostovka se skládá 5-ti plnostěnných nosníků výšky 1,7 m a vzájemné osové vzdálenosti 2,8 m. Typické pro mosty s většími rozpětími je optimalizace velikosti průřezů dle průběhu namáhání, což je zde provedeno změnou rozměrů (tloušťky a šířky) horních a dolních pásnic. Na opěrách jsou nosníky spojeny ocelovým příčnickem, jak lze vidět na Obr. 34, přes který se přenáší zatížení do pilířů a opěr. Tento příčník je navíc výškově uzpůsoben tak, aby mezi horní pásnicí příčnicku a spodním lícem železobetonové desky zbyla mezera alespoň 350 mm pro průjezd posuvného bednění. S ohledem na rozpětí polí

je zde realizováno také příčné ztužení ve formě I nosníků o výšce 0,53 m v každém poli. (14)



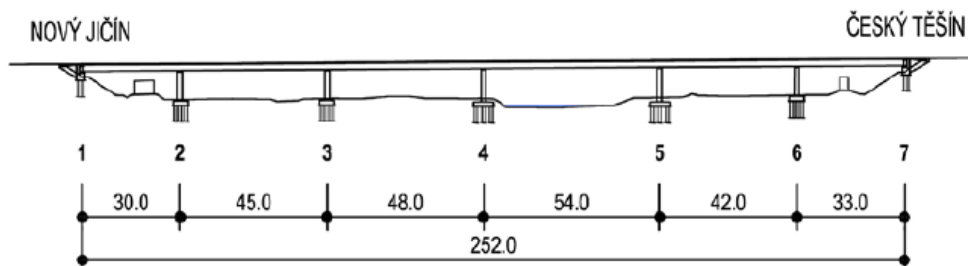
Obr. 34 - příčný řez mostu přes údolí potoka Ohrazima

Výstavba proběhla metodou blokové montáže od pilíře P4 (viz. Obr. 33) směrem ke krajním opěrám. V zárodku na pilíři P4 byly krajní nosníky v příčném spojení a montovány dohromady, a následně byl osazen prostřední nosník s nadpodporovým příčником. (14)

Po dokončení montáže ocelové konstrukce byla železobetonová deska o tl. 0,30 m betonována pomocí posuvného bednicího vozíku. Typickým postupem, který by i zde využít, je betonáž úseků uprostřed rozpětí, a následné dobetonování nad podporami. Tato metoda omezí trhliny v betonu, které by při opačném pořadí betonážních úseků vznikly. (14)

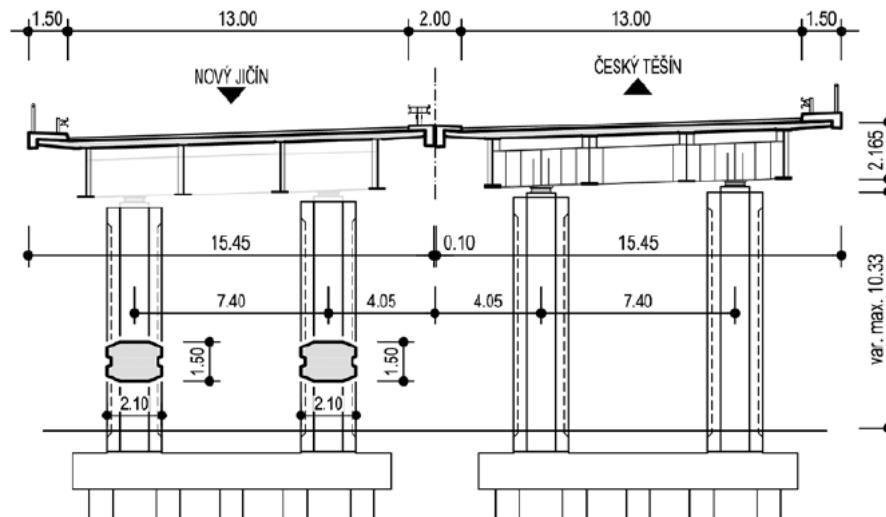
Mosty na D48 – obchvat Frýdku-Místku

Dalšími spráženými mosty s roštovou mostovkou a rozpětím přes 40 m jsou dva mostní objekty na dálnici D48 na obchvatu Frýdku-Místku. První z mostů má rozpětí 35,0 + 3 x 50,0 + 35,0 m a jeho mostovka je tvořena 4 plnostěnnými nosníky ve tvaru I o výšce 1,7 m. Druhý z mostů má rozpětí 30,0 + 42,0 + 45,0 + 54,0 + 48,0 + 33,0 m a disponuje opět 4 ocelovými nosníky s konstantní výškou 1,9 m. (15)



Obr. 35 - podélný řez mostem na dálnici D48 (15)

Šírky horních a dolních pásnic jsou zde opět optimalizovány mezi 0,40 až 0,60 m dle statického využití a jejich tloušťky jsou 0,02 až 0,1 m. Osová vzdálenost nosníků je 3,7 m a vyložení konzol desky je 1,85 m. (15)



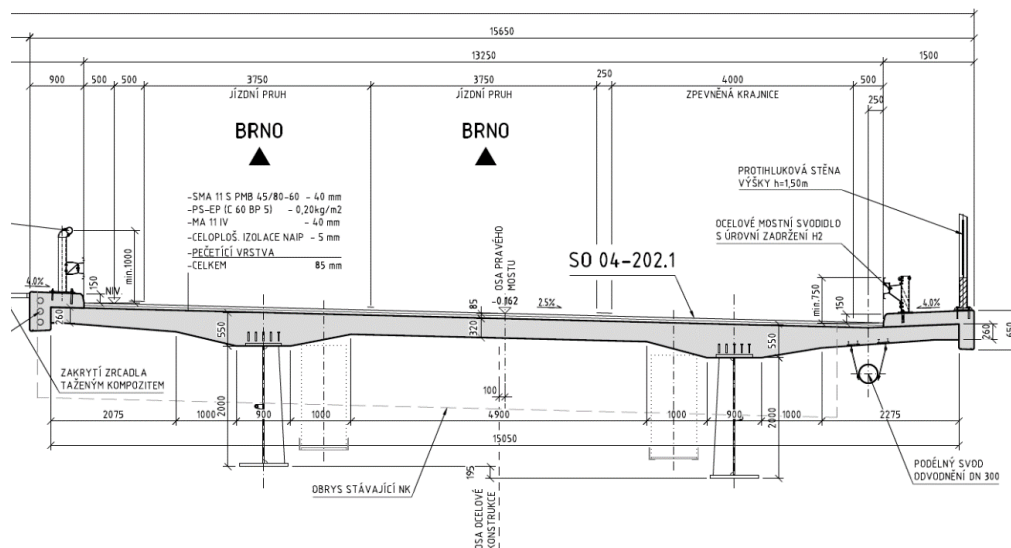
Obr. 36 - příčný řez mostem na dálnici D48 (15)

Jak je patrné z Obr. 36, konstrukce je nad podporou uložena přes obdelníkové ztužující příčníky a tloušťka spřažené desky je proměnná, kdy mezi nosníky má tloušťku 0,28 m, a na okrajích konzol se ztenčuje na 0,22 m. (15)

Výstavba obou mostů proběhla také speciální metodou. Konstrukce byla rozdělena do montážních celků o délkách maximálně 28 m. Následně byly všechny části svařeny a upevněny na dočasné podporové věže s lisami. Celá mostovka byla v jeden okamžik zvednuta a poté upravena do finální polohy. Betonáž mostovky byla provedena jako u předchozího mostu, tzv. poutnickým způsobem. (15)

Most na dálnici D1 u obce Třemošnice

Následující most je dvoutrámovou konstrukcí, která je navržena na dálnici D1, při modernizaci úseku Mirošovice – Kývalka na Obr. 37. (16)

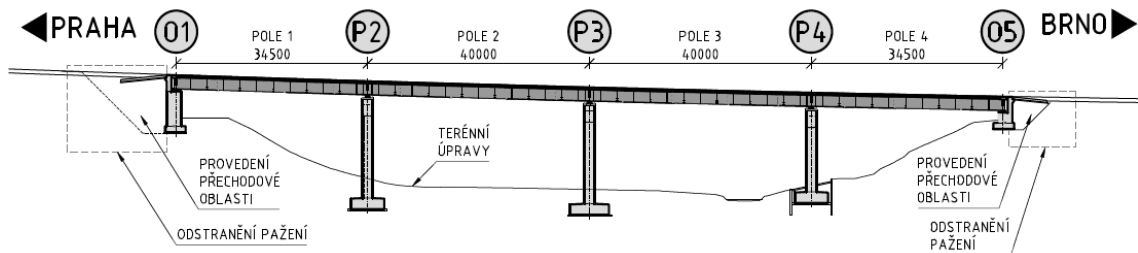


Obr. 37 - příčný řez mostem na dálnici D1 (16)

Jedna se o dvě 4-polové konstrukce s rozpětími 34,5 + 2 x 40,0 + 34,5 m, které převádí dálnici D1 přes údolí u obce Třemošnice. Každý most převádí jeden směr komunikace,

což je především u dálničních mostů běžné. Hlavním důvodem je možnost převedení dopravy na druhou konstrukci v případě rekonstrukce té první, a tedy částečné zachování provozu. (16) (4)

Příčný řez se skládá ze dvou nesymetrických svařovaných ocelových nosníků tvaru I o výšce mezi 2,02 až 2,08 m. Rozdílná výška je způsobena proměnnou výškou pásnic v poli a nad podporami s tím, že horní pásnice je vždy zcela zapuštěna do spřažené betonové desky a výška nosníku je tedy přesně 2,0 m, jak je patrné z Obr. 37. Šířky horní a dolní pásnice jsou 0,625 m, resp. 0,80 m a jsou konstantní po celé délce mostu. (16)



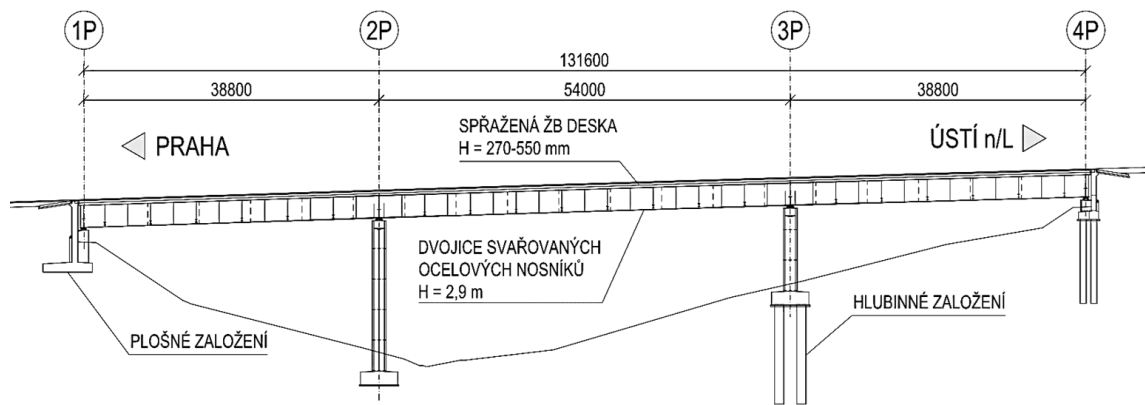
Obr. 38 - podélný řez mostem na dálnici D1 (16)

U dvoutrámových konstrukcí je typické, že tloušťka spřažené betonové desky je větší než u roštových mostovek. To je dáno statickým schématem betonové desky u dvoutrámové mostovky, kdy se v příčném řezu v podstatě jedná o 3-polový nosník s převislými konci. Zde je maximální tloušťka nad osami hlavních nosníků 0,55 m, mezi nosníky 0,32 m a na krajích konzol 0,26 m. (16)

Výstavba mostu proběhla podélným výsunem ocelové konstrukce od opěry 5 (podle Obr. 38), za kterou byla prvně ocelová konstrukce s, a následně vysunuta přes pilíře. Podélný výsun byl zde zvolen z důvodu špatného přístupu pod most, a také poměrně velké výšky pod mostem, kvůli které by bylo složitější hlavní nosníky osazovat jeřábem. Betonáž desky proběhla již zmíněným poutnickým způsobem, kdy v první řadě byly vybetonovány úseky nad krajními operami a v krajních polích, následovaly dva úseky nad pilíři P2 a P4, a jako poslední se vybetonoval úsek nad pilířem P3. (16)

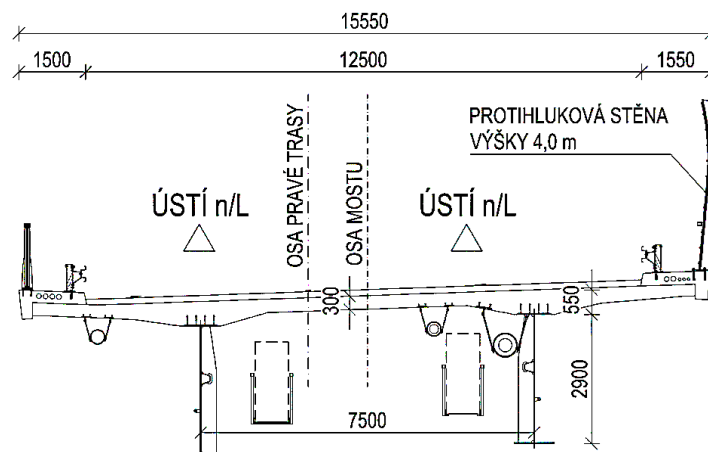
Most na dálnici D8 – státní hranice ČR/Německo

Dalším spřaženým mostem, zajímavým především díky své výstavbě, je most realizovaný na trase dálnice D8 Praha – státní hranice ČR/Německo. Most se nachází mezi tunely Radejčín a Prackovice, a jedná se o dvě 3-polové, směrově rozdělené, konstrukce o rozpětí 38,8 + 54,0 + 38,8 m jak lze vidět na Obr. 39. (17)



Obr. 39 - podélný řez mostem na dálnici D8 (17)

Most byl kvůli těžce přístupnému terénu v údolí mezi dvěma tunely vystavěn metodou podélného výsuvu, kdy před započítím montáže bylo nutné vybudovat výrobu za opěrou 4P o délce 50,0 m, umístěnou v zářezu o hloubce 4,0 m. Výsuv proběhl s pomocí ocelového odlehčeného nosu pro rektifikaci průhybu na čele vysouvané konstrukce, a také dočasných podpor vybudovaných z ocelových pilířů typu PIŽMO. (17)

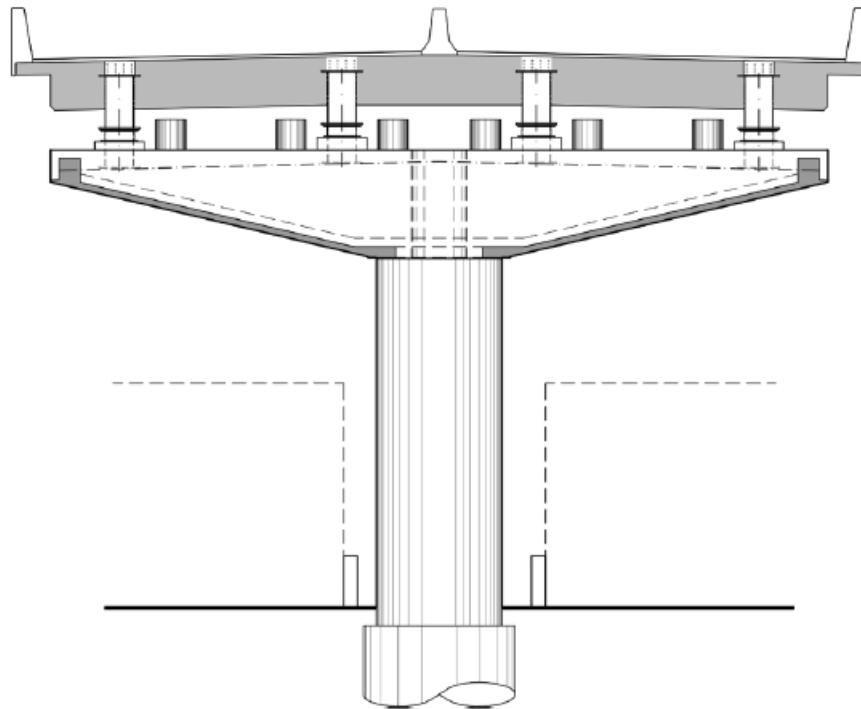


Obr. 40 - příčný řez mostem na dálnici D8 (17)

Nosná konstrukce se skládá z dvojice ocelových svařovaných I nosníků o konstantní výšce 2,90 m a osové vzdálenosti 7,5 m, jak je patrné z Obr. 40. Vzhledem k montáži hlavních nosníků na stavbě bylo navrženo celkem 7 typů příčných řezů rozdělených na 19 výrobních dílců s délkami 7,0 – 8,0 m. Díky tomu bylo docíleno ekonomického využití materiálu, ale výroba ocelové konstrukce byla složitější. Betonová deska má zde tloušťku 0,55 m nad osami hlavních nosníků, tloušťka klesá směrem k ose konstrukce a směrem ke konzolám. Betonová deska byla vybudována střídáním betonáže polových a nadpodporových úseků. (17)

Most z uzavřených komorových nosníků Manila, Filipíny

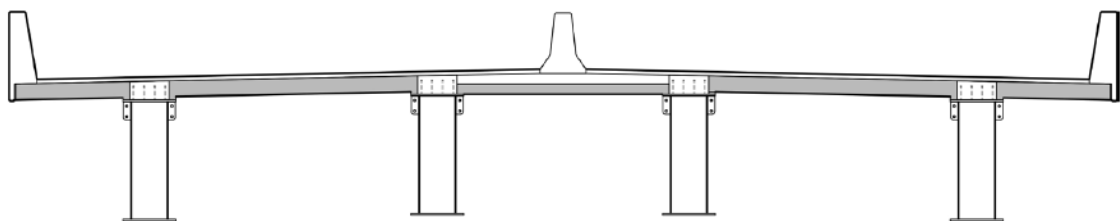
Mosty uvedené v předchozích případech byly vždy směrově oddělené konstrukce, což je nejen v ČR obvyklé. Následující příklad estakády na Obr. 41 z hlavního města Filipín Manily, je naopak navržena jako spojená široká mostní konstrukce. (18)



Obr. 41 - příčný řez mostem nad podporou v Manile (18)

Hlavním důvodem tohoto návrhu byl stísněný prostor pod mostem, kde vede vícepruhová komunikace, a tedy maximální omezení prostoru spodní stavby. (18)

Hlavní nosnou konstrukci tvoří ocelové nosníky komorového průřezu a částečně prefabrikovaná spřažená deska. Výška nosníků je 2,15 m, a staticky byla jednotlivá pole rozdělena jako prosté nosníky se standardní délkou pole 46,0 m. Nosníky komorového průřezu zde byly zvoleny z důvodu využití výrobního systému firmy Matiére. (18)



Obr. 42 - příčný řez v poli mostem v Manile (18)

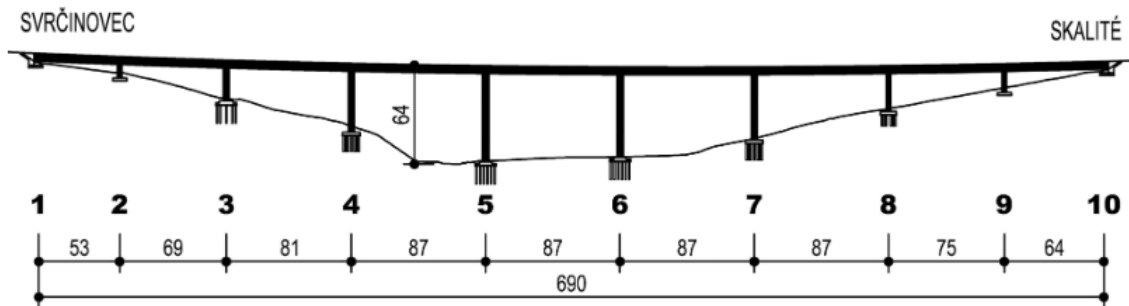
Betonová deska je rozdělena na celkem 3 úseky (Obr. 42) z důvodu rychlosti výstavby a omezení použití bednění. Krajní části tvoří prefabrikáty o tl. 280 mm, a ve středním poli je použit prefabrikát o tl. 0,18 m, který slouží jako ztracené bednění. Styky mezi jednotlivými částmi desky byly následně přebetonovány, aby došlo k jejich zmonolitnění. (18)

1.4.3 Rozpětí 60 – 120 m

Dvoutrámové konstrukce se objevují ovšem také u rozpětí nad 60 m, a to především u mostů s dvoupruhovou komunikací, či dálničních mostů se dvěma směrově rozdělenými konstrukcemi. Od rozpětí 60 m lze pozorovat uplatnění komorového hlavního nosníku, u kterého platí, že spotřeba oceli je vyšší než u dvoutrámové mostovky, a tedy je i vyšší cena konstrukce. (4)

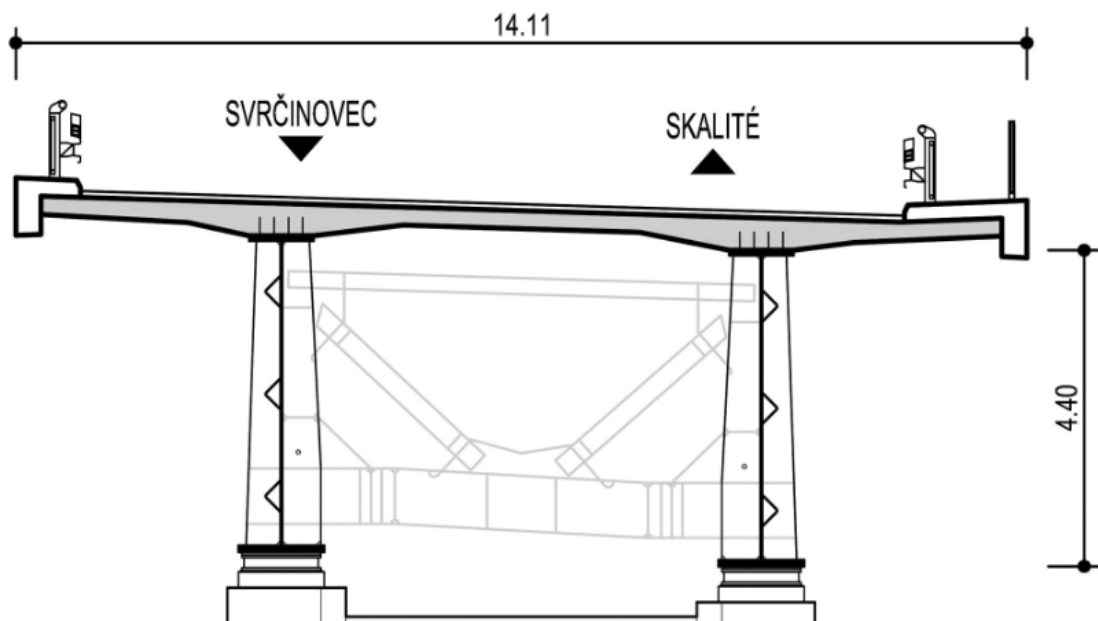
Mosty na dálnici D3 - Slovensko

Příkladem dvoutrámové mostovky s dlouhým rozpětím jsou mosty na slovenské dálnici D3 mezi obcemi Svrčinovec a Skalité. Mosty vedou přes hluboká údolí ve výšce až 70,0 m nad terénem, a jejich délka je 420 a 690 m. (19)



Obr. 43 - podélný řez mostem na dálnici D3 na Slovensku (19)

Most Vršok, který lze vidět na Obr. 43, se skládá z 9 polí o rozpětích 53,0 až 87,0 m. Jedná se teda o jakousi horní hranici použitelnosti dvoutrámových mostovek z hlediska rozpětí. Směrové vedení je částečně v oblouku a přechodnici, což byla komplikace pro metodu výstavby, která zde byla zvolena podélným výsunem, kvůli velké výšce nad terénem. Mosty mají téměř identický příčný řez s tím, že most Čádečka (rozpětí 420 m) má šířku 14,11 m a most Vršok má šířku 14,11 až 16,61 m. (19)



Obr. 44 - příčný řez mostem na dálnici D3 na Slovensku (19)

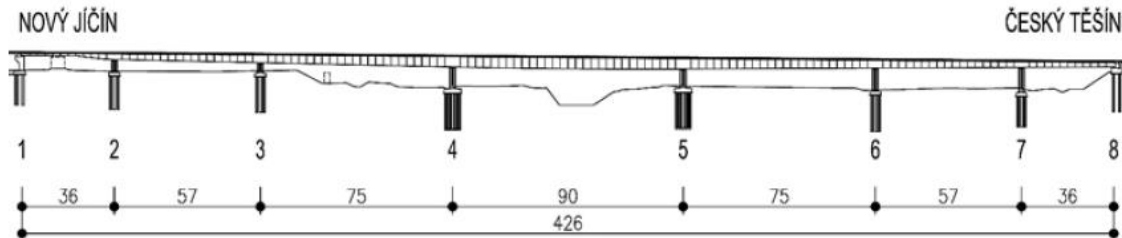
Hlavní nosná konstrukce je tvořena dvěma svařovanými I nosníky o konstantní výšce 4,4 m a osové vzdálenosti 6,0 m. Nosníky jsou jako ve většině případů nesymetrické, kdy dolní pásnice má šířku 1,20 m a horní pásnice 0,90 m. Vzhledem k rozměrům průřezu bylo nutné hlavní nosníky zajistit proti ztrátě stability, což je zde provedeno páskovými výztuhami po 3,0 m, příčným a vodorovným ztužením, jak lze vidět na Obr. 44. (19)

Betonová deska má, jak bývá zvykem u dvoutrámových mostovek, proměnnou tloušťku mezi 0,25 m na krajích konzol, a 0,45 m nad hlavními nosníky. Její betonáž proběhla po

vysunutí ocelové části do finální polohy, a byla provedena pomocí přesuvného betonážního vozíku. (19)

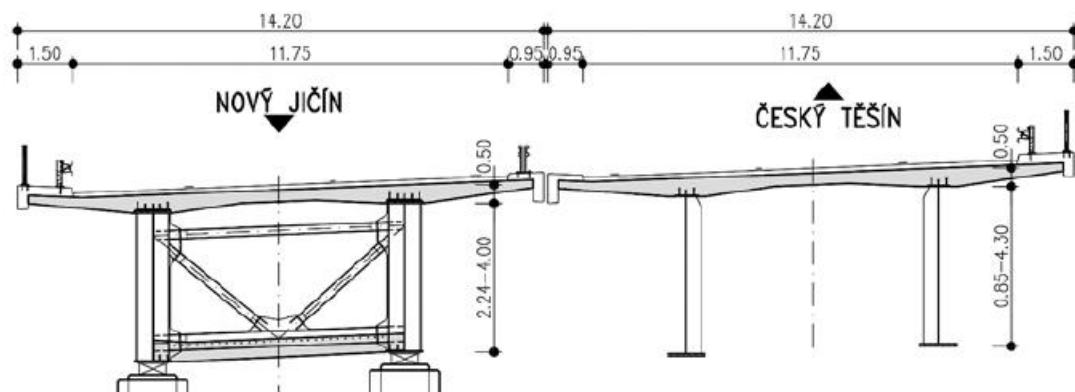
Most na dálnici D48 – obchvat Frýdku-Místku

Dalším příkladem mostu s dvoutrámovou hlavní nosnou konstrukcí je most na dálnici D48 obchvatu Frýdku-Místku. Most převádí směrově rozdělenou komunikaci v kategorii S25,5/120, a skládá se ze 7 polí o rozpětích 36,0 až 90,0 m podle Obr. 45. (15)



Obr. 45 - podélný řez mostem na dálnici D48 (15)

Hlavní nosníky mají proměnou výšku od 1,76 m na opěře O8, do 4,30 m uprostřed nejdějšího pole. V prvním poli mezi opěrou O1 a pilířem P2 je navíc konstrukční výška pouze 0,85 m. Horní pásnice má šířku od 0,60 do 1,00 m a dolní pásnice 1,00 až 1,20 m. (15)

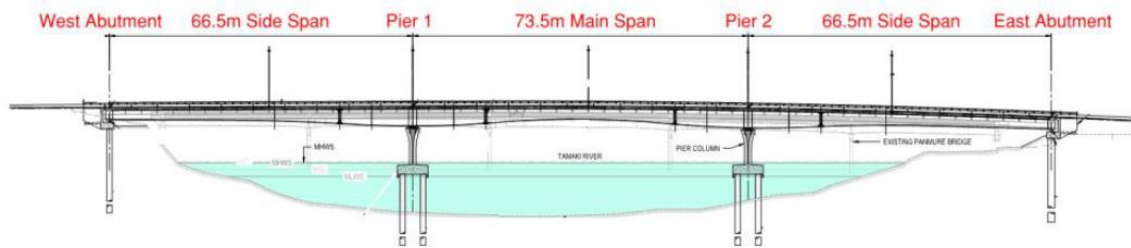


Obr. 46 - příčný řez mostem na dálnici D48 (15)

Hlavním rozdílem mezi mosty na dálnici D48 a D3 na Slovensku je metoda výstavby. Předchozí most má konstantní výšku nosníků, což umožňovalo podélný výsun konstrukce. Naproti tomu most na Dálnici D48 má proměnnou výšku hlavních nosníků, jak lze vidět na Obr. 46, a výstavba hlavní nosné konstrukce zde proběhla blokovou montáží pomocí jeřábů. Betonáž desky proběhla naopak stejně jako v předchozím případě, tedy pomocí betonážního vozíku.

Most ve městě Auckland, Nový Zéland

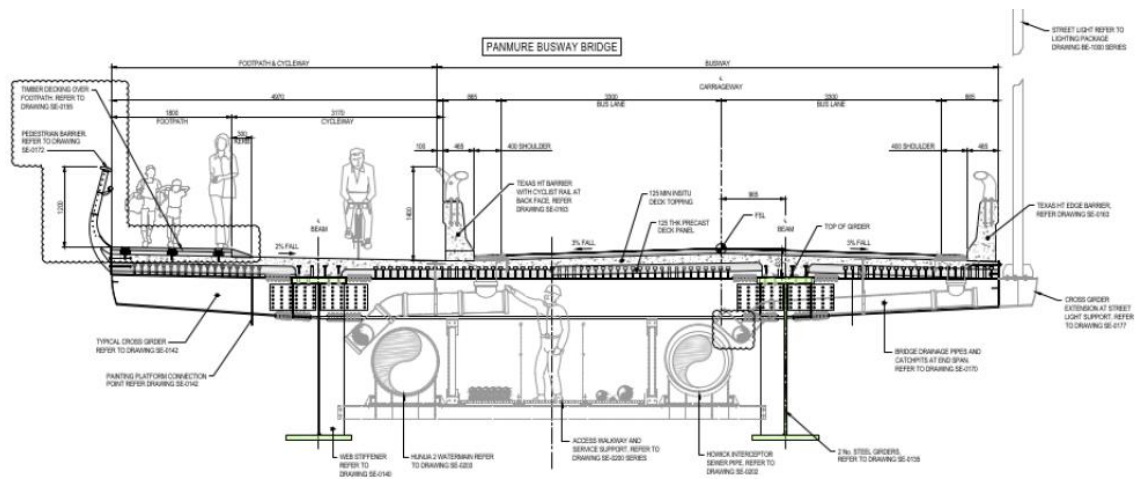
Jako porovnání s mosty, které se staví v České Republice a jsou z převážné části navrženy od českých projektantů, je zde uveden 3 polový most s dvoutrámovou nosnou konstrukcí, který je postaven na Novém Zélandu ve městě Auckland. (20)



Obr. 47 - podélný řez mostem na Novém Zélandu (20)

Most na Obr. 47 se skládá ze tří polí o rozpětí 66,5 + 73,5 + 66,5 m, a převádí komunikaci pro autobusy, cyklisty a pěší přes koryto místní řeky Tamaki. Součástí konstrukce mostu je i vyhlídková terasa v místě každého pilíře. (20)

Hlavní nosná konstrukce se skládá z dvojice svařovaných nosníků tvaru I, které mají výšku 3,8 m nad podporami a 2,3 m v poli. Jak lze pozorovat na Obr. 48, konstrukce se od dvoutrámových mostovek navrhovaných v ČR liší v první řadě použitím ocelových příčníků jako podpory betonové desky jak mezi nosníky, tak na konzolách. Je tím dosaženo redukce tloušťky desky a také menší spotřeby betonářské výztuže v desce. (7)

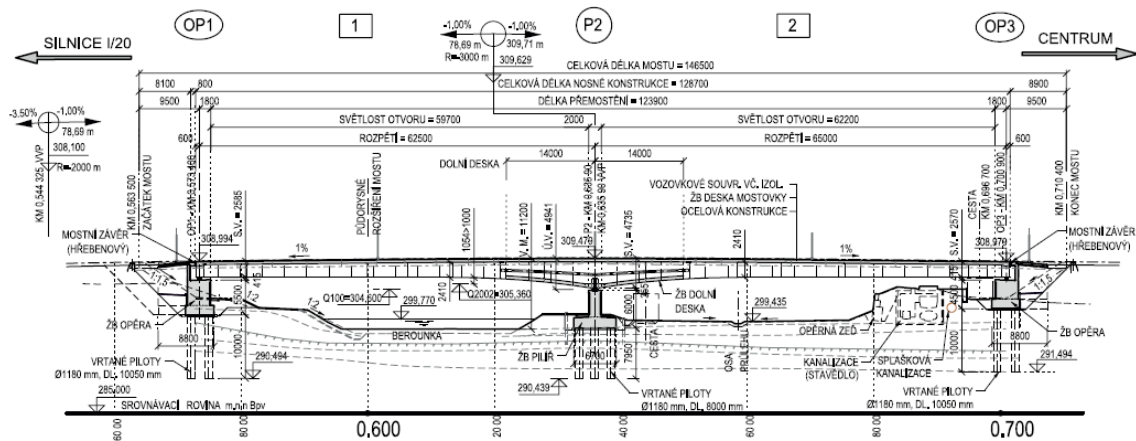


Obr. 48 - příčný řez mostem na Novém Zélandu (20)

Další odlišností je použití šroubových spojů mezi hlavními nosníky a příčnými. Šroubové spoje se obecně vyznačují menší pracností a rychlejším provedením, než spoje svařované, a navrhuje se tam, kde nejsou vhodné podmínky pro svařování (nízká teplota, sníh, déšť a vítr) (21). Při použití svařovaných spojů je nutná jejich pravidelná kontrola, protože tyto spoje jsou náchylné na únavové porušení (7).

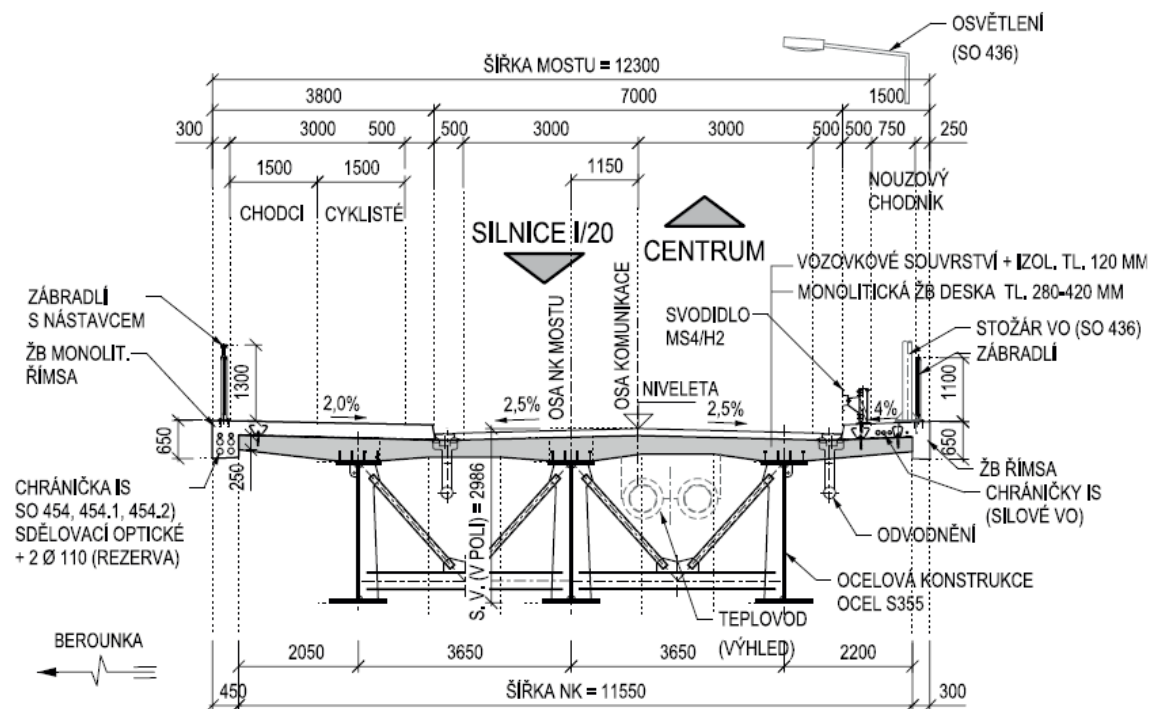
Most na silnici II/231 přes řeku Berounku

Zvýšit únosnost spráženého průřezu nad podporou, je kromě běžně využívaných možností ve formě zvětšení tloušťky pásnic, možno i pomocí betonové desky umístěné na spodní pásnici ocelových nosníků. Toho je využito u následující mostu přes řeku Berounku, který se skládá ze dvou polí o rozpětí 62,5 + 65,0 m (Obr. 49). (14)



Obr. 49 - podélný řez mostem přes řeku Berouнку (14)

V důsledku velmi stlačené stavební výšky pod mostem bylo nutné navrhnout štíhlou konstrukci. Ta byla zvolena jako spojitý nosník o dvou polích s mostovkou tvořenou třemi ocelovými svařovanými nosníky s proměnnou výškou od 2,47 m nad opěrami OP1 a OP2 do 4,62 m nad pilířem P2. Stejně tak je proměnná tloušťka betonové desky a to mezi 0,29 m v poli a 0,42 m nad pilířem. Osová vzdálenost nosníků je 3,65 m, (Obr. 50). (14)



Obr. 50 - příčný řez mostem přes Berouнку

Výstavba mostu začala montáží ocelových nosníků, které byly rozděleny na celkem 6 taktů po své délce. První byly osazeny části nad pilířem P2 a v blízkosti opěry OP1. Následně došlo k dokončení montáže celého prvního pole, a montáž mohla pokračovat do pole druhého. Během výstavby byly použity dočasné podpory umístěné na spojích jednotlivých taktů. (14)

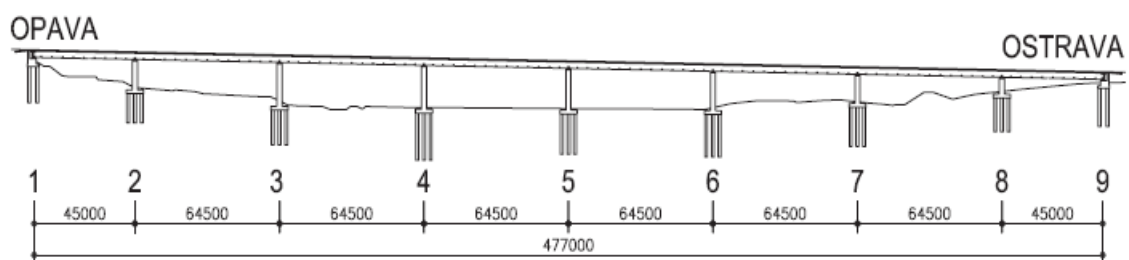
Jakmile došlo k finálnímu dokončení montáže, proběhla betonáž dolní sprážené desky v oblasti záporných ohybových momentů nad pilířem P2. K tomu byla využita technologie ztraceného bednění s pomocí filigránových panelů. (14)

Poslední částí výstavby nosné konstrukce byla betonáž horní spřažené desky, která byla nejdříve provedena nad opěrami OP1 a OP2, potom v polích mostu, a jako poslední byl vybetonován úsek nad podporou kvůli omezení tahových napětí v betonu. (14)

Estakáda přes potok Porubka

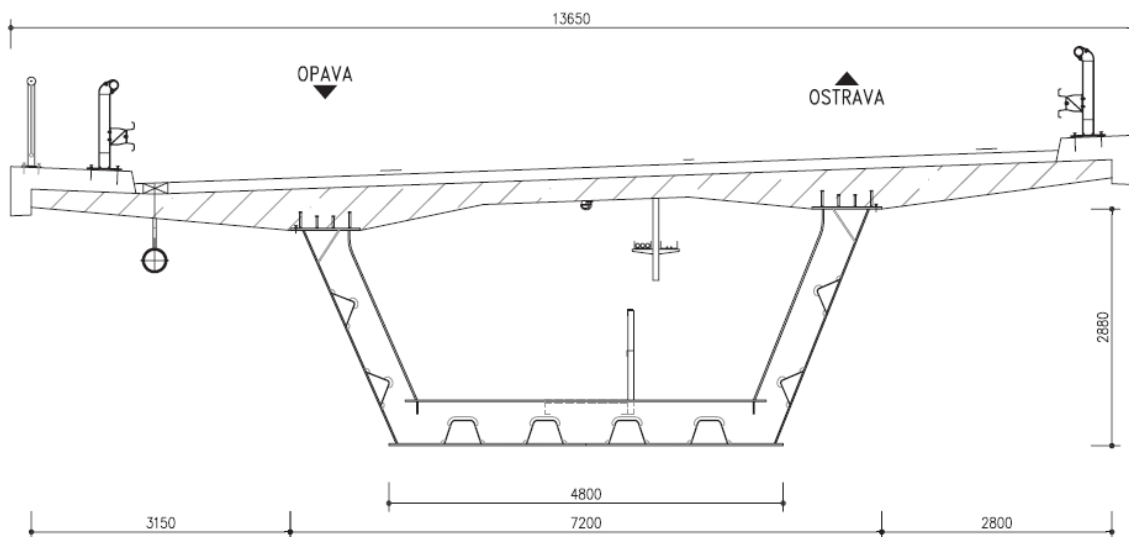
Pro největší rozpětí a zároveň největší šířky konstrukcí se uplatňuje návrh otevřených komorových nosníků. V závislosti na šířce konstrukce se navrhuje jednokomorové mosty či vícekomorové (při extrémních šířkách mostu). (7)

Jedním z komorových spřažených mostů s rozpětím na dolní hranici uvedeného intervalu rozpětí, je estakáda přes potok Porubka na silnici I/11. Tento mostní objekt se skládá z osmi polí s rozměry $45,0 + 6 \times 64,5 + 45,0$ m (viz. Obr. 51), a převádí směrově rozdělenou silnici na dvou souběžných mostech. (14)



Obr. 51 - podélný řez estakádou přes potok Porubka (14)

V příčném řezu se jedná o konstrukci takzvaného „truhlíku“, tedy průřezu skládajícího se z dolní pásnice, dvojice šikmých stěn a dvou horních pásnic (14). Šikmé stěny komorového průřezu se využívají z důvodu estetiky, u konstrukcí s velkou šířkou, a také kvůli efektivnímu spolupůsobení dolní pásnice (7).



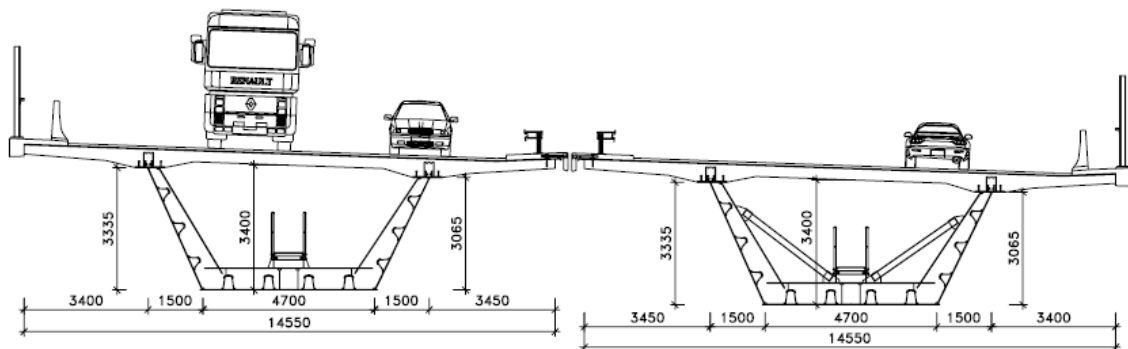
Obr. 52 - příčný řez estakádou přes potok Porubka (14)

Konstrukční výška je konstantní o rozměru 2,88 m, šířka dolní pásnice je 4,80 m a šířka horní pásnice je proměnná mezi 0,85 m v poli, a 1,15 m nad podporami. Jak lze vidět na Obr. 52, tvar příčného řezu je zajištěn rámovými příčnými výztuhami ve vzájemné vzdálenosti 4,75 m. Betonová deska má proměnnou tloušťku 0,55 m nad horními pásnicemi, 0,27 m ve střední části, a 0,22 m na okrajích konzol. (14)

Pro účely montáže, která proběhla podélným výsunem, je spodní pásnice vodorovná po celé délce mostu. To bylo při návrhu podélně vysouvaného komorového mostu nezbytné, aby bylo usnadněno vysunutí po kluzných deskách. Při montáži byly oba mosty rozděleny na 20 segmentů, které byly postupně smontovány na montážní ploše za opěrou 9. Následná betonáž desky proběhla ve 23 etapách od krajních opěr směrem do středu mostu. (14)

Hraniční most na dálnici D8

Most s podobným typem hlavní nosné konstrukce jako v předchozím případě je most, který přemostňuje hluboké údolí na hranici mezi ČR a Německem. Opět se jedná o dvě souběžné mostní konstrukce, tentokrát o šesti polích s rozměry 58,4 + 4 x 73,0 + 58,4 m, tedy s lehce většími rozpětími polí. (22)



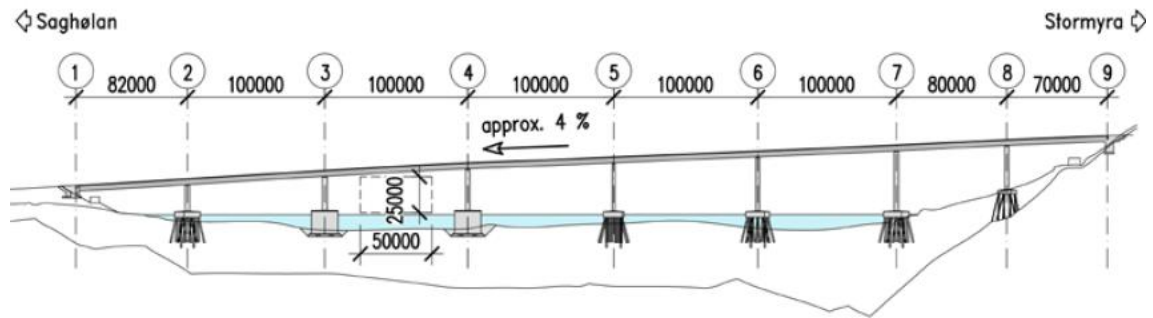
Obr. 53 - příčný řez mostem na dálnici D8 (22)

Na Obr. 53 lze vidět, že se opět jedná o tzv. „truhlík“ složený z dolní pásnice, dvou šikmých sten, a dvou horních pásnic. Šířka dolní pásnice je 4,70 m, a stěny mají vzhledem k příčnému sklonu mostu výšku 3,06 m a 3,34 m. Dále jsou stěny a dolní pásnice vyztuženy systémem příčných a podélných výztuh, kdy rozmístění příčných výztuh je po 3,7 m. Navíc je každá třetí výztuha ztužena vzpěrami ve tvaru V. (22)

I zde byla zvolena montáž pomocí podélného výsunu, a to především kvůli velké výšce konstrukce nad terénem. Oba mosty byly kvůli napjatému časovému harmonogramu vysouvány souběžně, a byly rozděleny na 13 výsuvných taktů. Průhyb čela ocelové komory při výsunu byl redukován vylehčeným ocelovým nosem. Betonáž byla provedena pomocí pojízdného vozíku poutnickým způsobem. (22)

Most přes Åstfjord na silnici FV. 714 v Norsku

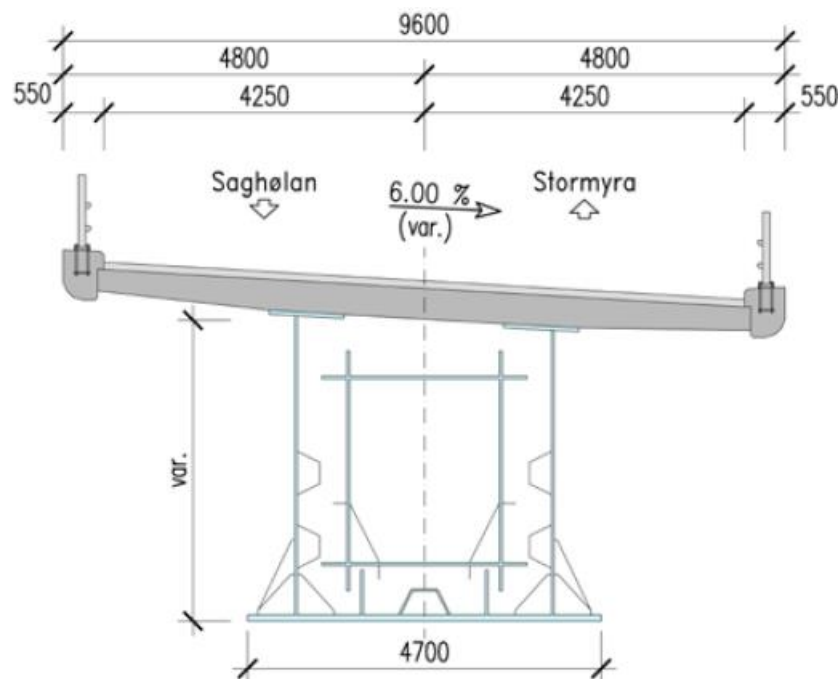
Návrhy spřažených mostů v zahraničí se často liší nejenom tvarem a styky ocelových prvků, ale také metodami výstavby. To se týká mostu, který překlenuje fjord u Norského moře spojitým nosníkem o 8 polích s rozpětími 82,0 + 5 x 100,0 + 80,0 + 70 m. Podmínky návrhu mostu v mořském prostředí byly specifické nejen z důvodu pečlivé protikorozní ochrany, ale také kvůli kolísání hladiny při přílivu a odlivu o přibližně 3 m. Projekt byl navržen norskou projekční kanceláří, a vystavěn českou stavební firmou. (23)



Obr. 54 - podélný řez mostem přes fjord v Norsku (23)

Celá konstrukce byla kvůli výstavbě rozdělena do 8 montážních celků o maximální délce 67,0 m, a jednotlivé celky byly dopraveny na staveniště po moři pomocí lodě. Loď byla po dopravení jednotlivých částí zakotvena v blízkosti staveniště, kde proběhly montáže jednotlivých sekcí, čištění od mořské vody a obnovení protikorozní ochrany. (23)

Pro samotnou montáž komory byl použit speciální lodní jeřáb, který dílce umístil na provizorní podpory. Po detailním zaměření došlo k propojení jednotlivých částí a podlití ložisek. (23)



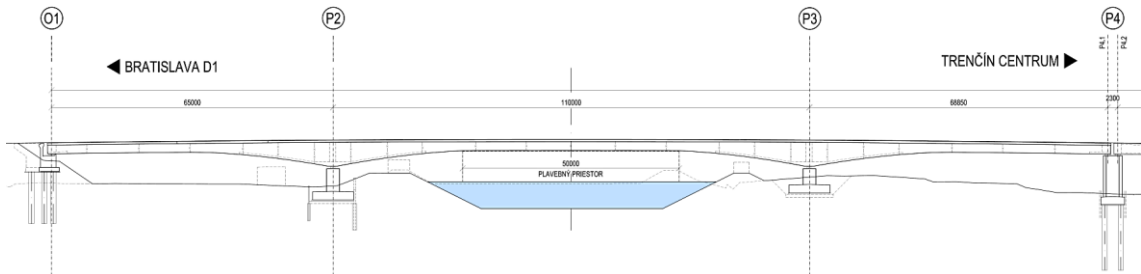
Obr. 55 - příčný řez mostem přes fjord v Norsku (23)

Jak lze pozorovat na Obr. 55, most převádí dvoupruhovou komunikaci a celková šířka konstrukce je 9,60 m. Oproti předchozím zmíněným mostům zde stěny komory nejsou šikmé, a mají proměnnou výšku podle využití. Spodní pásnice je široká 4,70 m, a je širší než osová vzdálenost stěn komory. Stabilita stěn je zajištěna pomocí příčných a podélných výtuh. (23)

Betonáž desky proběhla pomocí posuvného betonážního vozíku, a byla rozdělena na celkem 30 záběrů. Standardní délka jednoho záběru byla 25,0 m. (23)

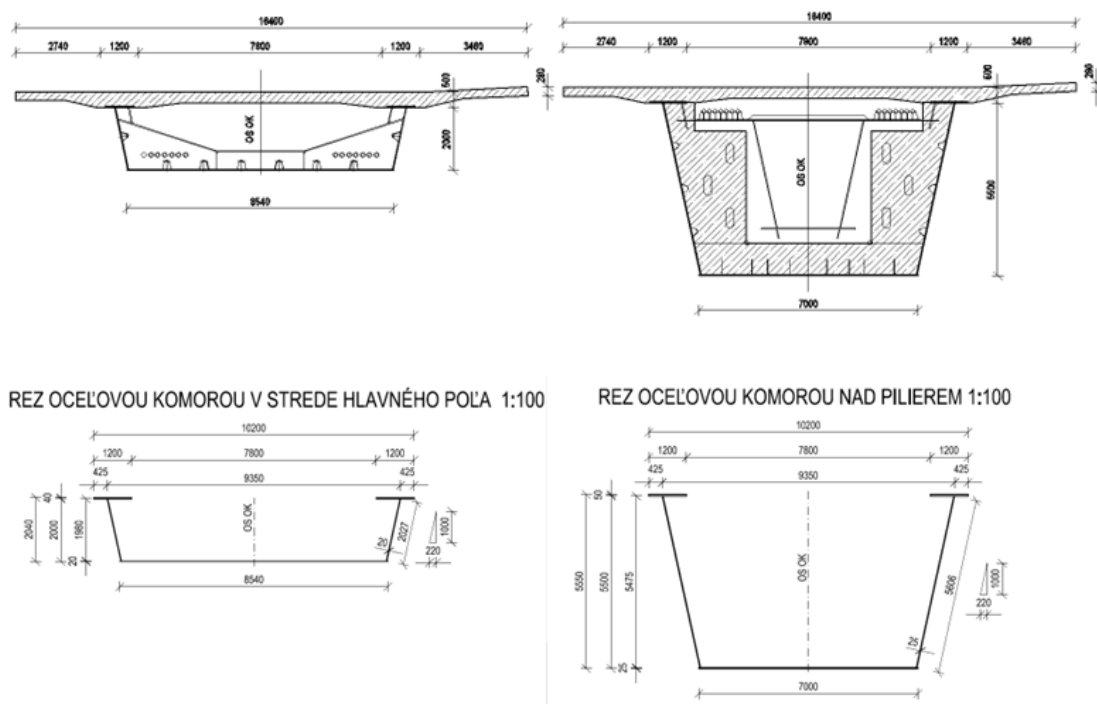
Most přes Biskupický kanál a Váh

Unikátním mostem, který propojuje technologie spřažených mostů se systémem předpětí, které je používáno převážně u betonových mostů, je most přes Biskupický kanál a řeku Váh na Slovensku. Celý most se skládá ze dvou dilatačních celků, kdy DC I. (Obr. 56) je 3-polový ocelobetonový komorový most s délkou 281,65 m a DC II. je 6-polový komorový most z předpjatého betonu. (24)



Obr. 56 - podélný řez mostem DC. I (24)

Nosná konstrukce DC I., s rozpětím polí 65,0 + 110,0 + 68,8 m, je ocelobetonová komora s kabely volného předpětí uvnitř nosné konstrukce. Výška konstrukce je v rozmezí 2,5 m v hlavním poli a 6,0 m nad pilíři. Při návrhu bylo nutné dodržet plavební prostor pod mostem v hlavním poli, a zároveň letecký prostor nad mostem, což mělo za následek návrh stlačeného průřezu, a použití předpínacích kabelů. Navíc jsou příčníky nad pilíři a obou koncích mostu, tedy nad O1 a P4, vyztuženy vnitřními spřaženými příčníky. (24)



Obr. 57 - příčný řez mostem DC. I

Ocelový průřez (na Obr. 57) je tvořen spodní pásnicí o šířce 7,0 až 8,54 m, šikmými stěnami a horními pásnicemi šířky 0,9 až 1,2 m. Stěny a dolní pásnice jsou navíc vyztuženy systémem podélnými a příčnými výztuhami po 3,6 m. (24)

Železobetonová deska má šířku 16,4 m a její tloušťka je 0,50 m nad stěnami, 0,35 m ve středu průřezu a 0,28 m na koncích konzol. (24)

Výstavba byla před začátkem výstavby změněna z původní letmé montáže na podélný výsuv z obou konců mostu. Ocelová komora byla rozdělena na 24 montážních dílců, a přepravena na staveniště, kde byla postupně montována a vysouvána směrem nad řeku. Důležité je určitě zmínit, že montáž proběhla ve vodorovné poloze příčného řezu, kvůli umožnění podélného výsuvu. Po dokončení montáže ocelové konstrukce byl celý most pootočen, aby bylo docíleno navrženého příčného sklonu. (24)

Betonáž desky mostovky proběhla po dokončení výsuvu a podlití ložisek hlavní nosné konstrukce. Pro betonáž byl použit betonážní přesuvný vozík s podskružením střední části. První byla vybetonována dolní spřažená deska, která byla součástí nadpodporových příčníků, a následně se postupovalo poutnickým způsobem, s cílem omezit trhliny v betonové desce. (24)

Poslední částí bylo napnutí předpínacích kabelů uvnitř komorového průřezu. Geometrie kabelů byla zajištěna deviátory, které byly součástí příčného ztužení. (24)

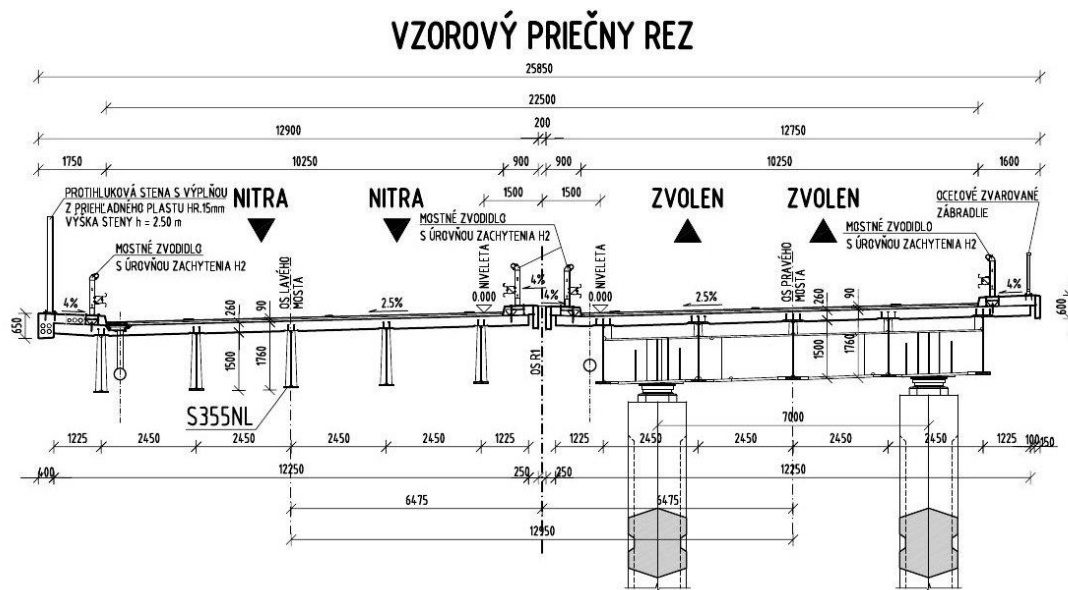
1.5 Normy a související předpisy

- [1] ČSN EN 1990 ed.2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [4] ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady
- [5] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1993-1-5 ed.2 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn
- [7] ČSN EN 1994-2 Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí -
Část 2: Obecná pravidla a pravidla pro mosty
- [8] TKP kap. 18 Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací - Betonové konstrukce a mosty
- [9] TKP kap. 19A Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací - Ocelové mosty a konstrukce
- [10] TP 79 Navrhování spřažených ocelobetonových nosných konstrukcí mostů pozemních komunikací

2. Zadání diplomové práce

Zadaný most uvedený v této kapitole sloužil pro analýzu a volbu alternativních návrhů. Dále byl tento most použit pro ekonomické srovnání s navrženou finální variantou na základě spotřeby materiálu.

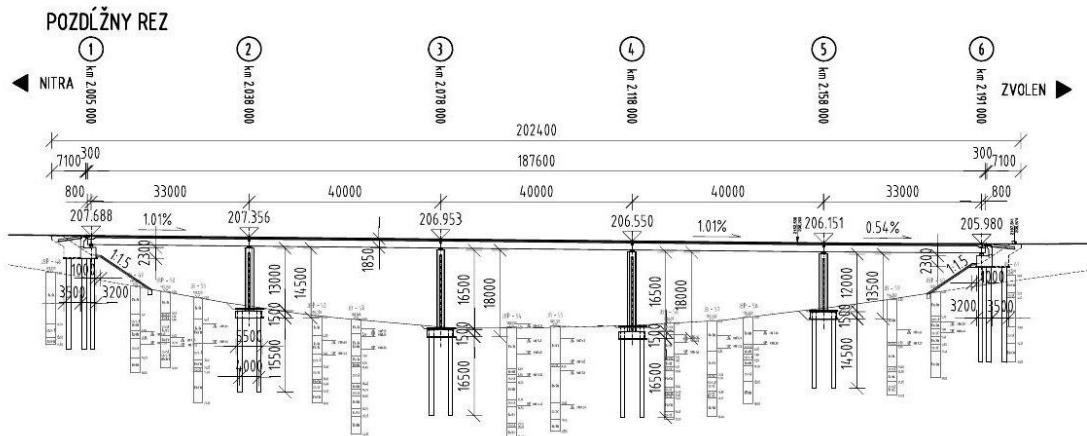
Most na rychlostní komunikaci R1 – III. úsek, Beladice – Tekovské Nemce vede přes údolí Majerského potoka na Slovensku. Jedná se o 5 polový spřažený ocelobetonový most s rozpětími 33,0 + 3 x 40,0 + 33,0 m. Nosná konstrukce je tvořena kompozitním ocelobetonovým roštem s pěti nosíky tvaru I (Obr. 58). Spodní stavba je tvořena krajními opěrami a čtyřmi členěnými mezilehlými pilíři.



Obr. 58 - příčný řez mostem na R1

Most je rozdělen na dva souběžné mostní objekty, kdy každý převádí dvoupruhovou komunikaci s volnou šířkou 2 x 10,25 m. Komunikace na mostě vede ve směrovém oblouku o poloměru $R = 2550$ m.

Ocelové nosníky mají proměnnou výšku 1,49 až 1,54 m s tím, že stojiny všech nosníků jsou stejně vysoké a mění se pouze rozměry pásnic. Všechny nosníky byly vyrobeny z oceli S355 NL. Betonová deska má konstantní tloušťku 0,26 m a byla vyrobena z betonu třídy C30/37.



Obr. 59 - podélný řez mostem na R1

Výstavba ocelové části byla provedena standartně blokovou montáží s použitím dočasných podpěr mezi pilíři mostu. Bloková montáž byla u tohoto mostu umožněna z důvodu malé výšky a dostupného terénu pod mostem (Obr. 59). Betonáž desky byla provedena po etapách, bez použití provizorních podpěr, s ocelovou konstrukcí osazenou na ložiskách. Nejprve se vždy betonovaly úseky v polích, a následně úseky nad podporami. Betonovalo se pomocí dvou betonážních vozíků, které se pohybovaly po dolních pásnicích ocelové konstrukce.

3. Navržené varianty

Pro zadaný most na komunikaci R1 s rozpětími 33,0 + 3 x 40,0 + 33,0 m, který se skládá z roštové mostovky s 5-ti nosníky, byly vybrány následující alternativy mezi spřaženými ocelobetonovými konstrukcemi:

- Roštová mostovka s 6 nosníky
- Roštová mostovka s 4 nosníky
- Dvoutrámová mostovka

Tyto varianty byly vybrány s přihlédnutím k rozpětí jednotlivých polí a šířce komunikace. Vzhledem k maximálnímu rozpětí polí o délce 40 m zde nebyla uvažována komorová konstrukce. Návrh komorového mostu je totiž obvykle vhodný až od rozpětí nad 60 m.

3.1 Software na optimalizaci spřažených ocelobetonových mostů

V následujících podkapitolách jsou představeny jednotlivé variantní návrhy včetně příčných řezů a základních dimenzí nosných prvků. Jednotlivé dimenze byly získány pomocí nástroje na optimalizaci spřažených ocelobetonových mostů **COMPLIT** dostupného na (25). Software **COMPLIT** provádí optimalizaci na základě **LCA** (Lifecycle Assessment) a **LCC** (Lifecycle Cost) (25).

Analýza životního cyklu (LCA) vyčísluje dopad stavby na životní prostředí ve všech fázích její životnosti, od výstavby po její demontáž včetně údržbových prací. Dopad na životní prostředí je vyčíslen v následujících kategoriích jako ekvivalent produkovaných škodlivých látek a spotřebované energie (25):

- Potenciál globálního oteplování (GWP) – kg CO₂
- Potenciál oslabení ozonové vrstvy (ODP) – kg R11
- Potenciál tvorby fotochemického ozonu (POCP) – C₂H₄
- Potenciál okyselení prostředí (AP) – SO₂
- Potenciál eutrofizace (EP) – PO₄
- Spotřeba energie z obnovitelných zdrojů (PEE)
- Spotřeba energie z neobnovitelných zdrojů (PENE)

Analýza životních nákladů (LCC) se dělí na přímé a nepřímé náklady, které jsou analyzovány pro celou dobu životnosti mostu. Náklady jsou převedeny na čistou současnou hodnotu (Net Present Value) pomocí míry inflace a diskontní sazby (25).

Přímé náklady (NPV) tvoří (25) :

- Materiál a jeho doprava na stavbu
- Potřebné dočasné konstrukce nutné k výstavbě
- Pracovní síla a pronájem strojů
- Pravidelné a nepravidelné údržbové práce
- Demontáž a demolice jednotlivých částí mostu
- Odvoz a uskladnění stavební suti
- Výzisk za prodej či opětovné použití materiálů

Nepřímé náklady tvoří jsou náklady spojené s dopravními omezeními způsobenými stavebními pracemi na konstrukci (C_{traff}) (25).

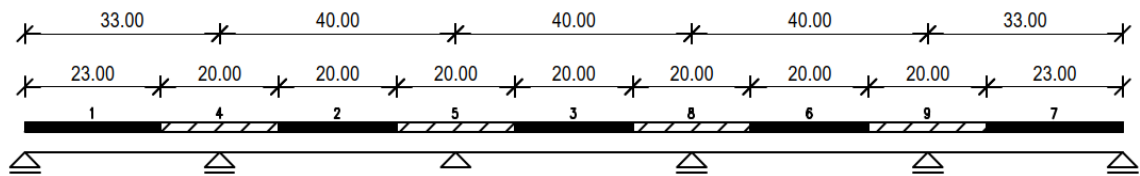
3.2 Předpoklady optimalizace

- Třída oceli je pro všechny návrhy S355NL.
- Třída betonu pro návrhy s roštovou mostovkou je C30/37 a pro dvoutrámovou mostovku C35/45.
- Ostatní stálé zatížení bylo vypočítáno s použitím stejné skladby vozovky jako na mostě na komunikaci R1:

Tabulka 1 - předpokládané zatížení

	γ [kN/m ³]	t [mm]	A [m ²]	$g_{1,k}$ [kN/m]	γ_G [-]	$g_{1,d}$ [kN/m]
Asf. Koberec mastixový AKMS	23.00	40	-	9.43	1.35	12.73
Asf. Beton ABS	23.00	45	-	10.61	1.35	14.32
Natavovací izolační pás	12.00	5	-	0.74	1.35	0.99
Mostní vybavení - odhad	-	-	-	4.00	1.35	5.40
Chodník s římsou	25.00	-	0.49	12.31	1.35	16.61
Samostatná římsa	25.00	-	0.29	7.34	1.35	9.91
Celkem				44.42		59.96

- Výstavba ocelové části proběhla metodou blokové montáže.
- Výstavba proběhla bez použití dočasných podpěr při betonáži mostovky.
- Betonáž byla provedena střídáním polových a nadpodporových úseků podle následujícího schématu:



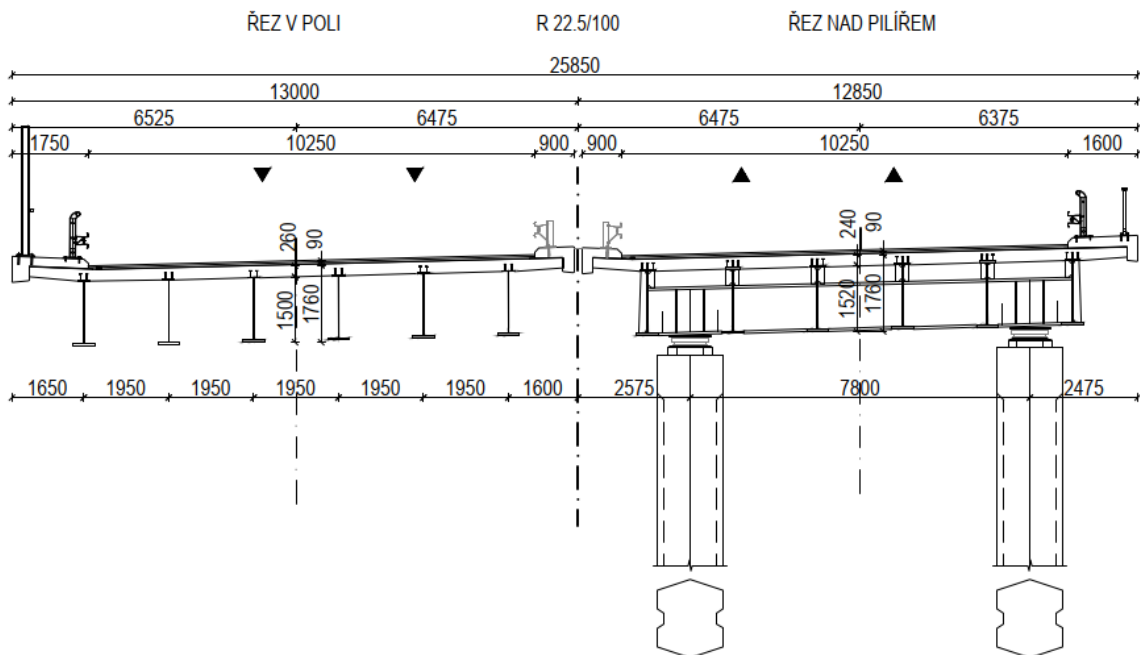
Obr. 60 - schéma postupu betonáže pro optimalizaci

- Byly použity standartní tloušťky válcovaných plechů dle (26).
- Na mostě byl uvažován jeden chodník o šířce 0,75 m.
- Stupeň vyztužení betonové desky v podélném směru byl uvažován o hodnotě 1,5%.

3.3 Navržené varianty

3.3.1 Návrh č.1 - roštový systém s 6 nosníky

Mostní konstrukci tvoří spojitý nosník o pěti polích s rozměry 33,0 + 3 x 40,0 + 33,0 m převádějící vozovku třídy S22,5 v oblouku o poloměru $R = 2550$ m. Mostní konstrukce jsou rozděleny na dva souběžné mosty, každý s vozovkou o šířce 10,25 m. Konstrukci mostu tvoří roštová mostovka s 6 svařovanými ocelovými I nosníky a monolitická betonová spřažená deska (Obr. 61).



Obr. 61 - charakteristický příčný řez konstrukcí

Ocelové nosníky jsou z oceli S355NL ve vzájemné osové vzdálenosti 1,95 m a délkou vykonzolování 1,25 m. Ocelové nosníky mají rozměry:

Tabulka 2 - rozměry ocelových nosníků pro návrh č.1

	V poli		Nad pilířem	
výška nosníku	1.500	[m]	1.520	[m]
výška stojiny	1.420	[m]	1.420	[m]
tloušťka stojiny	0.022	[m]	0.025	[m]
šířka horní pásnice	0.280	[m]	0.350	[m]
tloušťka horní pásnice	0.020	[m]	0.040	[m]
šířka dolní pásnice	0.500	[m]	0.500	[m]
tloušťka dolní pásnice	0.060	[m]	0.060	[m]

Nad podporami jsou ocelové nosníky uloženy přes svařovaný ocelový příčník z oceli S355NL o rozměrech:

Tabulka 3 - rozměry příčníků pro návrh č.1

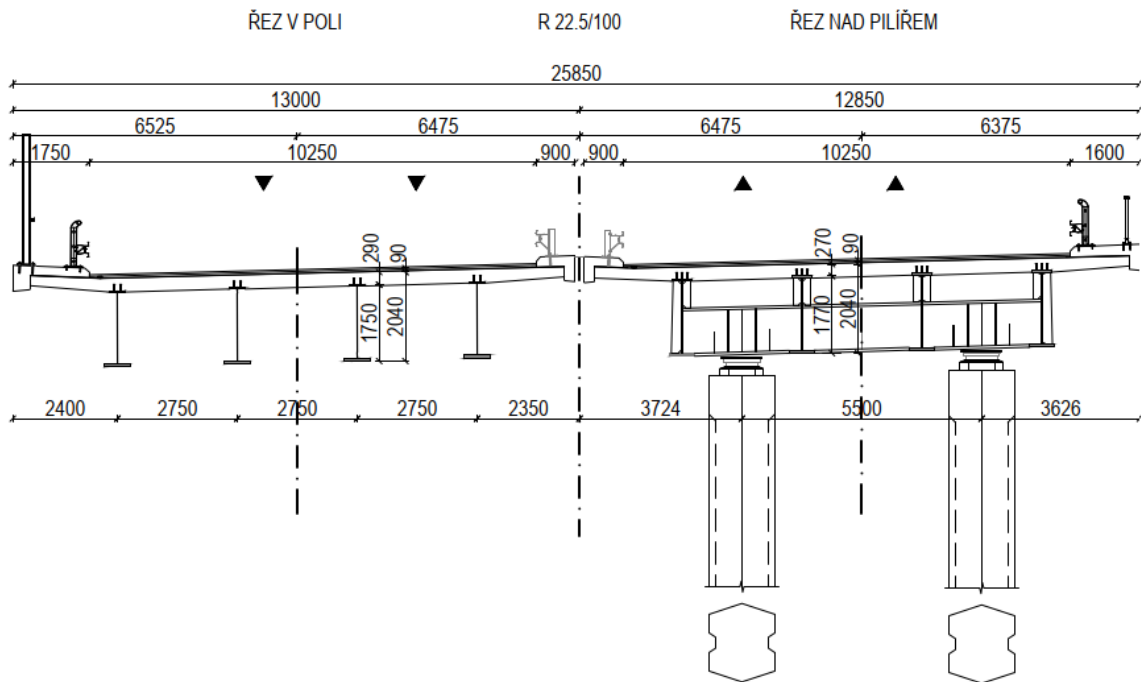
výška příčníku	1.100	[m]
výška stojiny	0.980	[m]
tloušťka stojiny	0.025	[m]
šířka horní pásnice	0.400	[m]
tloušťka horní pásnice	0.060	[m]
šířka dolní pásnice	0.500	[m]
tloušťka dolní pásnice	0.060	[m]

Betonová deska mostu je z betonu třídy C30/37, a má tloušťku 0,26 m. Tloušťka betonové desky se od krajního nosníku směrem ke kraji konzoly zmenšuje na 0,23 m. Tloušťka vozovky na mostě je 0,09 m a celková stavební výška mostu je 1,85 m.

Mezilehlé podpory tvoří dvojice betonových pilířů s rozměry 1,50 x 1,80 m ve vzájemné osové vzdálenosti 7,80 m.

3.3.2 Návrh č.2 - roštový systém s 4 nosníky

Mostní konstrukci tvoří spojitý nosník o pěti polích s rozměry 33,0 + 3 x 40,0 + 33,0 m převádějící vozovku třídy S22,5 v oblouku o poloměru $R = 2550$ m. Mostní konstrukce jsou rozděleny na dva souběžné mosty, každý s vozovkou o šířce 10,25 m. Konstrukci mostu tvoří roštová mostovka s 4-mi svařovanými ocelovými I nosníky, a monolitická betonová spřažená deska (Obr. 62).



Obr. 62 - charakteristický příčný řez konstrukcí

Ocelové nosníky jsou z oceli S355NL ve vzájemné osové vzdálenosti 2,75 m a délkou vykonzolování 2,00 m. Ocelové nosníky mají rozměry:

Tabulka 4 - rozměry ocelových nosníků pro návrh č.2

	V poli		Nad pilířem	
výška nosníku	1.750	[m]	1.770	[m]
výška stojiny	1.655	[m]	1.675	[m]
tloušťka stojiny	0.025	[m]	0.030	[m]
šířka horní pásnice	0.360	[m]	0.450	[m]
tloušťka horní pásnice	0.030	[m]	0.050	[m]
šířka dolní pásnice	0.580	[m]	0.500	[m]
tloušťka dolní pásnice	0.065	[m]	0.060	[m]

Nad podporami jsou ocelové nosníky uloženy přes svařovaný ocelový příčník z oceli S355NL o rozměrech:

Tabulka 5 - rozměry příčníku pro návrh č.2

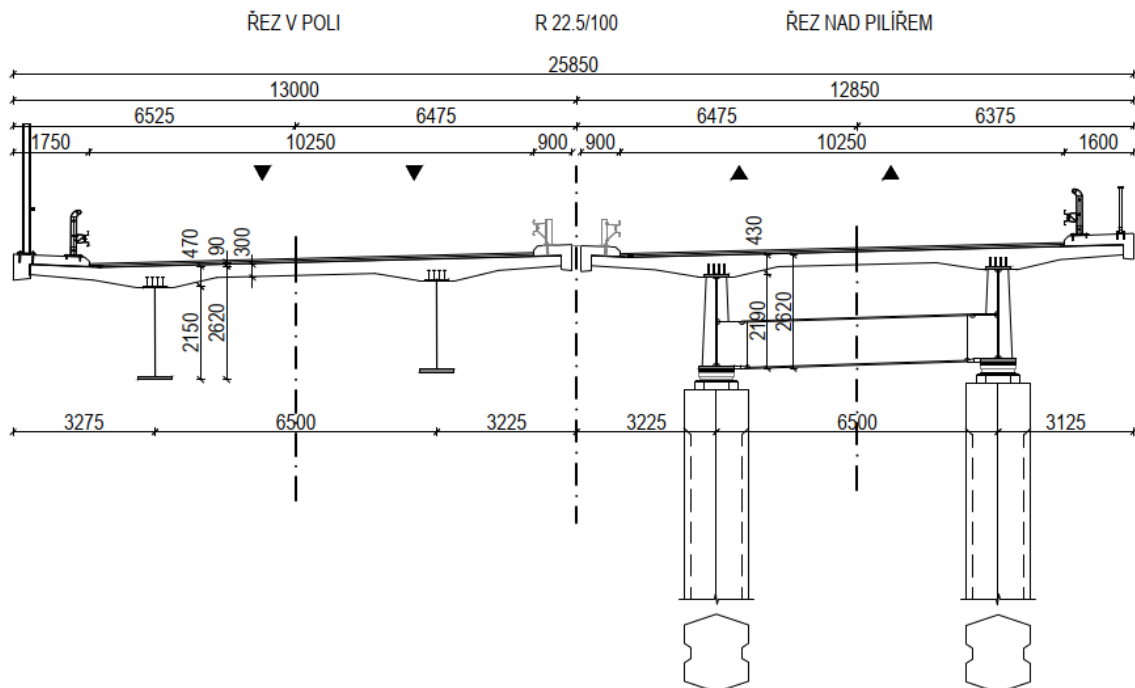
výška příčníku	1.100	[m]
výška stojiny	0.975	[m]
tloušťka stojiny	0.025	[m]
šířka horní pásnice	0.400	[m]
tloušťka horní pásnice	0.060	[m]
šířka dolní pásnice	0.500	[m]
tloušťka dolní pásnice	0.065	[m]

Betonová deska mostu je z betonu třídy C30/37 a má tloušťku 0,29 m. Tloušťka betonové desky se od krajního nosníku směrem ke kraji konzoly zmenšuje na 0,23 m. Tloušťka vozovky na mostě je 0,09 m, a celková stavební výška mostu je 2,13 m.

Mezilehlé podpory tvoří dvojice betonových pilířů s rozměry 1,50 x 1,80 m ve vzájemné osové vzdálenosti 5,50 m.

3.3.3 Návrh č.3 - dvoutrámový systém

Mostní konstrukci tvoří spojitý nosník o pěti polích s rozměry 33,0 + 3 x 40,0 + 33,0 m, převádějící vozovku třídy S22,5 v oblouku o poloměru $R = 2550$ m. Mostní konstrukce jsou rozděleny na dva souběžné mosty, každý s vozovkou o šířce 10,25 m. Konstrukci mostu tvoří dvoutrámová mostovka s 2-mi svařovanými ocelovými I nosníky, a monolitická betonová spřažená deska (Obr. 63).



Obr. 63 - charakteristický příčný řez konstrukcí

Ocelové nosníky jsou z oceli S355NL, ve vzájemné osové vzdálenosti 6,50 m,- a délkou vykonzolování 3,125 m. Ocelové nosníky mají rozměry:

Tabulka 6 - rozměry hlavních nosníků pro návrh č.3

	V poli		Nad pilířem	
výška nosníku	2.150	[m]	2.190	[m]
výška stojiny	2.050	[m]	2.050	[m]
tloušťka stojiny	0.025	[m]	0.030	[m]
šířka horní pásnice	0.550	[m]	0.550	[m]
tloušťka horní pásnice	0.030	[m]	0.070	[m]
šířka dolní pásnice	0.810	[m]	0.810	[m]
tloušťka dolní pásnice	0.070	[m]	0.070	[m]

Ztužení nad podporami je zatištěno pomocí svařovaného ocelového příčnicku z oceli S355NL o rozměrech:

Tabulka 7 - rozměry příčnicků pro návrh č.3

výška příčnicku	1.100	[m]
výška stojiny	1.040	[m]
tloušťka stojiny	0.016	[m]
šířka horní pásnice	0.400	[m]
tloušťka horní pásnice	0.030	[m]
šířka dolní pásnice	0.500	[m]
tloušťka dolní pásnice	0.030	[m]

Betonová deska mostu je z betonu třídy C35/45 a má tloušťku 0,30 m mezi nosníky, 0,23 m na krajích konzol betonové desky a 0,50 m v náběhových klínech betonové desky nad nosníky. Tloušťka vozovky na mostě je 0,09 m a celková stavební výška mostu je 2,62 m.

Mezilehlé podpory tvoří dvojice betonových pilířů s rozměry 1,50 x 1,80 m ve vzájemné osové vzdálenosti 6,50 m.

3.4 Porovnání navržených variant

Výsledky z programu na optimalizaci spřažených ocelobetonových mostů **COMPLIT** na základě hodnocení podle **LCA** (Lifecycle Assessment) a **LCC** (Lifecycle Cost) jsou následující:

Tabulka 8 - výsledky optimalizace z programu Complot

	Návrh č.1	Návrh č.2	Návrh č.3	
GWP	1979.52	1900.29	1720.14	[CO2 eq/m2]
ODP	4.35E-06	4.25E-06	4.04E-06	[R11 eq/m2]
POCP	1.12	1.05	0.92	[kg C2H4 eq/m2]
AP	6.51	6.19	5.46	[kg SO2 eq/m2]
EP	0.55	0.53	0.48	[PO4 eq/m2]
PEE	1342.40	1290.78	1174.56	[MJ/m2]
PENE	48782.21	47703.60	45248.40	[MJ/m2]
EM_traff	0.47	0.47	0.47	[kg CO2 eq/m2]
NPV	47068	44217	38927	[CZK/m2]
C_traff	111.03	111.03	111.03	[CZK/m2]

Z výsledků optimalizace lze vidět, že nejvíce výhodným návrhem při zohlednění Analýzy životního cyklu (LCA) a Analýzy životních nákladů (LCC) je Návrh č.3 – dvoutrámová konstrukce. Naopak nejméně výhodným je Návrh č.1 - roštová mostovka s 6-ti hlavními nosníky. Tento návrh má nejen nejvyšší dopad na životní prostředí, ale také nejvyšší náklady celého životního cyklu, tj. od výstavby po demolicí mostu.

Návrh č.1 – roštová mostovka s 6-ti nosníky, má navíc nosníky v osově vzdálenosti 1,95 m, což je osová vzdálenost menší než se obvykle navrhuje, a betonová deska by pravděpodobně nebyla plně využita v příčném směru. Malá osová vzdálenost nosníků u tohoto návrhu by se dala využít například při použití ztraceného bednění z filigránových panelů, u kterých je výhodné použití menšího rozpětí. Řešení s 6-ti hlavními nosníky navíc nevede k výrazně menším hlavním nosníkům než ostatní varianty a celková spotřeba oceli je tím pádem výrazně vyšší.

Dále je možné poukázat i na nevýhodu řešení s 6-ti nosníky pro budoucí výstavbu ocelové konstrukce. Vzhledem k většímu počtu nosníků bude nutné konstrukci rozdělit na větší počet montážních dílů, které bude nutné spojit na stavbě. To ovlivní nejen náklady na dopravu, ale i prodlouží čas montáže.

Všechny představené návrhy disponují stejnou délkou rozpětí a šířkou konstrukce. Jejich odlišnost spočívá v odlišné ocelové části spřažené mostní konstrukce a tloušťce betonové desky. Pro účel porovnání s realizovanou variantou s 4-mi nosníky byl na základě výsledků ze softwaru pro optimalizaci spřažených ocelobetonových mostů COMPLIT vybrán Návrh č.3 – dvoutrámová konstrukce.

3.5 Závěr

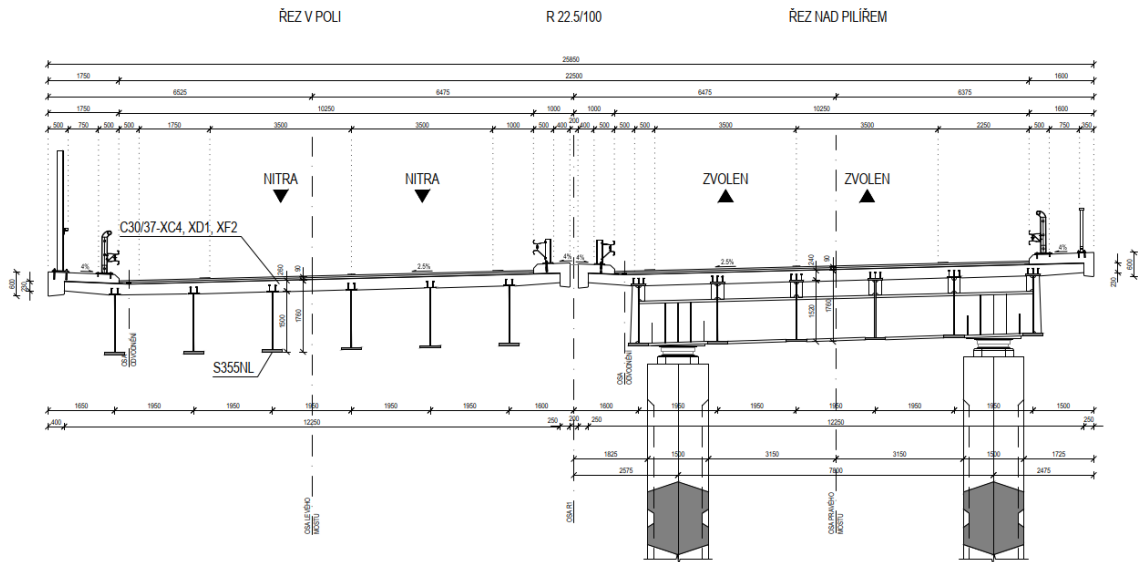
V této kapitole byly představeny 3 alternativní návrhy spřažených ocelobetonových mostů k realizovanému spřaženému ocelobetonovému mostu s 5 nosníky (z kap.2).

Jednotlivé návrhy byly porovnány pomocí nástroje na optimalizaci spřažených ocelobetonových mostů **COMPLIT** a byla vybrána nejekonomičtější varianta s 2 nosníky (návrh č.3). Výkresová dokumentace všech návrhů je uvedena v Příloze 1 této diplomové práce.

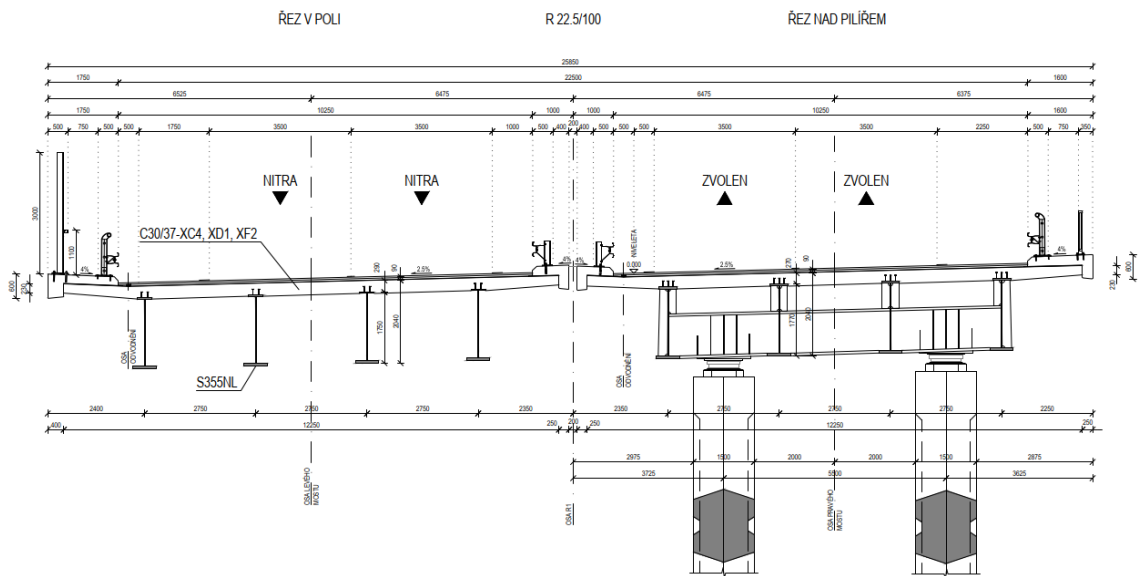
Tento návrh byl dále rozpracován ve statickém výpočtu (Příloha 2), výkresové dokumentaci (Příloha 4) a ekonomickém porovnání (Příloha 5). Ekonomické porovnání bylo zpracováno pro vybraný alternativní návrh s 2 nosníky a realizovaný návrh s 5 nosníky uvedené v kap.2.

4. Výkresová dokumentace navržených alternativních variant

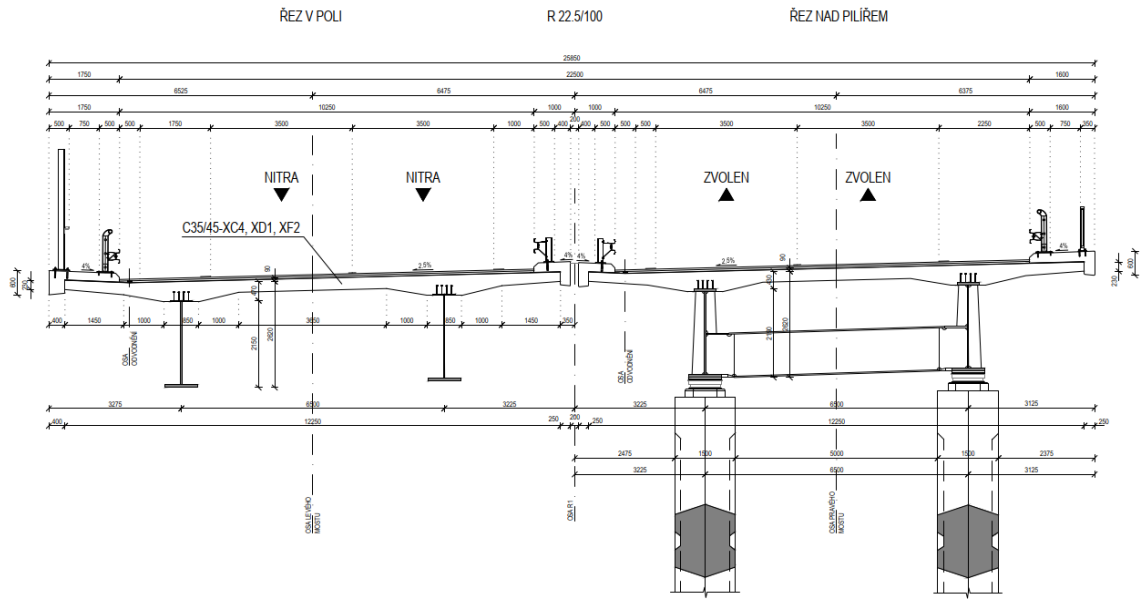
Pro navržené alternativy spřažených ocelobetonových mostů z kap.3 byly zhotoveny výkresy tvaru mostů – příčný řez, podélný řez a půdorys. Dimenze nosné konstrukce ve výkresech odpovídají výsledkům ze softwaru COMPLIT.



Obr. 64 - vzorový příčný řez mostu s 6 hl. nosníky



Obr. 65 - vzorový příčný řez mostu s 4 hl. nosníky



Obr. 66 - vzorový příčný řez mostu s 2 hl. nosníky

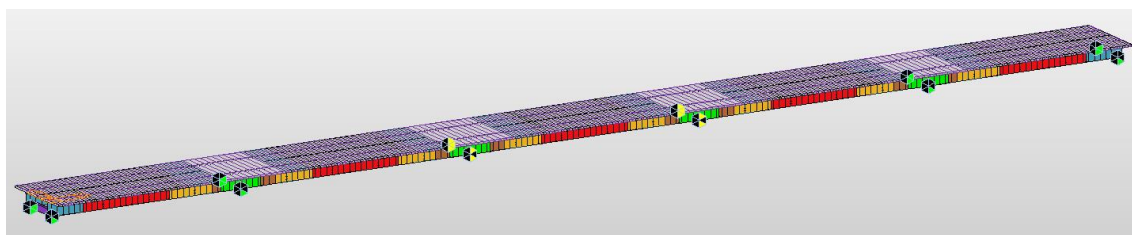
Kompletní výkresová dokumentace navržených alternativních variant je součástí přílohy 1.

5. Statický výpočet

Statický výpočet byl proveden pro vybranou variantu s 2 hlavními nosníky z kap.3. Dimenze hlavních nosníků ze softwaru COMPLIT byly optimalizovány dle statického využití a byly posouzeny i další prvky nosné konstrukce mostu.

Pro modelování byl použit program Midas Civil 2022 (v1.2), ve kterém byl vytvořen roštový model hlavní nosné konstrukce a následně prutový model spřažené železobetonové desky. Pro výpočty byly použity programy Microsoft Excel a MathCad Prime 3.1. Pro výkresy schémat a výpočtu některých průřezových charakteristik byl použit AutoCad 2020.

Konstrukce byla posouzena dle platných norem a předpisů.



Obr. 67 - výpočetní model hlavní nosné konstrukce v programu Midas Civil

Výsledné dimenze hlavních nosníků podle typu průřezu:

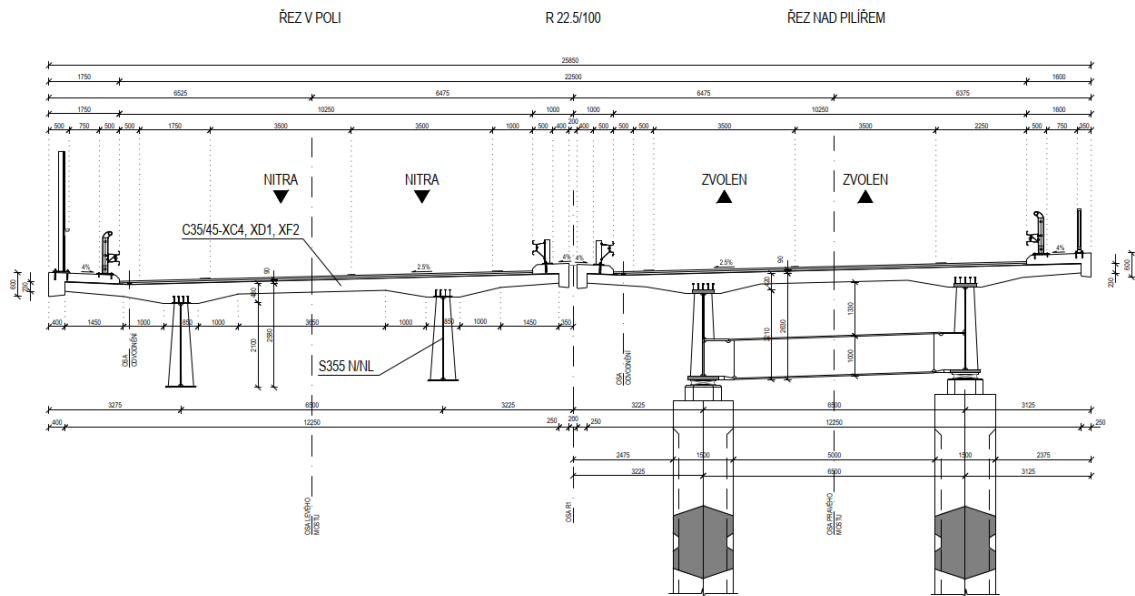
Tabulka 9 - dimenze hlavních nosníků

Označení průřezu	R1		R2		R3		R4	
Typ průřezu	polový		přechodový		pilířový		opěrový	
výška nosníku	2.100	[m]	2.140	[m]	2.210	[m]	2.100	[m]
výška stojiny	2.050	[m]	2.050	[m]	2.050	[m]	2.050	[m]
tloušťka stojiny	0.020	[m]	0.025	[m]	0.030	[m]	0.025	[m]
šířka horní pásnice	0.450	[m]	0.450	[m]	0.550	[m]	0.450	[m]
tloušťka horní pásnice	0.020	[m]	0.045	[m]	0.080	[m]	0.020	[m]
šířka dolní pásnice	0.750	[m]	0.750	[m]	0.750	[m]	0.750	[m]
tloušťka dolní pásnice	0.030	[m]	0.045	[m]	0.080	[m]	0.030	[m]

Detailní statický výpočet je součástí přílohy 2.

6. Výkresová dokumentace finální varianty

Pro mostní konstrukci optimalizovanou a posouzenou ve statickém výpočtu byla zhotovena podrobná výkresová dokumentace obsahující schéma postupu výstavby, výkresy tvaru mostu (vzorový příčný řez, podélný řez, půdorys) a výkresy tvaru ocelové konstrukce (příčné řezy, podélný řez, půdorys).



Obr. 68 - vzorový příčný řez mostu s 2 hl. nosníky - finální návrh

Výkresová dokumentace finální varianty je součástí přílohy 4.

7. Ekonomické porovnání

Byla porovnána spotřeba materiálu na hlavní nosnou konstrukci mezi finální variantou s 2 hlavními nosníky ověřenou statickým výpočtem a realizovaným mostem ze zadání s 5 hlavními nosníky. Výkaz materiálu byl vypočítán na základě výkresové dokumentace a cena mostních konstrukcí byla vypočítána s využitím jednotkových cen OTSKP 2023.

Výsledná spotřeba materiálu:

Tabulka 10 - spotřeba materiálu

Počet hlavních nosníků	2		5	
Ocel S355	688.2	[t]	835.5	[t]
Beton C35/45 / C30/37	1623.1	[m3]	1205.1	[m3]
Betonářská výztuž B500B	377.8	[t]	341.9	[t]

Výsledná cena mostních konstrukcí:

Tabulka 11 - cena mostních konstrukcí

Počet hlavních nosníků	2		5	
Cena levého mostu (kratší)	56.0	[mil. Kč]	60.4	[mil. Kč]
Cena pravého mostu (delší)	56.3	[mil. Kč]	60.7	[mil. Kč]
Celková cena za 2 mosty	112.3	[mil. Kč]	121.1	[mil. Kč]

Detailní ekonomické porovnání je součástí přílohy 5.

8. Závěr diplomové práce

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout alternativní řešení mostu přes údolí Majerského potoka na Slovensku.

V první části hlavního textu diplomové práce byla zavedena teorie spřažených ocelobetonových mostů, která následně sloužila jako podklad při výběru alternativních návrhů. Byl popsán historický vývoj spřažených ocelobetonových mostů, detailně rozebrány jednotlivé konstrukční části spřažených ocelobetonových mostů, výstavba těchto mostů a následně představeny realizované spřažené ocelobetonové mosty v České republice a v zahraničí.

V druhé části hlavního textu diplomové práce byla popsána mostní konstrukce přes údolí Majerského potoka, která byla podkladem pro výběr alternativních návrhů, projektovou dokumentaci, statický výpočet a ekonomické porovnání. Byly vybrány 3 varianty ocelobetonových spřažených mostů za využití softwaru pro optimalizaci spřažených ocelobetonových mostů COMPLIT. Všechny návrhy se skládaly z ocelových plnostěnných nosníků tvaru I a spřažené železobetonové desky. Pro všechny 3 návrhy byla zpracována výkresová dokumentace (příčný řez, podélný řez a půdorys) v příloze 1. Na základě hodnocení analýzy životního cyklu a životních nákladů provedených softwarem COMPLIT byla jako nejvýhodnější vybrána varianta s 2 hlavními nosníky.

Pro vybraný alternativní návrh byl následně zpracován podrobný statický výpočet (Příloha 2). Návrh s 2 hlavními nosníky byl optimalizován na základě využití jednotlivých konstrukčních prvků a posouzen dle platných norem. Pro tento optimalizovaný návrh byla zpracována projektová dokumentace (výkresy tvaru mostu, výkres montáže, výkresy tvaru ocelové konstrukce) v příloze 4.

Poslední částí diplomové práce bylo ekonomické porovnání optimalizovaného návrhu s 2 hlavními nosníky a realizovaného mostu s 5 hlavními nosníky ze zadání. Pro obě konstrukce byl vypočítán výkaz materiálu hlavní nosné konstrukce a stanovena cena těchto mostů za pomoci jednotkových cen z OTSKP 2023.

Ceny mostních konstrukcí byly vypočítány následovně:

- 112,3 mil. Kč pro alternativní návrh s 2 hlavními nosníky
- 121,1 mil. Kč pro realizovaný most s 5 hlavními nosníky

Výsledkem této diplomové práce je, že alternativní návrh s 2 hlavními nosníky je ekonomicky výhodnější než realizovaný most s 5 hlavními nosníky, kdy je celková cena pro alternativní návrh nižší o 7,31%.

9. Seznam příloh

- 1) Příloha 1 – výkresová dokumentace navržených alternativních variant
- 2) Příloha 2 – statický výpočet
- 3) Příloha 3 – vnitřní síly z programu Midas Civil
- 4) Příloha 4 – výkresová dokumentace finální varianty
- 5) Příloha 5 – ekonomické posouzení

10. References

1. **Chen W., Duan L.** *Bridge Engineering Handbook*. místo neznámé : CRC Press, Washington D.C., 2000.
2. **Liang, Qing Quan.** *Analysis and Design of Steel and Composite Structures*. s.l. : Taylor & Francis Group, 2015. 78-1-4822-6653-5.
3. **Tk420, By.** *wikipedia.org*. [Online] 23. February 2019. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=87987570>.
4. **Jean-Paul Lebet, Manfred A. Hirt.** *Steel Bridges - Conceptual and Structural Design of Steel and Steel-Concrete Composite Bridges*. Lausanne : EPFL Press, 2013. 78-1-4665-7297-3.
5. **Collings, David.** *Steel-Concrete Composite Bridges: Designing with Eurocodes, Second Edition*. s.l. : ICE Publishing; 2nd Revised edition (August 22, 2013), 2013.
6. **G.S. Veríssimo & J.L.R. Paes, I. Valente & P.J.S. Cruz, R.H. Fakury.** *Design and experimental analysis of a new shear connector for steel and concrete composite structures*. s.l. : International Association for Bridge Maintenance and Safety.
7. **Iliopoulos, Ioannis Vayas and Aristidis.** *Design of Steel-Concrete Composite Bridges to Eurocodes*. místo neznámé : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. 978-1-4665-5745-1.
8. **autorů, kolektiv.** *Steel - Concrete Composite Bridges - Sustainable Design - Sétra*. s.l. : Sétra, 2010. EQ-SETRA--10-ED03--FR+ENG.
9. —. *MOSTY 2013 18. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM*. místo neznámé : SEKURKON s.r.o., 2013. 978-80-86604-60-2.
10. **Ltd., The British Constructionla Steelwork Association.** *BCSA Guide to the Erection of Steel Bridges*. London : The British Constructionla Steelwork Association Ltd. 0 85073 046 5.
11. **prof. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.** *Moderní technologie výstavby ocelových mostů*. místo neznámé : České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
12. **DTU, Technical University of Denmark -.** *Steel bridge Replacement of bridge at Skovbrynet S Station 2010*. Copenhagen : Technical University of Denmark - DTU, DTU course Bridge Structures, 2021.
13. *Mosty 2012 17. mezinárodní symposium.* **autorů, kolektiv.** místo neznámé : SEKURKON s. r. o., 2012. 978-80-86604-56-5.
14. *MOSTY 2015 20. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM.* **autorů, kolektiv.** místo neznámé : SEKURKON s.r.o., 2015. 978-80-86604-65-7.
15. *MOSTY 2022 27. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM.* **autorů, kolektiv.** místo neznámé : SEKURKON s.r.o., 2022. 978-80-86604-84-8.

16. **autorů, kolektiv.** *Technická dokumentace D1 MODERNIZACE - ÚSEK 04, EXIT 34 OSTŘEDEK - EXIT 41 ŠTERNOV.* Liberec : valbek, spol. s.r.o., středisko Liberec.
17. **Ing. Ivan Belda, Ing. Martin Sedmík, Ing. Tomáš Militký.** *Most na D8 mezi tunely.* Liberec : Valbek, spol. s.r.o., 2017.
18. *MOSTY 2021 26. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM.* **autorů, kolektiv.** místo neznámé : SEKURKON s.r.o., 2021. 978-80-86604-86-2.
19. **Pavel Svoboda, Petr Zukal, Jiří Urban, Jan Pozdíšek.** asb-portal.cz. *asb-portal.cz.* [Online] Jaga Media, s. r. o. [Citace: 24. 2 2023.] <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/mosty/sprazene-mosty-vrsok-a-cadecka-na-dalnici-d3>.
20. **Xu, Alice (Muyun).** midasbridge.com. *midasbridge.com.* [Online] 12 8, 2020. [Cited: 2 24, 2023.] https://www.midasbridge.com/en/blog/casestudy/how-i-designed-a-3-span-steel-composite-i-girder-bridge?utm_campaign=EN_Bridge_Webibar_MIAC_Newletter&utm_source=hs_email&utm_medium=email&utm_content=245691954&_hsenc=p2ANqtz--KVyiReTei8pv5M5XPh5loY96w3KTK6w5.
21. **Doc. Ing. Tomáš Rotter, CSc. a Prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc.** *Ocelové Mosty.* Praha : Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03410-0.
22. *Mosty 2006 11. mezinárodní symposium.* **autorů, kolektiv.** místo neznámé : SEKURKON, organizační a vzdělávací servis, 2006. 80-86604-26-8.
23. *MOSTY 2020 25. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM.* **autorů, kolektiv.** místo neznámé : SEKURKON s.r.o., 2020. 978-80-86604-82-4.
24. *MOST PŘES BISKUPICKÝ KANÁL A VÁH - 1. DILATAČNÍ CELEK.* **Ing. Jiří Jachan, Ing. Martin Sedmík, Ing. Tomáš Militký, Doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D., Ing. Tatiana Mel'ová.** místo neznámé : Valbek spol, s.r.o., 2015.
25. **Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu.** [Online] <http://www.cesti.cz/index.php?page=sw>.
26. **Online Feron.** [Online] Feron, a.s. <https://online.ferona.cz/>.
27. **nhbt.org.uk.** [Online] <https://www.nhbt.org.uk/properties/homersfield-bridge/>.
28. *MOSTY 2014.* **autorů, kolektiv.** místo neznámé : Sekurkon s.r.o., 2014. 978-80-86604-62-6.
29. *Mosty 2008 13. mezinárodní symposium.* **autorů, kolektiv.** místo neznámé : SEKURKON s.r.o., 2008. 978-80-86604-35-0.
30. **civildigital.com.** *civildigital.com.* [Online] 10 7, 2016. [Cited: 2 25, 2023.] <https://civildigital.com/advantages-steel-box-girders-bridges-disadvantages/>.

11. Seznam obrázků

Obr. 1 - most přes řeku Severn (3)	10
Obr. 2 - Forth Bridge, Skotsko	11
Obr. 3 - prvky spřažené konstrukce mostu (4)	12
Obr. 4 - typy nosných konstrukcí s otevřeným průřezem (4)	13
Obr. 5 - typy nosných konstrukcí s uzavřeným průřezem (4)	14
Obr. 6 - komorová konstrukce pro vícepruhovou komunikaci (5)	15
Obr. 7 - tvarové možnosti monolitických desek (7)	16
Obr. 8 - částečně prefabrikovaná deska z filigránových panelů (7)	16
Obr. 9 - prefabrikovaná vanička s konzolami pro betonáž desky (4)	17
Obr. 10 - technologie VFT (9)	17
Obr. 11 - prefabrikovaná železobetonová spřažená deska	18
Obr. 12 - pružné spřahovací prvky (6)	18
Obr. 13 - tuhé spřahovací prvky (4)	19
Obr. 14 - schéma výstavby pomocí blokové montáže (4)	20
Obr. 15 - schéma výstavby pomocí letmé montáže (7)	21
Obr. 16 - A) kluzný blok, B) válcové sedlo (8)	22
Obr. 17 - schéma metody podélného výsunu (4)	22
Obr. 18 - konstrukce výsuvného nosu spojeného šrouby hlavními nosníky (8)	23
Obr. 19 - zavěšení výsuvného nosu pomocí provizorního pylonu (8)	23
Obr. 20 - schéma metody příčného výsunu	24
Obr. 21 - mostní pole mostu Skovbrynet S- Station (12)	24
Obr. 22 - schéma zaplavení mostu Apollo v Bratislavě (11)	25
Obr. 23 - mobilní rámové zařízení na přesun segmentů desky (8)	26
Obr. 24 - pevné bednění podepřené na dolních pásnicích hlavní NK	27
Obr. 25 - schéma bednicího vozíku (8)	27
Obr. 26 - schéma bednicího vozíku s přesuvnou střední částí (8)	28
Obr. 27 - pořadí betonování jednotlivých úseků při betonáži s jedním vozíkem (7)	29
Obr. 28 - schéma podélného výsunu železobetonové desky (4)	29
Obr. 29 - estakáda na ulici Českobratrská v Ostravě (13)	30
Obr. 30 - podélný řez estakádou na ulici Českobratrská v Ostravě (13)	31
Obr. 31 - estakáda stavby I/14 Vamberk (13)	32
Obr. 32 - podélný řez estakádou na silnici I/14 Vamberk (13)	32
Obr. 33 - podélný řez mostu přes údolí potoka Ohrazima (14)	33
Obr. 34 - příčný řez mostu přes údolí potoka Ohrazima	34
Obr. 35 - podélný řez mostem na dálnici D48 (15)	34
Obr. 36 - příčný řez mostem na dálnici D48 (15)	35
Obr. 37 - příčný řez mostem na dálnici D1 (16)	35
Obr. 38 - podélný řez mostem na dálnici D1 (16)	36
Obr. 39 - podélný řez mostem na dálnici D8 (17)	37
Obr. 40 - příčný řez mostem na dálnici D8 (17)	37
Obr. 41 - příčný řez mostem nad podporou v Manile (18)	38
Obr. 42 - příčný řez v poli mostem v Manile (18)	38
Obr. 43 - podélný řez mostem na dálnici D3 na Slovensku (19)	39
Obr. 44 - příčný řez mostem na dálnici D3 na Slovensku (19)	39
Obr. 45 - podélný řez mostem na dálnici D48 (15)	40
Obr. 46 - příčný řez mostem na dálnici D48 (15)	40
Obr. 47 - podélný řez mostem na Novém Zélandu (20)	41
Obr. 48 - příčný řez mostem na Novém Zélandu (20)	41
Obr. 49 - podélný řez mostem přes řeku Berounku (14)	42
Obr. 50 - příčný řez mostem přes Berounku	42

<i>Obr. 51 - podélný řez estakádou přes potok Porubka (14)</i>	43
<i>Obr. 52 - příčný řez estakádou přes potok Porubka (14)</i>	43
<i>Obr. 53 - příčný řez mostem na dálnici D8 (22)</i>	44
<i>Obr. 54 - podélný řez mostem přes frord v Norsku (23)</i>	45
<i>Obr. 55 - příčný řez mostem přes fjord v Norsku (23)</i>	45
<i>Obr. 56 - podélný řez mostem DC. I (24)</i>	46
<i>Obr. 57 - příčný řez mostem DC. I</i>	46
<i>Obr. 58 - příčný řez mostem na R1</i>	49
<i>Obr. 59 - podélný řez mostem na R1</i>	50
<i>Obr. 60 - schéma postupu betonáže pro optimalizaci</i>	52
<i>Obr. 61 - charakteristický příčný řez konstrukcí</i>	52
<i>Obr. 62 - charakteristický příčný řez konstrukcí</i>	54
<i>Obr. 63 - charakteristický příčný řez konstrukcí</i>	55
<i>Obr. 64 - vzorový příčný řez mostu s 6 hl. nosníky</i>	59
<i>Obr. 65 - vzorový příčný řez mostu s 4 hl. nosníky</i>	59
<i>Obr. 66 - vzorový příčný řez mostu s 2 hl. nosníky</i>	60
<i>Obr. 67 - výpočetní model hlavní nosné konstrukce v programu Midas Civil</i>	61
<i>Obr. 68 - vzorový příčný řez mostu s 2 hl. nosníky - finální návrh</i>	62

12. Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 - předpokládané zatížení</i>	51
<i>Tabulka 2 - rozměry ocelových nosníků pro návrh č.1</i>	53
<i>Tabulka 3 - rozměry příčníků pro návrh č.1</i>	53
<i>Tabulka 4 - rozměry ocelových nosníků pro návrh č.2</i>	54
<i>Tabulka 5 - rozměry příčniku pro návrh č.2</i>	55
<i>Tabulka 6 - rozměry hlavních nosníků pro návrh č.3</i>	56
<i>Tabulka 7 - rozměry příčníků pro návrh č.3</i>	56
<i>Tabulka 8 - výsledky optimalizace z programu Complot</i>	57
<i>Tabulka 9 - dimenze hlavních nosníků</i>	61
<i>Tabulka 10 - spotřeba materiálu</i>	63
<i>Tabulka 11 - cena mostních konstrukcí</i>	63