

Peter Paulík

TECHNOLÓGIE VÝSTAVBY BETÓNOVÝCH MOSTOV

Časť 1: technológia vysúvania



Bratislava, 2020

PETER PAULÍK

TECHNOLÓGIE VÝSTAVBY BETÓNOVÝCH MOSTOV

ČASŤ 1: TECHNOLÓGIA VYSÚVANIA



BRATISLAVA, 2020

STU
SvF

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ
UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

PodĎakovanie patrí firmám a recenzentom, ktorí vydanie knihy podporili.



Kniha sa venuje technológii výstavby betónových mostov vysúvaním. Okrem technického popisu jednotlivých technologických častí sa kniha venuje aj koncepčnému návrhu vysúvaných mostov a možnostiam rôznych modifikácií tejto technológie. Časť knihy je venovaná aj statickému návrhu vysúvaných mostov v štádiu výstavby.

Predkladaná publikácia je určená predovšetkým poslucháčom stavebných fakúlt, projektantom, realizátorom a stavebným dozorom, ktorý v nej nájde najnovšie informácie o projektovaní a zhotovovaní betónových mostov technológiou vysúvania.

TECHNOLÓGIE VÝSTAVBY BETÓNOVÝCH MOSTOV

Časť 1: Technológia vysúvania

Pre Stavebnú fakultu STU vydalo vydavateľstvo
IRIS - Vydavateľstvo a tlač, s.r.o. v roku 2020.

© Doc. Ing. Peter Paulík, PhD., 2020

Prvé vydanie, 2020

Recenzenti:

Prof. Ing. Jaroslav Halvoník, PhD.

Prof. Ing. Martin Moravčík, PhD.

Doc. Ing. Milan Chandoga, PhD.

Ing. Martin Chrappa

Rozsah: 78 strán

Počet autorských hárkov: 6,1

Počet obrázkov: 97 obrázkov

náklad: 70 výtlačkov a elektronická verzia v PDF.

Obrázok na titulnej strane knihy:

Vysúvaný most v Štrbe - 1. betónový most (estakáda) na Slovensku postavený technológiou vysúvania. Projekt: DOPRAVOPROJEKT a.s., Zhotoviteľ: DOPRASTAV a.s.

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu nesmie byť ďalej použitá na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autora.

ISBN 978-80-8200-066-8

OBSAH:

Predslov.....	2
1. História betónových mostov zhotovených technológiou vysúvania.....	3
1.1 Prehľad vysúvaných betónových mostov postavených na Slovensku	7
2. Výhody a nevýhody technológie vysúvania	12
3. Základné spôsoby vysúvania betónových mostov	13
3.1 Vysúvanie pomocou hydraulických ťažných lisov.....	13
3.2 Vysúvanie pomocou sústavy horizontálneho a vertikálneho lisu.....	15
3.3 Iné spôsoby vysúvania mostov	16
4. Predbežný návrh geometrie priečneho rezu vysúvaného mosta.....	17
5. Statické riešenie vysúvaného mosta.....	21
5.1 Návrh predpätia	21
5.3 Voľba pevnostnej triedy betónu.....	26
5.4 Vyváženie reakcií pri výmene ložísk	26
5.5 Voľba polohy pracovných škár.....	27
5.6. Statický návrh výsuvného nosa	27
5.7 Trenie na ložiskách a vo výrobni.....	31
5.8. Výpočet kapacity lisov pre výsun mosta.....	33
5.9 Namáhanie spodnej stavby mosta vplyvom technológie výstavby	34
6. Technologické časti	37
6.1 Základné časti technológie.	37
6.2 Technologické časti – Výsuvný nos.....	37
6.3 Technologické časti – Hydraulické zariadenia na výsun mosta	43
6.4 Technologické časti – Výrobňa.	46
6.5 Technologické časti – Klzné ložiská a bočné vedenie	59
6.6 Technologické časti – bezpečnostné systémy a opatrenia počas výsunu mosta ...	66
6.7 Ďalšie metódy modifikácie technológie vysúvania.....	68
7. ZÁVER.....	74
8. Použitá literatúra	75
9. Použité symboly a značky.....	76
10. Vecný register	77

Predslov

Technológie výstavby mostov patria medzi najrýchlejšie sa vyvíjajúce odvetvia stavebníctva, ktoré dokážu vo veľmi krátkej dobe implementovať najnovšie poznatky z rôznych oblastí ako sú informačné systémy, výsledky výskumu a vývoja, ako aj dostupné stavebné materiály. Dôvodom je snaha zhotoviteľov byť konkurencieschopný v prostredí, kde je jednak tlak na čo možno najnižšie ceny (čo však býva často aj kontraproduktívne) a jednak na rýchlosť výstavby. Voľbou vhodnej technológie výstavby mosta, resp. jej vhodnou modifikáciou, sa dajú ušetriť nemalé finančné prostriedky, resp. čas na výstavbu. Preto by mal každý mostár poznať rôzne možnosti výstavby mostov, vedieť zhodnotiť ich výhody a nevýhody a nakoniec zvoliť najvhodnejší spôsob stavby mosta v danom geografickom, finančnom a časovom priestore.

Kniha venovaná technológii výstavby betónových mostov vysúvaním je prvou z pripravovanej série o technológiách stavby mostov, pričom si dala za cieľ prezentovať najnovšie poznatky z tejto oblasti. Kniha je predovšetkým určená pre študentov, ale aj projektantom, zhotoviteľom a stavebným dozorom.

Autor čerpal informácie najmä z vlastných skúseností, ako aj z najnovších kníh a odborných článkov venujúcich sa danej problematike. V čase písania knihy (2019) sa na území Slovenska stavia technológiou vysúvania už 8. betónový most, a tak je prevažná väčšina fotiek v tejto knihe z autorovho archívu výstavby vysúvaných mostov na Slovensku.

V knihe sú v rámci textov aj tzv. QR kódy s odkazmi na autorove videá, resp. doplnkové informácie, pre lepšie pochopenie niektorých technologických častí.

Kniha je venovaná spomienke na **Ing. Matúša Búciho** (*1957 - †2019) – inžiniera, ktorý v praxi odštartoval éru výstavby vysúvaných betónových mostov na Slovensku.



Venované tiež všetkým, ktorí so mnou pracovali na výstavbe vysúvaného mosta pri Štrbe v rokoch 2006 - 2007.

V Bratislave, január 2020

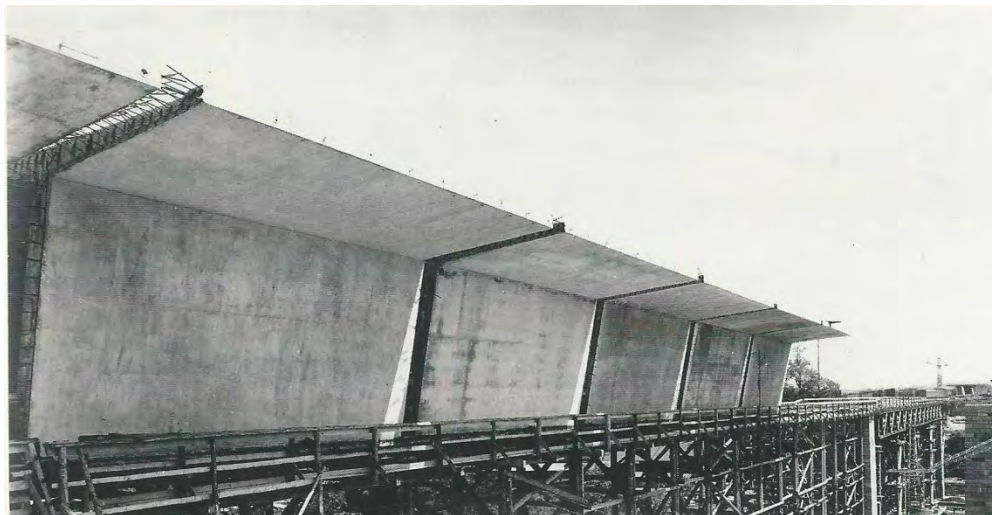
Peter Paulík

1. História betónových mostov zhotovených technológiou vysúvania.

Aj keď výstavba mostov vysúvaním bola používaná už v 19. storočí pri výstavbe oceľových mostov, jej rozvoj pri výstavbe betónových mostov umožnil až vývoj materiálov s nízkym koeficientom trenia ako napr. poly-tetraflóretylén (PTFE), známy ako teflón. Teflón nahradil naolejované dosky, čím sa výrazne znížilo trenie, s ktorým súvisí namáhanie pilierov horizontálnou silou pri výsune, ako aj požiadavky na hydraulické výsuvné zariadenia. Znížením trenia bolo možné vysúvať dlhšie a ťažšie mosty aj na pomerne vysokých pilieroch.

Prvým betónovým mostom, ktorý bol zhotovený technológiou vysúvania bol 3. poľový, 56 metrov dlhý, most Vaux-sur-Seine vo Francúzku, postavený v roku 1950. Bol to zároveň prvý most pri ktorom sa použilo externé predpätie na zabezpečenie spojitosti konštrukcie. Spôsob výstavby sa ale od technológie ako ju poznáme dnes značne líšil. Most sa zhotovil za oporami, odkiaľ sa vysunul ponad prekážku na podpernej skruži, pričom sa posúval na naolejovaných trámoch. Následne sa dve vysunuté polovice mosta v strede stredného poľa zmonolitnili.

Ďalšou modifikáciou tejto technológie bolo využitie prefabrikovaných segmentov pri výstavbe mosta ponad rieku Ager v Nemecku, v r. 1959 (Obr. 1). Prefabrikované segmenty, dlhé 9,5 m, sa vyrobili za oporou a vysúvali sa ponad údolie po podpernej konštrukcii, na ktorej boli osadené drevené naolejované hranoly. Následne sa dobetónovali škáry medzi segmentami a most sa predopol. Veľkou nevýhodou bola potrebná podperná skruž vo všetkých štyroch budovaných poliach mosta. Celková dĺžka mosta bola 280 m.



Obr. 1: Most Agerbrücke – prefabrikované segmenty sa vysúvali po podpernej skruži [1]

Prvý most zhotovený technológiou vysúvania, tak, ako ju poznáme dnes, bol most ponad rieku Rio Caronni vo Venezuele postavený v roku 1961 (Obr. 2). Pri jeho výstavbe sa použil

už aj výsuvný nos a samotné vysúvanie, na rozdiel od jeho predchodcov, už neprebiehala na skruži, ale už len na klzných ložiskách umiestnených na pilieroch. Pri výsune sa klzné ložiská posúvali po pilieri a teda po každom kroku výsunu, keď ložiská prišli až na okraj klznej plochy, musel byť most nadvihnutý (naraz na všetkých pilieroch) a klzné ložiská museli byť premiestnené na druhú stranu klznej plochy na pilieri. Táto operácia bola veľmi zdĺhavá a postupne sa prestala pri výstavbe vysúvaných mostov používať - bola nahradená fixovanými klznými ložiskami a klznými platňami, ktoré sa vkladajú medzi klzné ložisko a konštrukciu mosta.

Pri stavbe mosta ponad rieku Rio Caronni bol jedným z ďalších rozdielov voči modernej výstavbe vysúvaním aj spôsob zhotovenia hornej stavby. Celý most sa pripravil z prefabrikovaných segmentov za oporou odkiaľ bol následne ako jeden celok vysunutý. Predpätie bolo vytvorené voľne vedenými centrickými káblami v komore mosta, ktoré boli kotvené v krajných priečnikoch. Po vysunutí mosta bola geometria týchto káblov zmenená na polygón, čím sa predpätie stalo staticky účinnejším, avšak realizovanie tejto zmeny geometrie káblov bola veľmi náročná operácia a pri ďalších mostoch sa toto riešenie viac nepoužilo. Pre ďalšie mosty stavané technológiou vysúvania sa už navrhli dva typy káblov a to centrické káble na pokrytie účinkov najmä vlastnej tiaže počas výsunu, ktoré boli následne po dokončení výsunu doplnené polygonálnymi káblami na pokrytie zaťaženia od dopravy. Nepraktickým sa ukázalo aj zhotovenie celého mosta za oporou a ďalšie mosty sa už stavali po jednotlivých záberoch, ktoré sa postupne vysúvali z výroby ponad údolie, resp. rieku. Prvým takýmto mostom bol most ponad rieku Inn v Kufsteine v Nemecku postavený v roku 1965. Pri jeho výstavbe sa taktiež použili dočasné piliere, čím sa úplne eliminovala potreba predpätia v štádiách výstavby (v tejto fáze bol most vystužený len betonárskou výstužou). Po vysunutí mosta sa zhotovili parabolické predpínacie káble a odstránili sa dočasné podpery.



Obr. 2: Výstavba mosta ponad rieku Rio Caronni vo Venezuele [1]

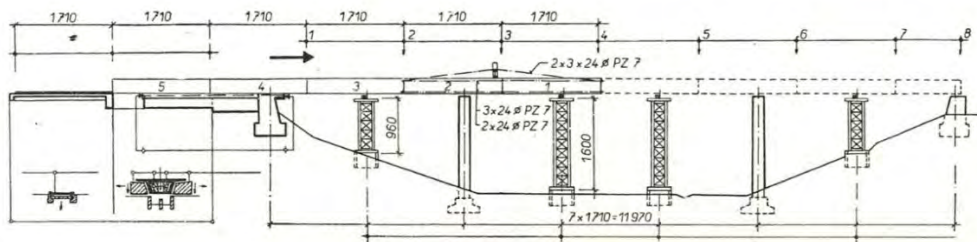
Technológiu vysúvania si dal patentovať prof. Leonhardt v roku 1967 v Nemecku. V nasledujúcich 10 rokoch (teda od roku 1967 do roku 1977) sa postavilo touto technológiou na Svete 80 mostov celkovej dĺžky 25 km. Rozmachu technológie vysúvania v ďalších rokoch významne napomohli skúsenosti a vedomosti získané na pilotných projektoch, ako aj dostupnosť teflónových platní. V snahe urýchliť výstavbu, resp. znížiť cenu stavby sa postupne objavili rôzne modifikácie technológie, ako aj jej aplikácie pre čoraz zložitejšiu geometriu mostov. V dnešnej dobe patrí táto metóda výstavby betónových mostov medzi najprogresívnejšie a technicky najprepracovanejšie technológie.

Prvý vysúvaným mostom v bývalom Česko-Slovensku bol most postavený v roku 1972 v Tomiciach v ČR (obr. 3). Jednalo sa o trojpoľový most s dĺžkou nosnej konštrukcie 122 metrov a s maximálnym rozpätím stredného poľa 51 metrov. Výška komory mosta bola 2,5 metra (pomer výšky prierezu k max. rozpätiu, h/L bol približne $1/20,5$). Tento most slúžil ako experimentálny most na overenie funkčnosti a efektivity technológie vysúvania.



Obr. 3: Prvý vysúvaný most Československa v Tomiciach, fotka po dokončení vysúvania [2].

Pri výstavbe sa použili 4 dočasné piliere, jeden v krajných poliach a dva v strednom poli. Na redukcii ohybového momentu počas výsunu sa navyše použil aj dočasný pylón s rektifikovateľnou silou v závesoch, ktorá sa regulovala pomocou hydraulického lisu umiestneného v päte pylóna. Dobová schéma výstavby je na Obr. 4.



Obr. 4: Schéma výstavby mosta v Tomiciach [2]

Pri nadvíhovaní pylóna sa zväčšovala ťahová sila v závesoch, čím sa redukoval záporný ohybový moment na konzole. Pri výsune sa na zníženie trenia použili klzné ložiská a teflónové platne. Oceľový výsuvný nos, ktorý dnes patrí medzi základnú časť tejto technológie, použitý nebol. Aj napriek tomu, že sa jednalo o krátky most, bola technológia,

v porovnaní s pevnou skružou, vyhodnotená ako ekonomicky výhodnejšia a rýchlejšia. Úspech pri výstavbe experimentálneho vysúvaného mosta v Tomiciach viedol k ďalším aplikáciám tejto technológie na území Českej republiky.

Na území Slovenska sa táto technológia začala pre viacpoľové betónové mosty používať až do roku 2005, pri výstavbe prvého vysúvaného mosta SR v Štrbe (Obr. 5).



Obr. 5: Výstavba 1. vysúvaného mosta na území Slovenska v Štrbe, 2005

Hlavným dôvodom prečo sa táto technológia na Slovensku dovtedy neuplatnila boli rozvinuté konkurenčné technológie, ktoré mali na Slovensku dlhoročnú tradíciu a to najmä letmá montáž (PDK) a tyčové prefabrikáty. Až rozmach diaľničnej výstavby a plná vyťaženosť výrobní prefabrikátov viedla k hľadaniu iných, ekonomicky výhodných technológií.

Veľkú zásluhu na zavedení technológie vysúvania na území SR mala firma Dopravoprojekt a.s. a firma Doprastav a.s., so stavbyvedúcim Ing. Matúšom Búciom, ktorý získal prax na výstavbe vysúvaných mostov v Nemecku. V spolupráci s nemeckou firmou tak mohol Doprastav aplikovať túto technológiu na úseku Važec – Mengusovce, na 598 metrov dlhom moste pri obci Štrba. Úspech aký táto technológia priniesla z ekonomického hľadiska a tiež z hľadiska rýchlosti výstavby napomohla v nasledujúcich rokoch k jej rozmachu na území SR. Necelých 10 rokov po dokončení mosta v Štrbe, v roku 2017, boli na Slovensku vo výstavbe naraz až 3 betónové vysúvané mosty. Celkovo sa na území SR dodnes (2019) zrealizovalo vysúvaním 7 mostných estakád a jedna je aktuálne vo výstavbe (estakáda pri Prešove). Technológia vysúvania sa tak stala štandardnou technológiou používanou pri výstavbe betónových diaľničných mostov na Slovensku.

1.1 Prehľad vysúvaných betónových mostov postavených na Slovensku v rokoch 2005 - 2019.

Most pri Štrbe (D1, Važec – Mengusovce, obj. 205)

Prvý vysúvaný most na území SR. Most je konštantnom smerovom oblúku a vzhľadom na technológiu vysúvania má pomerne veľký konštantný pozdĺžny sklon 3,4%. Fotografia z výstavby mosta je na Obr. 5. Doplňujúce informácie z výstavby sú uvedené v [3].

Most v Považskej Bystrici (D1, Sverepec – Vrtižer, obj. 206)

V poradí druhým vysúvaným mostom na Slovensku bol most v Považskej Bystrici (Obr. 6), na ktorom sa na rozdiel od mosta v Štrbe nepoužili na výsun hydraulické zdvíhaky a laná, ale hydraulické dvojčinné krokovacie zariadenie. Komplikáciou pri výsune bolo napojenie odbočnej vetvy (Obr. 7), ktorej zárodok sa vybetónoval v rámci komory mosta vo výrobni. Komplexná geometria tohto zárodku si vyžiadala modifikáciu debnenia výrobne v danom výrobnom takte a tiež ovplyvnila návrh predpätia v štádiu výstavby. [4].



Obr. 6: Výstavba vysúvaného mosta v Považskej Bystrici



Obr. 7: Miesto napojenia odbočnej vetvy po vysunutí mosta

Most v Nitre (R1, Nitra západ – Selenec, obj. 209)

Most na obchvate Nity je dodnes najdlhším mostom SR postaveným technológiou vysúvania s dĺžkou nosnej konštrukcie 806,6 metra. Na rozdiel od klasického postupu, kedy sa najprv vybuduje jeden most a technológia sa premiestni na paralelný most, v tomto prípade sa oba mosty budovali naraz (Obr. 8). Toto riešenie znamenalo urýchlenie výstavby, aj keď samozrejme znamená aj dvojnásobný počet potrebných technologických častí, čím sa cena stavby zvyšuje. Pre každý most boli použité dva páry synchronizovaných krokovacích hydraulických zariadení, ktoré boli umiestnené na oporách a na dočasných masívnych podperách pri pilieroch (Obr. 9) približne v strede mosta. [5]



Obr. 8: Vysúvaný most v Nitre – pohľad na výsuvné nosy



Obr. 9: Dočasné masívne podpery pri pilieroch, na ktoré sa umiestnili druhé páry výsuvných zariadení (prvé páry bol na opore)

Most pri Levoči (D1, Jánovce – Jablonov, obj. 205)

Ďalším mostom, ktorý bol stavaný technológiou vysúvania bola estakáda na diaľničnom úseku Jánovce – Jablonov (Obr. 10) ponad údolie a Iliášovský potok s dĺžkou nosnej konštrukcie 407 m. [6]



Obr. 10: Vysúvaný most pri Levoči

Most pri Žiline (D1, Hričovské podhradie – Lietavská Lúčka, obj. 201)

Vysúvaný most pri Dolnom Hričove (Obr. 11) je výnimočný najmä maximálnym rozpätím dvoch jeho polí, ktoré dosahuje až 68 metrov a bolo počas vysúvania preklenuté bez použitia dočasných pilierov. Rozpätia ostatných polí boli od 37,1 do 60 metrov. Nasadenie technológie vysúvania pre takýto most s výrazne rozdielnymi dĺžkami polí a bez dočasných pilierov v najdlhších poliach môžeme považovať za neštandardné. Použitie technológie vysúvania v tomto prípade vyplynulo z potreby premostiť cestu a železnicu s minimálnymi obmedzeniami dopravy, čo by s použitím inej technológie nebolo možné. [7]



Obr. 11: Vysúvaný most pri Žiline

Most pri Ružomberku (D1, Hubová – Ivachnová, obj. 213)

Druhým najdlhším mostom aký bol na Slovensku stavaný technológiou vysúvania je diaľničná estakáda s pracovným označením SO-213 (Obr. 12) na úseku Hubová- Ivachnová. Dĺžka nosnej konštrukcie je 756 metrov. Je to zároveň najvyšší most stavaný touto technológiou na Slovensku (výška pilierov dosahuje 41 metrov). Zaujímavosťou je aj odľahčenie konzoly počas výstavby tým, že sa časť hornej dosky komory pri výsuvnom nose dobetónovala dodatočne až po vysunutí mosta. [8]



Obr. 12: Pohľad na vysúvaný most pri Ružomberku (SO-213) počas výstavby

Most pri obci Svrčinovec (D3, Svrčinovec – Skalité, obj. 237)

Pri výstavbe tohto diaľničného mosta bola použitá veľmi netradičná modifikácia technológie vysúvania. Blízkosť staveniska tunela znemožnila umiestnenie výrobne v požadovanej vzdialenosti od opory, čo viedlo k osadeniu výsuvného zariadenia na pilier. Na zachytenie veľkej horizontálnej sily, ktorá na tomto pilieri pri vysúvaní pôsobila, boli osadené medzi pilier a oporu rozperné rámy. Týmto riešením sa zaistil prenos horizontálnej sily z piliera do opory, čím sa výrazne zredukovalo namáhanie piliera v štádiu výstavby. Vďaka takémuto riešeniu bolo možné v stiesnených podmienkach umiestniť výrobnú tesne za oporu. Na Obr. 13 je pohľad na most, časť výrobne tesne za oporou a pilier na ktorom sú uložené výsuvné zariadenia [9]. Pozri aj kapitolu 6.4.



Obr. 13: Pohľad na vysúvaný most vo Svrčínovci počas výstavby

Prešov (D1, Prešov západ – Prešov juh, obj. 206)

S výstavbou mosta pri Prešove (Obr. 14), ktorý je situovaný vo výškovom oblúku sa začalo v roku 2018. Na rozdiel od predošlých vysúvaných mostov na Slovensku, na ktorých sa takmer celá technológia vždy riešila formou zahraničnej subdodávky, pri tomto moste boli takmer všetky technologické časti navrhnuté Ing. M. Búcim.



Obr. 14: Vysúvaný most pri Prešove počas výstavby, 2019

V tabuľke 1.1 sú zhrnuté základné parametre mostov, ktoré sa stavali technológiou vysúvania na Slovensku.

Tab. 1.1 Základné parametre vysúvaných betónových mostov, ktoré boli postavené na území Slovenska v rokoch 2007-2019

Diaľničný úsek	Pracovné označenie mosta	Najbližšie mesto/obec	Dĺžka NK	Max. rozpätie, L	Výška komory, H	Pomer H/L
			(m)	(m)	(m)	-
D1, Važec-Mengusovce	SO-210	Štrba	598	41,0	2,85	1/14,5
D1, Sverepec - Vrtižer	SO-206	Považská Bystrica	469	60,0	4,00	1/15
R1, Nitra západ - Selenec	SO-209	Nitra	807	42,5	2,67	1/16
D1, Jánovce - Jablonov	SO-205	Levoča	407	54,0	3,50	1/15,5
D1, Hričovské Podhradie - Lietavská lúčka	SO-201	Žilina	510	68,0	3,85	1/18; 1/15,5
D1, Hubová- Ivachnová	SO-213	Ružomberok	756	52,0	3,80	1/13,5
D3, Svrčinovec - Skalité	SO-237	Svrčinovec	406	52,0	3,80	1/13,5
D1, Prešov západ - Prešov juh (vo výstavbe)	SO-206	Prešov	673	51,0	3,57	1/14,5

2. Výhody a nevýhody technológie vysúvania

Optimálne podmienky pre použitie technológie vysúvania:

- Priamy most, prípadne v konštantnom pôdorysnom oblúku
- Konštantná výška prierezu
- Optimálne rozpätia polí 40 až 60 metrov
- Dĺžka mosta nad 200 metrov
- Dostatočný priestor za oporou na umiestnenie výrobne

Technológia vysúvania sa v niektorých prípadoch dá použiť aj v prípade že most nespĺňa dané podmienky, avšak znamená to technické komplikácie a preto je potrebné zvážiť, či nie je vhodnejšia iná technológia výstavby. Na svete sa vysúvali už aj mosty s premennou výškou prierezu, ako aj mosty, ktoré neboli priame alebo v konštantnom oblúku.

Výhody technológie vysúvania:

- Výroba a betonáž konštrukcie sa realizuje za podobných podmienok ako vo výrobní prefabrikátov. Vyššia presnosť. Možnosť betonáže v zimnom období.
- Technológia nie je ovplyvnená terénom. Možnosť pomerne jednoducho preklenúť hlboké údolia, alebo frekventované a zastavané územia.
- Vysoká rýchlosť výstavby (cca. 100 metrov mosta / mesiac – pri dvoch výrobniach, pri oboch oporách, je rýchlosť budovania hornej stavby dvojnásobná)
- Most sa betónuje v podstate na teréne – vyššia bezpečnosť pri výstavbe
- Technologické zariadenia sú lacné a využiteľné na viacerých projektoch (investícia do technológie vysúvania je len približne 20% oproti investícii do výsuvnej skruže).
- Dobrá kontrola geometrie mosta a pri vhodnom usporiadaní segmentov sa deformácie z fázovanej výstavby nenačítavajú.
- Oproti niektorým technológiám je pri vysúvaní aj výrazne menší počet pracovných škár v pozdĺžnom smere.

Nevýhody technológie vysúvania:

- Oproti pevnej, resp. výsuvnej skruži je potrebná väčšia výška prierezu a pre daný prierez je vyššia spotreba predpínacích jednotiek (dôvodom je štádium výstavby, kedy všetky prierezy sú namáhané aj kladným aj záporným ohybovým – potrebné centrické predpätie)
- Nutná výmena ložísk po vysunutí mosta (z klzných na definitívne), prípadne použitie špeciálnych modifikovateľných ložísk
- Geometrické obmedzenia technológie
- Opory musia byť schopné zachytiť veľké horizontálne sily pri vysúvaní

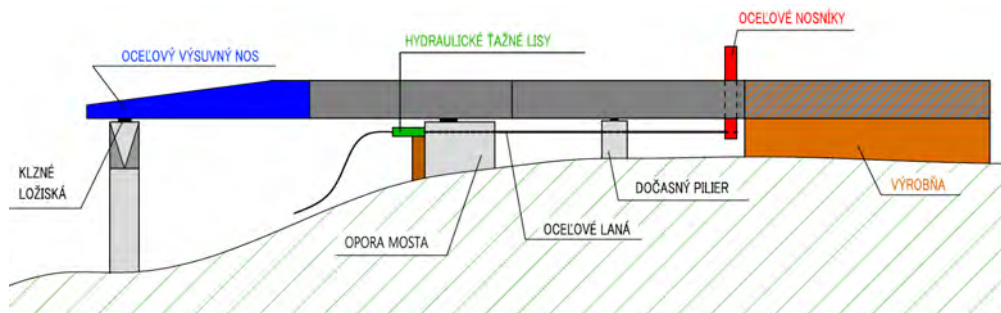
3. Základné spôsoby vysúvania betónových mostov

Aj keď sa na svete vyvinuli rôzne spôsoby vysúvania mostov, v praxi sa v prevažnej väčšine pri výstavbe betónových mostov využívajú dva spôsoby:

- Vysúvanie pomocou hydraulických ťažných lisov.
- Vysúvanie pomocou sústavy horizontálneho a vertikálneho lisu (v praxi sa často označuje ako krokovacie zariadenie).

3.1 Vysúvanie pomocou hydraulických ťažných lisov

Princíp spočíva v umiestnení hydraulických ťažných lisov v horizontálnej polohe na oporu (rovnaké ťažné lisy sa používajú aj na zdvíhanie ťažkých bremien). Hydraulické ťažné lisy sú oceľovým lanom prepojené s oceľovými nosníkmi, ktoré prechádzajú cez nosnú konštrukciu cez vynechané otvory v hornej a spodnej doske komory mosta. Základné časti technológie pre túto alternatívu sú zobrazené na Obr. 15. Základný princíp je vysvetlený na Obr. 16. Po každom výsune sa oceľové nosníky preložia a zakotvia do novej polohy. Naraz sa prekladá vždy len jeden nosník, keďže ďalšie nosníky musia ostať aktívne, aby zabezpečovali stabilitu konštrukcie (aby nedošlo k jej posunutiu vplyvom vlastnej tiaže v smere pozdĺžneho sklonu).



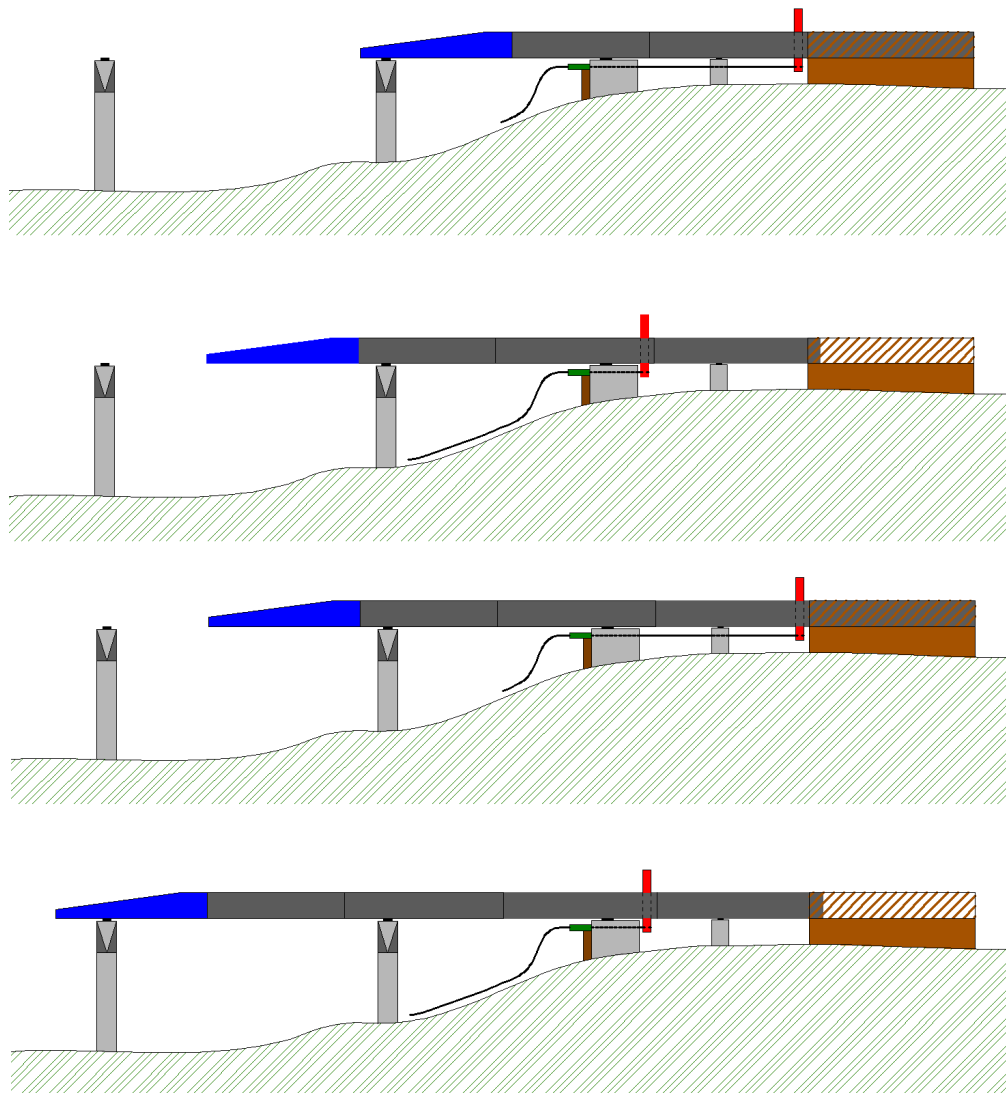
Obr. 15: Základné časti technológie vysúvania. Alternatíva s hydraulickými ťažnými lismi

Prvý segment sa zväčša vysúva tak, že na opore sú umiestnené menšie hydraulické ťažné lisy, ktoré sú oceľovým lanom prepojené s výsuvným nosom, resp. pomocou dutých lisov a vysokopevnostných tyčí. Posledný segment sa vysúva tak, že sa oceľové nosníky umiestnia a prikotvia o koncový priečnik, ktorý je na tento účel upravený dočasnými náliatkami. Poslednú fázu výsunu je potrebné vyriešiť tak, aby nedošlo ku kolízii oceľových nosníkov s konštrukciou opory na konci výsunu a aby bolo možné po demontáži technológie zhotoviť záverný múrik opory.

Vysúvanie prostredníctvom hydraulických ťažných lisov sa väčšinou realizuje proti pozdĺžnemu sklonu mosta. Dôvodom je, že konštrukciu v takomto prípade nie je potrebné brzdiť. Pre väčší pozdĺžny sklon ako cca. 3% je už ale vhodnejšie vysúvať konštrukciu v smere pozdĺžneho sklonu s brzdením. Rozhodujúcimi faktormi sú nutná kapacita lisov a priestor na ich umiestnenie na opore. Pri návrhu brzdienia konštrukcie sa trenie na klzných ložiskách zanedbáva v prospech bezpečnosti. Brzdenie mosta sa najčastejšie vykonáva hydraulickými

ťažnými lismi umiestnenými za oporou (zrkadlovo oproti posúvajúcim), ktoré sú prepojené s oceľovým doplnkovým priečnikom prepájajúcim oceľové nosníky. Brzdné a posúvajúce ťažné lisy sú zosynchronizované.

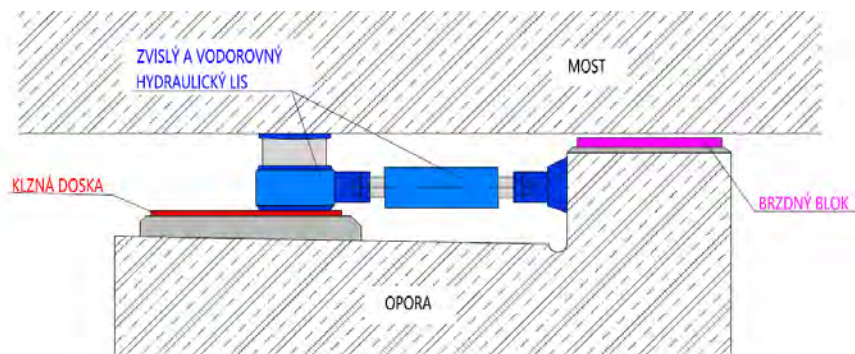
Rýchlosť výsunu závisí najmä od počtu zapojených hydraulických ťažných lisov a od kapacity čerpadla oleja. Bežná rýchlosť výsunu sa pohybuje približne na úrovni 5 metrov za hodinu.



Obr. 16: Princíp vysúvania mostov s použitím hydraulických ťažných lisov

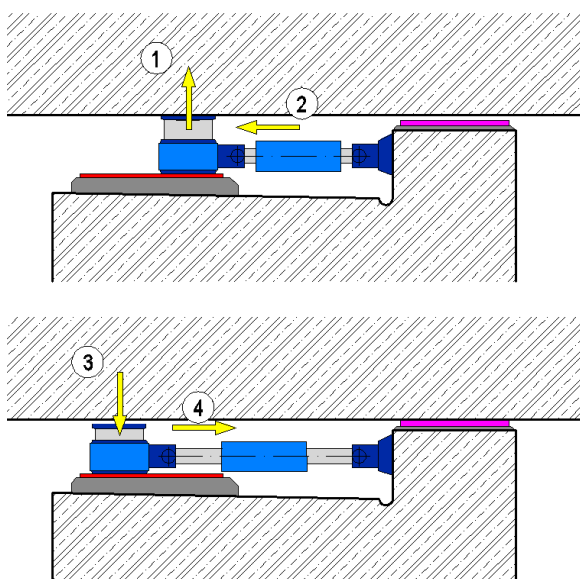
3.2 Vysúvanie pomocou sústavy horizontálneho a vertikálneho lisu

Princíp spočíva v umiestnení sústavy hydraulických lisov na oporu v usporiadaní podľa Obr. 17. Opora musí byť na tento účel patrične upravená a nadimenzovaná.



Obr. 17: Usporiadanie sústavy horizontálneho a vertikálneho lisu na opore

Vertikálny lis, ktorý je prepojený s horizontálnym lisom, najskôr konštrukciu mierne nadvihne (cca 5mm) z brzdného bloku. Následne horizontálny lis posunie vertikálny lis spolu s mostom, pričom vertikálny lis sa posúva na klznej doske. Horná plocha lisu, ktorá sa opiera o most je opatrená protišmykovou úpravou tak, aby dokázala danú horizontálnu silu preniesť trením. Po tomto kroku vertikálny lis spustí most späť na brzdný blok a horizontálny lis stiahne vertikálny lis do novej východiskovej pozície (Obr. 18). Tento cyklus sa opakuje, kým nie je celý takt vysunutý.



Obr. 18: Postup vysúvania mosta dvojicou hydraulických lisov: 1. nadvihnutie mosta z brzdného bloku, 2. posun, 3. spustenie mosta na brzdný blok, 4. návrat do východiskovej polohy

Pri prvom výsune, kedy sa vysúva oceľový výsuvný nos a prvý segment, je potrebné horizontálny lis prepojiť s konštrukciou výsuvného nosa oceľovými lanami, resp. tyčami. Dôvodom je najmä malá prítlačná sila a teda nedostatočné trenie medzi hornou platňou vertikálneho lisu a vysúvanou konštrukciou na prenesenie potrebnej horizontálnej sily (výsuvné zariadenie "prešmykuje"). Podobná situácia nastáva aj pri poslednom výsune, kedy sa za oporu nenachádza už ďalší segment a teda zvislá sila na vertikálnom lise klesá. Z tohto dôvodu sa pri poslednom výsune používajú oceľové nosníky podobne ako v prvej alternatíve.

Tento spôsob vysúvania je vhodný pre kratšie mosty (do dl. 600 m), najmä kvôli maximálnej novej sile, ktorú je možné preniesť trením na vertikálnom lise. V prípade že max. sila na výsun je s jednou dvojicou výsuvných zariadení na opore nedostatočná, riešiť je to potom možné nasadením ďalšej dvojice na niektorý z pilierov, resp. na dočasnú konštrukciu (Obr. 9). Trenie na vertikálnom lise sa odporúča uvažovať len s hodnotou 0,35 (túto hodnotu je možné považovať už za návrhovú, teda už s určitou bezpečnostnou rezervou).

Výhodami výsunu konštrukcie sústavou horizontálneho a vertikálneho lisu oproti vysúvaniu ťažnými lanami sú:

- Vyššia rýchlosť (približne 10 m/h).
- Menšia prácnosť (nie je potrebné prekotvovanie oceľových nosníkov)
- Väčšia bezpečnosť v prípade zlyhania hydraulických systémov (most dosadne na brzdný blok)

Nevýhodami sú:

- Hydraulický systém tvoria masívne, ťažké prvky s ktorými sa po skončení výsunu pod mostom ťažko manipuluje.
- Rozmery opory musia byť prispôsobené rozmerom takéhoto výsuvného zariadenia tak, aby sa tam zmestilo.
- Komplikovanejší výsun prvých a posledných taktov.

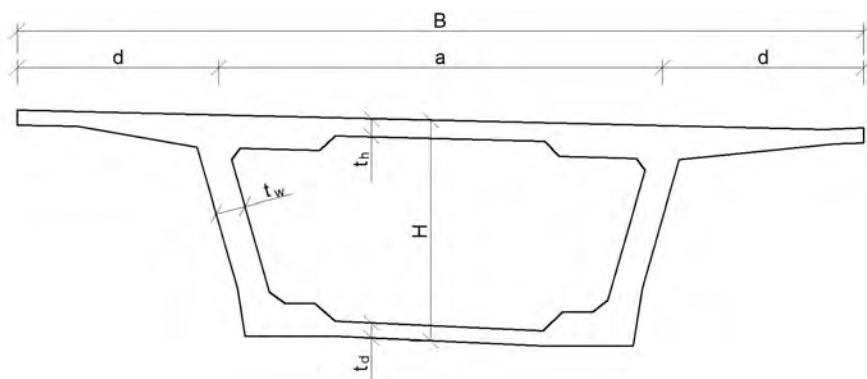
3.3 Iné spôsoby vysúvania mostov

Okrem týchto základných dvoch typov sa pre špeciálne prípady, resp. dielčie úlohy (veľmi krátke mosty, vysunutie prvého segmentu z výroby, vysúvanie oceľových mostov, mosty s extrémne štíhlymi piliermi) používajú aj ďalšie spôsoby vysúvania a to napr. vysúvanie pomocou dutých lisov (prostredníctvom vysokopevnostných tyčí), vysúvanie navijakom, alebo vysúvanie špeciálnou sústavou synchronizovaných lisov na všetkých pilieroch. Jednou z možností je aj vysúvanie pomocou tlačných lisov umiestnených na konci segmentu. V tomto prípade sa lisy opierajú o ozubenú koľajnicu.

Podrobnejšie informácie a fotografie technológií výstavby mostov vysúvaním sú v kapitole 1.1 a v kapitole 6.

4. Predbežný návrh geometrie priečneho rezu vysúvaného mosta

Väčšina vysúvaných mostov má komorový prierez, aj keď sa vysúvali už aj trémové mosty. Komora má výhodu výrazne vyššej tuhosti v krútení. Základnou podmienkou, aby sa most mohol bez komplikácií realizovať technológiou vysúvania je konštantná výška prierezu. Najvýhodnejší tvar komory pre vysúvaný most je taký, kde obe steny majú približne rovnakú výšku a spodná doska je v priečnom smere vodorovná. Pre diaľničné mosty, kde nosnú konštrukciu tvoria dva samostatné mosty, zvlášť pre každý smer, je to možné vyriešiť miernou modifikáciou štandardného priečneho rezu tak, že vzniknú pod trámami v priečnom smere dve vodorovné klzné plochy (Obr. 19).



Obr. 19: Optimálny priečny rez vysúvaného mosta – oba trámy sú rovnako vysoké, spodná doska je pri trámoch v priečnom smere vodorovná (na dĺžke cca 1,5 m) a je vytvorený dostatočný priestor v hornej aj spodnej doske na centrické predpínacie káble.

Každý prierez (medzipodperový, aj nadpodperový) prechádza počas vysúvania kladnými aj zápornými ohybovými momentami a v štádiu výstavby bude predpätý len centrickými káblami (pozri kapitolu 5). Z tohto dôvodu by mal mať most stavaný technológiou vysúvania oproti technológii výsuvnej a pevnej skruže vyšší prierez. Optimálna výška prierezu (H) vzhľadom k rozpätiu (L) pre cestný vysúvaný most je približne v rozmedzí:

$$H = \left(\frac{1}{14} \sim \frac{1}{18} \right) L \quad (4.1)$$

Pre železničný most, vzhľadom na väčšie zaťaženie v štádiu prevádzky, sa odporúča výšku prierezu predbežne navrhnuť v rozmedzí:

$$H = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{14} \right) L \quad (4.2)$$

Zo statického hľadiska je výhodné ak má komorový prierez vysúvaného mosta nižšie položené ťažisko. Dôvodom je vyššia momentová kapacita medzipodperového prierezu keď počas výsuvu prechádza nadpodperovými oblasťami.

Hrúbka steny komory je ovplyvnená najmä potrebnou šmykovou odolnosťou. Predbežný návrh hrúbky steny (t_w , v metroch) pre jednokomorový vysúvaný cestný most,

s predpripravenými zakrivenými predpínacími káblami vedenými v stenách komory (predopnú sa až po vysunutí mosta), je možné vypočítať z empirického vzťahu:

$$t_w = B \left(\frac{L}{2100} + 0,02 \right) \quad (4.3)$$

kde (B) je celková šírka komory a (L) je najväčšie rozpätie mosta.

Pri posúdení v šmykového namáhania stien v štádiu výstavby je potrebné redukovať šírku steny o priemer káblových kanálikov, keďže v štádiu výstavby v nich ešte nie je predpínacia výstuž a nie sú zainjektované.

Pre predbežný návrh hrúbky steny (t_w) pre jednokomorový vysúvaný most, s externými predpínacími káblami vedenými v komore mosta, platí empirický vzťah:

$$t_w = \frac{B \cdot L - 500}{2100} + 0,3 \geq 0,35 \quad (4.4)$$

V prípade, že sa na pokrytie účinkov dopravy vo finálnom štádiu nepoužijú externé predpínacie káble vedené v komore mosta, ale sa použijú zakrivené predpínacie káble vedené v stenách komory, musí byť hrúbka steny dostatočná aj z titulu konštrukčných zásad pre umiestnenie predpínacej výstuže.

Pre cestný most nábeh hrúbky stien pri podperách zväčša nie je potrebný, najmä ak sa v definitívnom štádiu použijú polygonálne káble (externé, alebo v stenách komory). Stena bez nábehu hrúbky sa ľahšie vystužuje a aj dební. Ak hrúbka steny vyhovuje v štádiu výstavby, keď aj medzipodperové prierezy prechádzajú oblasťami maximálnych šmykových namáhání nad podperami, v definitívnom štádiu je prídavná šmyková sila od dopravného zaťaženia redukovaná zdvihovými účinkami polygonálnych predpínacích káblov. Únosnosti stien v šmyku pomáha aj osová napätosť vyvođená najmä centrickým predpäťm.

V prípade železničných jednokomorových vysúvaných mostov, štandardného rozpätia 40 až 50 m, sa navrhuje hrúbka steny v medzipodperovej oblasti na 0,5 m a v nadpodperovej oblasti na 0,9 až 1,0 m.

Odporúčaná hrúbka hornej dosky (t_h) komory diaľničných mostov v závislosti na jej rozpätí (a) je v rozmedzí:

$$25 < \frac{a}{t_h} < 30$$

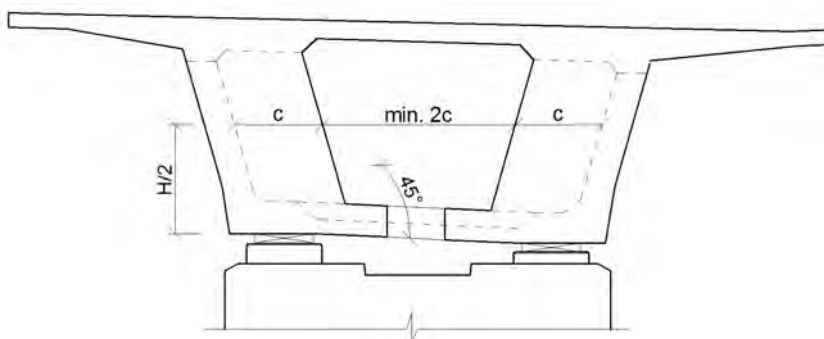
Odporúčaná minimálna hrúbka hornej dosky je 0,22 m, v prípade priečného predpätia, a 0,26 m v prípade že je vystužená v priečnom smere len betonárskou výstužou.

Minimálna hrúbka spodnej dosky (t_d) je 0,2 m. V miestach, kde sa nachádzajú priame predpínacie káble centrického predpätia, sa odporúča minimálna hrúbka 0,25 m, prípadne hrúbka potrebná z hľadiska konštrukčných zásad a umiestnenia spojok predpínacej výstuže. Hrúbku spodnej dosky v nadpodperovej oblasti je potrebné zväčšiť približne na dvojnásobok.

Minimálna odporúčaná hrúbka hornej a spodnej dosky pre železničné mosty je 0,3 m.

Zvislé steny komory môžu mať určité výhody z hľadiska výstavby, esteticky sú ale pri vysokých prierezoch menej vhodné ako šikmé steny. Široká spodná doska takejto komory si vyžaduje aj širšie hlavice pilierov a zväčšuje vlastnú tiaž konštrukcie.

Priečniky musia byť vytvarované tak, aby umožňovali presun betonážneho vozíka hornej dosky z jedného taktu do ďalšieho. Z tohto dôvodu sa používajú pre vysúvané mosty tzv. otvorené priečniky (Obr. 20 a Obr. 21). V prípade externe vedeného predpätia, ktoré sa inštaluje po vysunutí mosta, musí mať priečnik takú minimálnu hrúbku, ktorá umožňuje vedenie predpínacej výstuže s minimálnym povoleným polomerom zakrivenia v miestach priečnikov. Minimálna šírka priečnika v pričnom reze (c) je ovplyvnená veľkosťou a umiestnením definitívnych ložísk a to tak, aby sa priečna sila z trávov komory plynule prenášala cez priečnik do ložísk.



Obr. 20: Tvar tzv. otvoreného priečnika vysúvaných mostov. V priečniku je aj otvor na umožnenie vizuálnej kontroly ložísk.

V niektorých prípadoch je priečnik navrhnutý na minimálny rozmer tak, že nie je spojený s hornou doskou (Obr. 21). Takéto riešenie uľahčuje výstavbu z titulu debnenia hornej dosky, avšak je potrebné zvážiť vplyv takejto úpravy priečnika na odolnosť mosta v krútení. Menší rozmer priečnika mierne znižuje vlastnú tiaž mosta ako aj jeho namáhanie vplyvom vlastnej tiaže v štádiu výstavby, kedy sa koncentrované zaťaženie z tiaže priečnikov nachádza v strede rozpätí. Priečnik je možné zhotoviť aj dodatočne cez otvory vynechané v hornej doske.



Obr. 21: Priechnik vysúvaného mosta pri Svrčinovci

Nízky priechnik sa v prípade použitia externých predpínacích káblov znižuje ich možná excentricita a teda aj ich účinnosť.

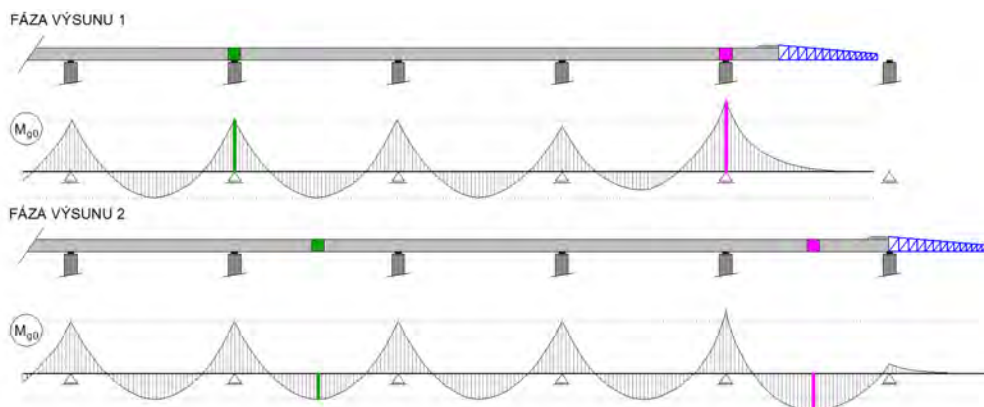


Obr. 22: Debnenie stien komory a priečnika vysúvaného mosta pri Štrbe. Priečník nebol spojený s hornou doskou a mal minimálne rozmery. V pozadí vidieť aj debnenie deviátorov pre externé predpínacie káble.

5. Statické riešenie vysúvaného mosta

5.1 Návrh predpätia

Takmer každý jeden prierez vysúvaného mosta počas výstavby prechádza nadpodperovou aj medzipodperovou oblasťou a je teda namáhaný kladnými aj zápornými ohybovými momentami (Obr. 23).



Obr. 23: Schematické znázornenie priebehu ohybových momentov od vlastnej tiaže mosta v dvoch rôznych fázach výsunu. Prierezy sú počas výstavby namáhané kladnými aj zápornými ohybovými momentami.

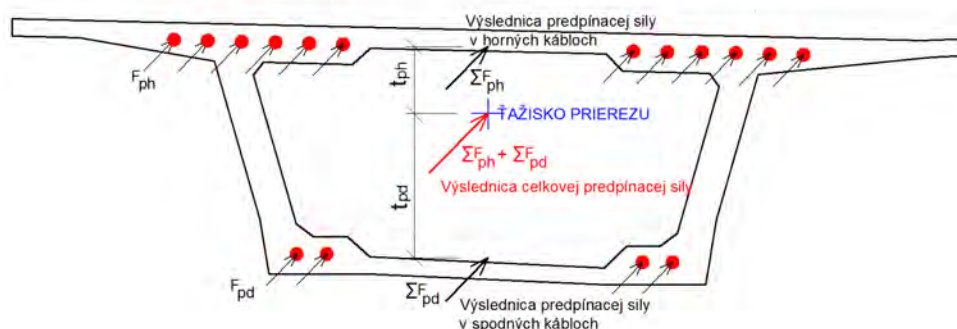
Najviac namáhanými časťami hornej stavby mosta počas výstavby sú prvé polia bezprostredne za výsuvným nosom. V tejto oblasti vznikajú počas výsunu najväčšie ohybové momenty. Maximálny nadpodperový ohybový moment je za výsuvným nosom, pred jeho “našliapnutím” na ďalší pilier, resp. v čase keď sa na predný pilier dostáva betónová časť mosta (výsuvný nos je už za pilierom). Pri optimálne zvolenom výsuvnom nose (čo sa v praxi stáva málokedy) dosiahne záporný ohybový moment pred “našliapnutím” na predný pilier rovnakú hodnotu ako v momente, keď sa na predný pilier dostane betónová časť mosta (pozri kapitolu 5.6). Veľkosť tohto záporného ohybového momentu je približne 1,2 násobok záporného ohybového momentu na ostatných častiach mosta. Veľkosť kladného ohybového momentu v prednom poli je od vlastnej tiaže počas vysúvania až približne 1,6 násobok ohybového momentu v ostatných poliach.

Najväčším kladným ohybovým momentom je časť mosta za výsuvným nosom namáhaná približne v čase, keď je už celý výsuvný nos za predným pilierom a na pilier sa dostáva betónová časť mosta. Treba si tiež uvedomiť, že táto časť nosnej konštrukcie bude v definitívnom štádiu po vysunutí mosta namáhaná výrazne menšími ohybovými momentami od vlastnej tiaže, keďže zväčša prvé a posledné pole mosta býva kratšie ako vnútorné polia. Z tohto dôvodu je vhodné túto časť nosnej konštrukcie dočasne zosilniť prídavnými, demontovateľnými, predpínacími káblami. Vo zvyšnej časti nosnej konštrukcie

budú počas výstavby ohybové momenty od vlastnej tiaže rovnaké ako v definitívnom štádiu, s tým rozdielom, že prierezy, ktoré sú v definitívnom štádiu namáhané kladným ohybovým momentom budú počas výsunu namáhané aj záporným ohybovým momentom a naopak.

5.1.1 Centrické predpätie

Na štádiu výstavby, kedy sú jednotlivé prierezy namáhané kladnými aj zápornými ohybovými momentami, sa navrhujú priame predpínacie káble, ktorých výslednica pôsobí v blízkosti ťažiska prierezu (Obr. 24). Ideálne navrhnuté priame predpínacie káble vnášajú do prierezov mosta len normálové napätie. Takto navrhnuté, tzv. centrické predpätie, nevnáša do konštrukcie primárne, ani sekundárne ohybové momenty.



Obr. 24: Schéma centrického predpätia v priečnom reze

Pre správne navrhnuté centrické predpätie platí nasledovný vzťah:

$$\sum F_{ph} \cdot t_{ph} = \sum F_{pd} \cdot t_{pd} \quad (5.1)$$

Kde:

F_{ph} – Predpínacia sila v jednom hornom kábli

F_{pd} – Predpínacia sila v jednom dolnom kábli

t_{ph} – vzdialenosť výslednice predpínacej sily v horných kábloch od ťažiska prierezu

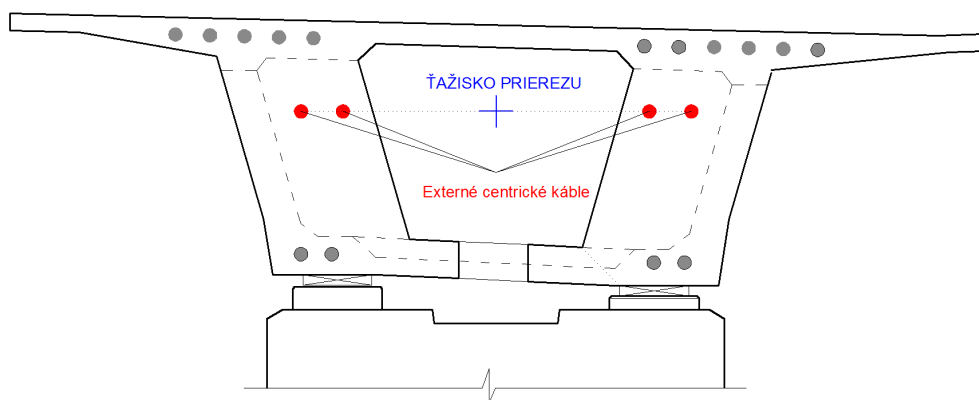
t_{pd} – vzdialenosť výslednice predpínacej sily v dolných kábloch od ťažiska prierezu

Avšak vzhľadom na to, že na definitívne štádium prevádzky, býva pri podperách spodná doska navrhnutá hrubšia a je v týchto miestach teda posunutý ťažisko prierezu, prakticky nie je možné navrhnuť centrické predpätie do celého mosta. Pri analýze konštrukcie je preto potrebné tieto dodatočné ohybové momenty (aspoň primárne), pôsobiace v oblastiach pri priečnikoch, zohľadniť.

Pri návrhu mosta na štádium výstavby sa zväčša navrhne predpätie na účinky vlastnej tiaže, premenného montážneho zaťaženia ($0,5 \text{ kN/m}^2$), teplotného gradienta a nerovnomerného poklesu podpier tak, aby nenastala v žiadnom priereze dekompresia, resp. aby po dekompresii bola tlaková rezerva ešte aspoň $0,5 \text{ MPa}$. Sekundárne účinky predpätia, ktoré vznikajú vplyvom toho, že centrické predpätie nie je dosiahnuté vo všetkých prierezoch,

sa zväčša zanedbávajú (tieto účinky sú pri správnom návrhu zanedbateľne malé). Rezerva, ktorá ešte vyplýva z ťahovej pevnosti betónu, vo väčšine prípadov postačuje na pokrytie ostatných zaťažení ako sú napr. sily z trenia na klzných ložiskách, resp. vplyv časovo závislých javov redistribúcie ohybových momentov a pod. Vystuženie pracovnej škáry musí byť navrhnuté tak, aby ani počas výstavby a ani v definitívnom štádiu nebola prekročená limitná šírka trhliny (v tomto prípade limitná šírka otvorenia pracovnej škáry). Pevnosť betónu v ťahu je v mieste pracovnej škáry prakticky nulová. Keďže sa však most zväčša navrhuje tak, aby bola splnená podmienka dekompresie, táto požiadavka vystuženia býva irelevantná.

Predné segmenty mosta, pri výsuvnom nose, sa posudzujú samostatne, keďže sú pri vysúvaní namáhané väčšími ohybovými momentami. V týchto častiach mosta je vhodné navrhnuť externé, dočasné, predpínacie káble umiestnené v komore mosta s výslednicou v ťažisku prierezu, kotvené do priečnikov. Tieto káble sa po dokončení mosta odstránia (Obr. 25).



Obr. 25: Doplnkové, externé, dočasné, centrické káble v prvých poliach vysúvaného mosta počas výstavby.

V analýze konštrukcie je potrebné venovať zvýšenú pozornosť aj segmentom za oporou a to z nasledovných dôvodov:

- Segment tesne za výrobňou má ešte len polovičné predpätie (polovica káblov sa spojkuje). Riziko vzniká najmä v prípade, kedy je prvé pole pri opore výrazne dlhšie ako časť vysúvaného mosta medzi oporou a výrobňou. V extrémnom prípade by mohlo segment zdvíhať z miesta uloženia pri výrobni.
- Pri vysúvaní posledného segmentu vzniká dlhá konzola za oporou, kedy segment opustí podperu pri výrobni. Tento záporný ohybový moment, ktorý by takto vznikol sa zväčša redukuje aktiváciou dočasného piliera umiestneného medzi oporou a výrobňou.

Pri návrhu predpätia na štádium výstavby je potrebné uvažovať straty predpätia s ohľadom na pomerne mladý vek betónu v čase predpínania (horná doska cca 2 dni, spodná doska cca 4 dni). Dĺžka predpínacích káblov sa volí tak, aby prechádzala aspoň dvoma segmentmi,

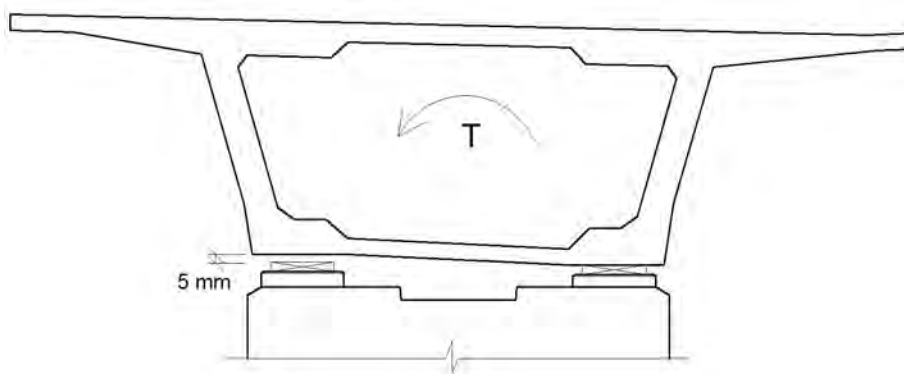
pričom v jednom pracovnom zábere sa spravidla spojkuje maximálne 50% predpínacích káblov. Pri posudzovaní strát predpätia sa preto uvažuje s tým, že jeden segment je v čase predpínania približne o 7 dní starší.

Napätia v štádiu výstavby je možné kontrolovať aj kombináciou definitívnych predpínacích káblov s dočasnými káblami pozdĺž celého mosta (napr. riešenie pomocou antagonistických káblov – dočasné polygonálne káble s opačnou excentricitou voči definitívnym polygonálnym káblom). Autor však tieto riešenia považuje za prácnejšie a v našich podmienkach aj za ekonomicky menej vhodné.

Pri rozmiestnení káblov v rámci priečneho rezu je potrebné zvážiť konštrukčné zásady a priestorové požiadavky pre spojky káblov. V prípade, že sa použijú polygonálne (zakrivené) káble v stenách komory, je vhodné priame predpínacie káble umiestniť v hornej a spodnej doske mimo trávov. Pri takomto rozmiestnení môžu byť polygonálne káble vyvedené k hornému aj spodnému okraju prierezu, čím sa zvyšuje ich účinnosť. Zakrivené predpínacie káble sa predpínajú až po vysunutí mosta a výmene ložísk. Na ich kotvenie sa zhotovujú v rámci vnútorného povrchu stien komory náliatky, resp. sa prekotvujú v rámci nadpodperových priečnikov.

Počas výstavby každý prierez prechádza aj nadpodperovou oblasťou, čo je potrebné zohľadniť aj pri návrhu šmykovej výstuže.

Pri analýze konštrukcie sa odporúča zohľadniť aj nepresnosť vo výške klzných ložísk v rámci jedného piliera hodnotou 5 mm (Obr. 26). Takáto vynútená deformácia generuje krútiace momenty (vplyv na šmykové namáhanie stien), zvyšuje zaťaženie na druhé ložisko a namáha pilier priečnym ohybovým momentom. Z tohto dôvodu je tiež potrebné venovať pri výstavbe vysúvaných mostov veľkú pozornosť presnému osadeniu klzných ložísk. Pre bežne používané rozpätia vysúvaných mostov (40 – 50 m) s komorovým prierezom, zvýši 10 mm nepresnosť v osadení ložísk reakciu na druhom ložisku až o približne 40%. Približne 25 mm nepresnosť vo výške ložiska by mohla vyvolať dekompresiu jedného z ložísk a dvojnásobné zvýšenie namáhania druhého ložiska. Vyvedené krútiace momenty by okrem iného výrazne zvýšili aj namáhanie stien a dosiek komory šmykovou silou.



Obr. 26: Krútiace momenty vyvolané nepresne osadeným klzným ložiskom na pilieri

5.1.2 Polygonálne káble

Na pokrytie zaťaženia v štádiu užívania (zvršok, doprava, ...) sa navrhujú externé polygonálne káble v rámci komory mosta, prípadne zakrivené káble vedené v stenách komory (zväčša tvoria max. 25% z celkového predpätia mosta). V prípade káblov vedených v stenách komory sa pri vystužovaní stien osádzajú chráničky, do ktorých sa po vysunutí mosta natláčajú predpínacie laná. Pri tomto riešení je stena komory počas výstavby oslabená prázdny káblovými kanálkami a tiež môže nastať problém pri natláčaní lán v prípade, že pri betonáži došlo k poškodeniu chráničky. V miestach, kde prázdny káblový kanálik je pri spodnom povrchu vzniká oslabenie prierezu spodnej dosky, ktoré môže mať vplyv na prerozdelenie napätosti nad klznými ložiskami. Vedenie zakrivených káblov v stenách komory je výhodné oproti externým káblom z titulu jednoduchšieho zhotovenia, väčšej účinnosti predpätia a lepšej ochrany predpínacej výstuže. Na druhej strane zväčšuje potrebnú šírku stien komory, čím sa redukuje účinnosť centrického predpätia väčšou plochou prierezu a väčšou vlastnou tiažou mosta.

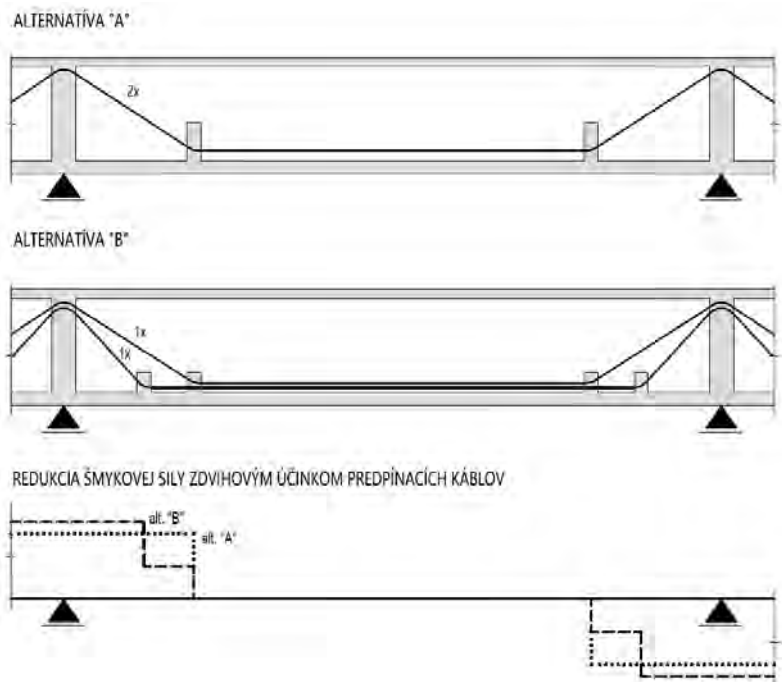
V prípade externého predpätia (Obr. 27) je potrebné v priečnikoch a deviátoroch osadiť káblové kanáliky s príslušným kónickým ukončením pri povrchu (systém "diabolo"), aby z titulu nepresnosti jeho osadenia nevznikal vrubový účinok na dodatočne zhotovené externé káble. Deviátory by nemali siahať až po hornú dosku, aby sa uľahčilo jej debnenie. Externé polygonálne káble majú zväčša dĺžku cez 3 mostné polia a prekrývajú sa v priečnikoch. Šírka deviátorov musí rešpektovať požiadavky na geometriu predpínacích káblov, ktoré majú predpísaný minimálny polomer zakrivenia.

Na zhotovenie voľných káblov s vyšším stupňom protikorózneho ochrany sa používajú nesúdržné predpínacie laná typu monostrand, s primárnou dvojstupňovou antikoroziou ochrou ktoré sú natláčané do plastových chráničiek. Je potrebné zvážiť, či je injektáž externých káblov tvorených monostrandmi vôbec potrebná (predpísaný stupeň ochrany PL3 podľa [15]), keďže sa tým sťažuje ich kontrola a znemožňuje ich jednoduchú výmenu. Samotný monostrand má 2 stupne ochrany voči korózii - mazivo a PE obal. V prípade zhotovenia externých káblov z klasických predpínacích lán (bez maziva a PE obalu) je injektáž nevyhnutná.



Obr. 27: Pohľad na polygonálne externé káble v komore vysúvaného mosta pri Štrbe

V praxi sa pre externé káble najčastejšie používa riešenie s dvomi deviátormi v rámci mostného poľa pri každom tráme (Obr. 28, alt. A). V prípade že je potrebné v definitívnom štádiu zredukovať šmykovú silu v trámoch, môže sa použiť riešenie s viacerými deviátormi (Obr. 28, alt. B), čím je možné dosiahnuť lepšie prerozdelenie zdvihových účinkov káblov na redukciu šmykovej sily. Takéto riešenie je však prácnejšie z dôvodu debnenia a vystužovania viacerých deviátorov.



Obr. 28: Vplyv voľby vedenia externých predpínacích káblov na redukciu šmykovej sily

5.3 Voľba pevnostnej triedy betónu

Pri voľbe pevnostnej triedy betónu je vhodné zobrať do úvahy požiadavky na minimálnu valcovú pevnosť betónu v čase predpínania. Pri týždňovom pracovnom cykle sa horná doska predpína vo veku približne 2 dní. Je nereálne očakávať, že betón pevnostnej triedy C35/45 bude mať po dvoch dňoch valcovú pevnosť väčšiu ako 28 MPa. Z tohto dôvodu sa na stavbe nakoniec vždy vyrába betón, ktorý svojou pevnosťou prekročí predpísanú triedu. Je preto vhodné, už v štádiu návrhu, uvažovať s vyššou pevnosťou betónu (napr. C 45/55) pri ktorej je reálne predpokladať dosiahnutie minimálnej požadovanej valcovej pevnosti v čase predpínania na úrovni tých 25 MPa. Pri uvažovaní vyššej triedy betónu už pri návrhu mosta je možné zmenšiť uvažované straty predpätia ako aj vyľahčiť niektoré časti prierezov. Menšia hmotnosť mosta zároveň znamená ja menšie nároky na hydraulickú sústavu pri vysúvaní.

5.4 Vybavenie reakcií pri výmene ložísk

Výmena ložísk z klzných na definitívne, ktorá sa robí po vysunutí celého mosta, môže slúžiť aj na elimináciu nerovnomerného sadania pilierov, ktoré počas výstavby nastalo. Pri

výmene ložísk je možné hydraulickými lismi a s kalibrovaným manometrom hydraulickej sústavy nastaviť teoretickú reakciu aká má byť na pilieroch od vlastnej tiaže. Takýmto nastavením reakcií sa akoby nerovnomerný pokles podpier, ktorý nastal počas výstavby, vynuluje.

5.5 Voľba polohy pracovných škár

Poloha pracovných škár v pozdĺžnom smere sa volí s ohľadom na:

- Rozpätia mosta. Je vhodné pracovné škáry umiestniť do miest s minimálnymi ohybovými momentami od vlastnej tiaže v definitívnom štádiu.
- S ohľadom na účinky dotvarovania. Ak sa zabezpečí, že každý segment počas výstavby stojí jeden týždeň v miestach kladných ohybových momentov a ďalší týždeň v miestach záporných momentov, dôjde takmer k úplnej eliminácii zmeny krivosti mosta v dôsledku dotvarovania.
- S ohľadom na veľkosť výrobné a pracovné zábery. Pre 7 dňový cyklus výstavby jednokomorového mosta sa odporúča zvoliť dĺžku jedného betonážneho segmentu v rozmedzí 20 – 28 m.

5.6 Statický návrh výsuvného nosa

5.6.1 Optimalizácia dĺžky a tuhosti výsuvného nosa

Výsuvný nos redukuje nadpodperové ohybové momenty počas vysúvania (Obr. 23). Z tohto dôvodu musí mať dostatočnú tuhosť pri minimálnej hmotnosti a taktiež správne zvolenú dĺžku s ohľadom na rozpätia medzi podperami. V bežnej praxi sa najčastejšie používajú pri výstavbe betónových vysúvaných mostov oceľové výsuvné nosy, ktorých dĺžka sa pohybuje v rozmedzí 0,5 až 0,8 násobkov osovej vzdialenosti podpier. Najvhodnejšia dĺžka výsuvného nosa pre bežné komorové betónové mosty sa pohybuje približne na úrovni 0,65 násobku z rozpätia medzi podperami. V praxi sa však často musí nájsť kompromis, medzi výsuvným nosom, ktorý je k dispozícii z predošlej stavby (prípadne mierne modifikovaný) a statickým riešením predpätia mosta. Pokiaľ sa navrhuje úplne nový výsuvný nos na konkrétnu stavbu mosta je ekonomicky výhodné spraviť optimalizáciu jeho dĺžky, tuhosti a hmotnosti a to tak, aby ohybové momenty od vlastnej tiaže mosta boli pri vysúvaní čo možno najmenšie.

Statické pôsobenie a interakciu výsuvného nosu s betónovým mostom ovplyvňujú 3 základné bezrozmerné parametre:

- Pomer dĺžky výsuvného nosa k maximálnemu rozpätiu pri vysúvaní, L_n/L_v
- Pomer ohybovej tuhosti výsuvného nosa k ohybovej tuhosti betónového mosta, $E_n \cdot I_n / E_c \cdot I_c$.
- Pomer vlastnej tiaže výsuvného nosa k vlastnej tiaži betónového mosta (na meter dĺžky), g_n/g_c

Pri optimalizácii sa v prvom kroku pracuje s týmito parametrami a hľadá sa najlepšie riešenie, pri ktorom maximálny nadpodperový ohybový moment za výsuvným nosom na betónovom priereze dosiahne minimálnu hodnotu počas všetkých fáz výsunu. Po predbežnej optimalizácii sa ďalej doladujú prierezy v rámci výsuvného nosa tak, aby boli vzhľadom na jeho namáhanie čo najlepšie využité.

V prvom kroku optimalizácie výsuvného nosa sa odhadne jeho dĺžka na $2/3$ z rozpätia preklenovaného pri vysúvaní mosta. Vlastná tiaž výsuvného nosa sa odhadne na základe nasledovného vzťahu:

$$g_n = k \cdot L_n^2 \quad (5.2)$$

kde g_n - je odhadovaná vlastná tiaž výsuvného nosa
 k - je konštanta pre odhad vlastnej tiaže výsuvného nosa v kN/m, pričom jej hodnota pre diaľničné mosty je v rozmedzí: $0,012 < k < 0,02$ a pre železničné mosty v rozmedzí $0,018 < k < 0,03$
 L_n - je maximálne rozpätie pri vysúvaní

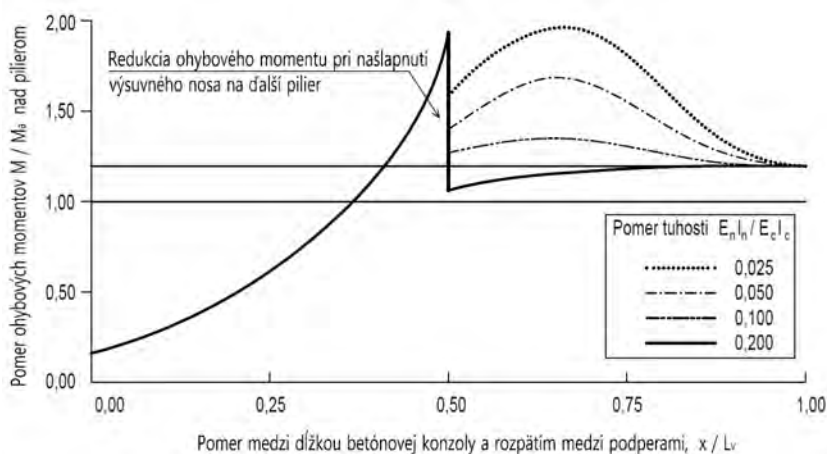
Pre ďalší postup sa predpokladajú niektoré zjednodušenia, ktoré však na celkový výsledok predbežnej optimalizácie majú len minimálny vplyv. Medzi tieto zjednodušenia patria napr. že most aj výsuvný nos majú konštantnú tuhosť po celej dĺžke, zanedbanie vplyvu teploty, nerovnomerného poklesu podpier a pod. Predpokladá sa ďalej že most a výsuvný nos majú konštantnú krivosť (aj keď je most vo výškovom oblúku, výsuvný nos býva zväčša priamy). Pri posudzovaní samotného výsuvného nosa, pri podrobnom výpočte, je samozrejme potrebné zohľadniť všetky zaťaženia a geometrické imperfekcie, avšak pri predbežnom návrhu výsuvného nosa je možné ich zanedbať.

Vplyv dĺžky výsuvného nosa a jeho tuhosti na maximálny nadpodperový moment je znázornený na obrázkoch č. Obr. 30 až Obr. 32. Pri vysúvaní mosta sa nadpodperový ohybový moment na moste za výsuvným nosom (M) postupne zväčšuje tým, že narastá dĺžka konzoly x (Obr. 29), až do okamihu kedy výsuvný nos "našliapne" na ďalší pilier. V tom momente príde k redukcii nadpodperového ohybového momentu, pričom veľkosť tejto redukcie závisí na tuhosti výsuvného nosa. V ďalších fázach výsunu sa tento redukovaný ohybový moment opäť zväčšuje, pričom maximálna hodnota akú dosiahne znova závisí na tuhosti výsuvného nosa. Ideálna dĺžka, tuhosť a hmotnosť výsuvného nosa je taká, kedy ohybový moment nad podperou za výsuvným nosom nepresiahne minimálnu hodnotu ohybového momentu, ktorý tam bude v čase, kedy sa betónová časť mosta dostane na ďalší pilier (Obr. 23 – fáza 2).



Obr. 29: Definovanie základných dĺžok používaných pri optimalizácii výsuvného nosa

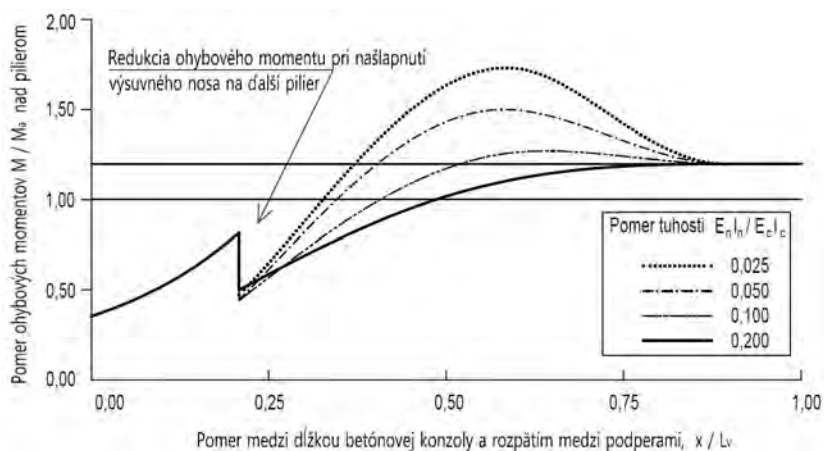
V prípade, že je výsuvný nos príliš krátky ($L_n/L_v < 0,5$), hodnota nadpodperového ohybového momentu pred "našliapnutím" výsuvného nosa na ďalší pilier prekročí hodnotu ohybového momentu, ktorý bude nad touto podperou v čase, kedy sa betónový prierez dostane na ďalší pilier (obr. 23 - fáza 2 a Obr. 30). Nadpodperový ohybový moment na konštrukcii za výsuvným nosom bude vždy približne min. 1,2 násobne väčší ako sú nadpodperové ohybové momenty na spojitých konštrukciách v ďalších poliach za výsuvným nosom (M_a).



Obr. 30: Priebeh nárastu nadpodperového ohybového momentu v prípade krátkeho výsuvného nosa ($L_n / L_v = 0,5$) pri uvážení vlastnej tiaže výsuvného nosa na úrovni 10% z tiaže betónového prierezu ($g_n / g_c = 0,1$) [11]

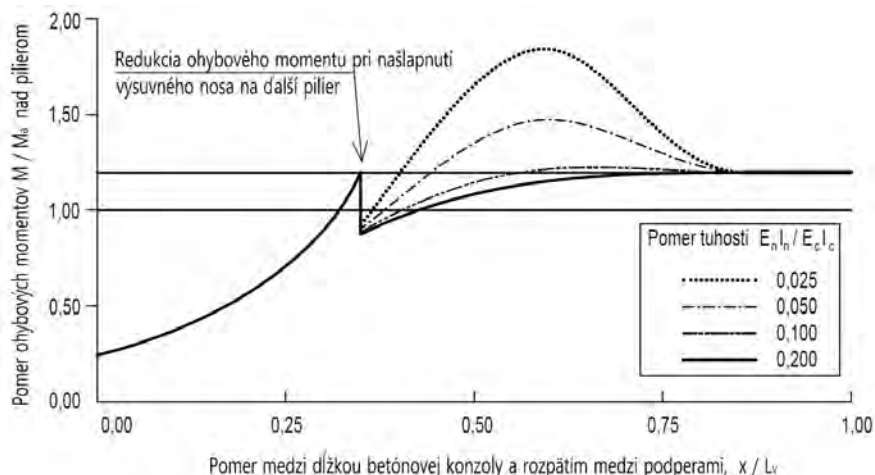
Z Obr. 30 tiež vidieť, že samotná ohybová tuhosť výsuvného nosa v tomto prípade nemá na dosiahnuté maximálne nadpodperové ohybové momenty prakticky žiadny vplyv. V prípade krátkeho výsuvného nosa, aj pri nízkej ohybovej tuhosti, nadpodperový ohybový moment už nikdy nedosiahne väčšiu hodnotu, aká bola nad pilierom tesne pred “našliapnutím” výsuvného nosa na ďalší pilier.

V prípade dlhého výsuvného nosa nadpodperový ohybový moment pred “našliapnutím” výsuvného nosa na ďalší pilier ešte nestihne vzrásť na hodnotu, ktorá bude dosiahnutá v momente kedy betónový prierez dosiahne ďalší pilier (Obr. 31). V prípade že je výsuvný nos ohybovo relatívne mäkký, počas výsuvu dôjde dokonca k prekročeniu tohto ohybového momentu a výsuvný nos je teda zbytočne dlhý.



Obr. 31: Priebeh nárastu nadpodperového ohybového momentu v prípade dlhého výsuvného nosa ($L_n / L_v = 0,8$) pri uvážení vlastnej tiaže výsuvného nosa na úrovni 10% z tiaže betónového prierezu ($g_n / g_c = 0,1$) [11]

Pri dĺžke výsuvného nosa na úrovni približne 65% z rozpätia medzi podperami je možné, pri nemennom pomere hmotností ($g_n / g_c = 0,1$), vhodne zvolenou tuhosťou ($E_n I_n / E_c I_c = 0,2$) dosiahnuť pri výsune vyvážené nadpodperové ohybové momenty. Pri takomto riešení nedôjde počas výsunu k prekročeniu max. nadpodperového ohybového momentu, ktorý bude v tom mieste po nabenutí betónového prierezu na ďalší pilier (Obr. 32).



Obr. 32: Priebeh nárastu nadpodperového ohybového momentu v prípade dlhého výsuvného nosa ($L_n / L_v = 0,8$) pri uvážení vlastnej tiaže výsuvného nosa na úrovni 10% z tiaže betónového prierezu ($g_n / g_c = 0,1$) [11]

Je samozrejmé, že tuhosť výsuvného nosa a jeho vlastná tiaž spolu súvisia a preto je iteračný proces optimalizácie mierne zložitejší, avšak pri predbežnom návrhu sa dá postupovať vyššie popísanými zjednodušenými postupmi. Iteračný proces vyzerá nasledovne:

- určí sa dĺžka výsuvného nosa tak, aby nadpodperový ohybový moment pred "našliapnutím" výsuvného nosa na pilier bol rovnaký ako v momente, keď je betónový prierez už vysunutý na ďalší pilier (dĺžka výsuvného nosa cca 0,65 násobok maximálneho rozpätia). V tomto kroku je potrebné zohľadniť aj tiaž koncového priečnika a odhad vlastnej tiaže výsuvného nosa.
- určí sa minimálna ohybová tuhosť výsuvného nosa tak, aby nedošlo k prekročeniu nadpodperového ohybového momentu medzi fázou výsunu pred "našliapnutím" výsuvného nosa na ďalší pilier a dosunutím betónového prierezu na ďalší pilier.
- Podrobne sa navrhne konštrukcia výsuvného nosa so zohľadnením minimálnej ohybovej tuhosti stanovenej v predošlom kroku a s ohľadom na jeho namáhanie.
- upraví sa vlastná tiaž výsuvného nosa a pokračuje sa ďalšou iteráciou

5.6.2 Požiadavky na statický návrh výsuvného nosa.

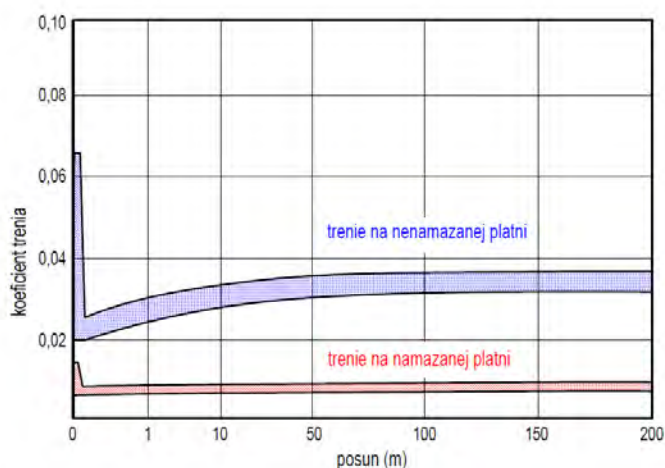
Po odladení dĺžky a tuhosti výsuvného nosa sa podrobne navrhne jeho konštrukcia s ohľadom na jeho namáhanie počas výsunu. V prevažnej väčšine praktických aplikácií je výsuvný nos tvorený dvoma plnostennými, alebo priehradovými trámami so zabezpečeným

priestorovým stužením. Pri statických výpočtoch hlavných trémov a stuženia je potrebné zohľadniť aj nepresnosti pri výstavbe. Je vhodné navrhnuť oba trémy výsuvného nosa na prenos celej reakcie z klzných ložísk (ako keby druhý trám nezaberal vôbec). Na takto zvýšené namáhanie je potrebné navrhnuť aj kotvenie oceľových trémov výsuvného nosa do konštrukcie mosta. Stuženie trémov musí byť navrhnuté okrem požiadaviek na zabezpečenie stability trémov voči klopeniu aj na zaťaženia akými sú priečny vietor, sily z bočného vedenia, resp. krútiace momenty vyplývajúce z geometrie výsuvného nosa a polohy klzných ložísk na pilieri. Najmä v prípade, keď je most pôdorysne zakrivený a výsuvný nos je priamy, dochádza na ňom k vzniku krútiacich momentov. Významné krútiace momenty namáhajúce stužujúce prvky môžu vzniknúť aj vplyvom nepresností vo výškovom osadení klzných ložísk – zohľadní sa to tým, že vo výpočtoch sa podoprie len jeden z trémov.

5.7 Trenie na ložískách a vo výrobni

Trenie je vo všeobecnosti závislé na drsnostiach povrchov a od toho či sa jedná o statické trenie, resp. o trenie pri vzájomnom pohybe povrchov. Pri teflónových (PTFE) platniach, ktoré sa štandardne používajú pri vysúvaní mostov, je trenie výrazne závislé aj od toho, či sú platne mazané vhodnou vazelínou (Obr. 33). Vazelína používaná na mazanie PTFE platní musí byť špeciálne určená na tento účel, inak môže dôjsť pod veľkým tlakom k jej znehodnoteniu a koeficient trenia môže výrazne stúpnuť.

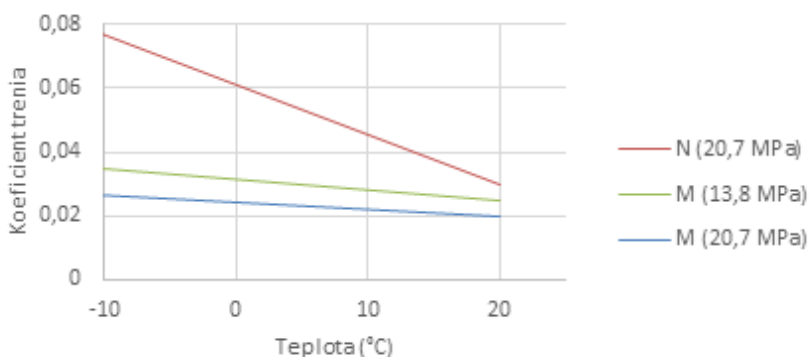
Z obrázka Obr. 33 je zjavné, že v prípade, že sa klzná platňa nenamaze vhodnou vazelínou môže byť statické trenie niekoľkonásobne vyššie. Pri výstavbe je preto potrebné dbať na dôkladné mazanie platní. Z obrázka je tiež vidieť rozdiel medzi statickým trením a trením v pohybe. Statické trenie je na vazelínou namazaných platniach vyššie približne o 50 až 70% oproti treniu v pohybe.



Obr. 33: Trenie na teflónovej platni v závislosti od mazania platne a od vzájomného posunu povrchov (rýchlosť posunu 1mm/s, prítlak na platni 15 MPa) [17].

Trenie závisí aj od teploty (Obr. 34), rýchlosti posunu a prítlaku na platni (Obr. 35). Na začiatku pohybu dochádza k zvýšeniu statického trenia na namazanej teflónovej platni aj v závislosti od času, koľko stála táto platňa bez pohybu pod zaťažením. Teflónová platňa namazaná vazelínou má tendenciu sa "prilepiť" ku kovovému povrchu klzného ložiska. Nárast sily, ktorý je potrebný k "odtrhnutiu" takto prilepenej platni je približne 1,5 násobok trenia v pohybe.

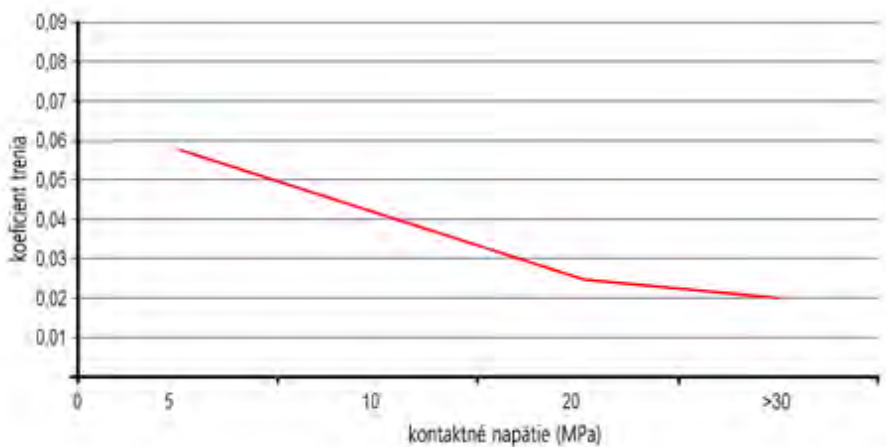
Pri dlhých mostoch k takémuto "prilepeniu" platní na klzné ložiská zväčša nedôjde na všetkých pilieroch a to najmä vďaka pohybom mosta od teploty. Či k pohybu platní od teploty dochádza, závisí od veľkosti tohto trenia, veľkosti pohybu a od tuhosti pilierov.



Obr. 34: Vplyv teploty na koeficient trenia podľa normy AASHTO pre prítlak na platni 20,7 a 13,8 MPa [16], N – nenamazaná PTFE platňa, M – namazaná PTFE platňa

Z Obr. 34 je vidieť výrazný vplyv teploty najmä v prípade že PTFE platňa nie je namazaná vazelínou. V prípade mazania platne vhodnou vazelínou nie je vplyv teploty veľmi výrazný.

Špecifikum PTFE platní je aj fakt, že koeficient trenia výrazne závisí aj od napätosti platne – čím je napätosť platne vyššia, tým je koeficient trenia PTFE platne nižší (Obr. 35).



Obr. 35: Závislosť súčiniteľa trenia od kontaktného napätia na PTFE platni [14]

Faktory, ktoré ovplyvňujú trenie PTFE platní sú:

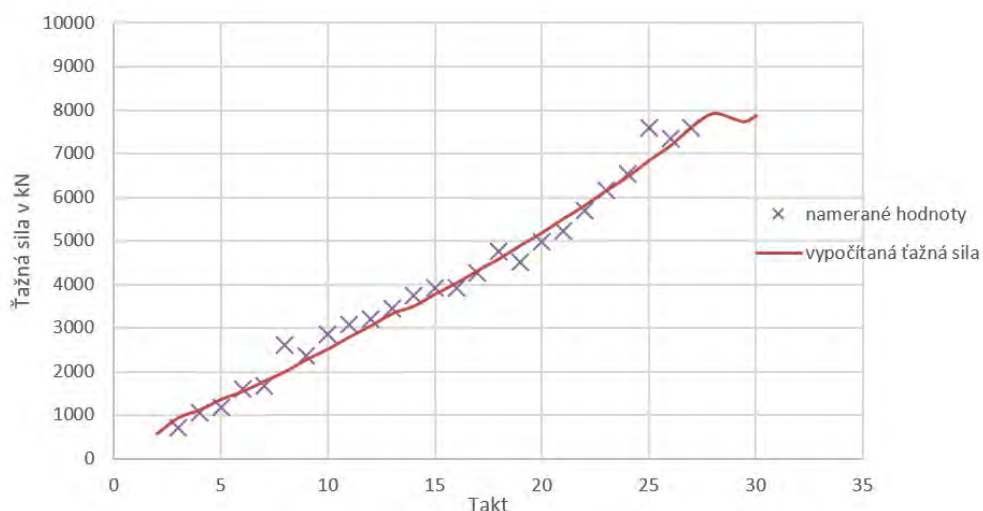
- použitie vhodnej vazelíny
- čas, ktorý uplynul od posledného posunu (“prilepenie platne”)
- kontaktné napätie na platni
- teplota
- prípadné nečistoty na platni, alebo vo vazelíne
- opotrebenie platní
- rýchlosť posunu a dĺžka dráhy posunu

Reálne statické trenie PTFE platní uvádzané v odbornej literatúre sa pohybuje medzi 1% (laboratórne ideálne podmienky na namazanej platni) a 10% (nenamazaná platňa, malý prítlak,...). Vychádzajúc z praktických skúseností sa trenie na klzných ložiskách v praxi pohybuje od cca 2 do 4%. V prípade dlhšieho neaktívneho obdobia v zimných mesiacoch sa môže trenie vyšplhať pred uvedením platne do pohybu až na dvojnásobok. Je teda evidentný pomerne veľký rozptyl v hodnotách trenia aké môžu byť na stavbe reálne možné.

Vo výrobe, na klzných nosníkoch, je potrebné počítať so zvýšeným trením na úrovni až 10%.

5.8. Výpočet kapacity lisov pre výsun mosta

Výpočet potrebnej kapacity hydraulických lisov sa spočíta s ohľadom na trenie na ložiskách a vo výrobe, ako aj s ohľadom na pozdĺžny sklon mosta. V prípade, že sa most nachádza vo výškovom oblúku, horizontálnu silu je potrebné spočítať s ohľadom na priemerný pozdĺžny sklon. Na obr. č. 36 je znázornená vypočítaná sila potrebná na výsun mosta pri Prešove v jednotlivých etapách v porovnaní s reálne nameranými hodnotami na stavbe. Z grafu je vidieť dve výrazne odlišné hodnoty, ktoré vznikli v dôsledku viactýždňového prerušenia výstavby, kedy na začiatku výsunu sa prejavil efekt “prilepenia sa” klzných platní na klzné ložisko.

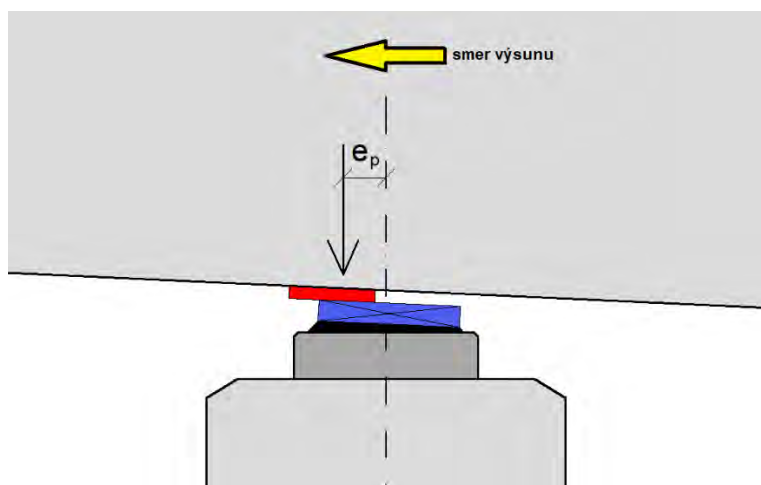


Obr. 36 Vypočítaná a reálne nameraná ťažná sila na začiatku výsunu. Most pri Prešove.

5.9 Namáhanie spodnej stavby mosta vplyvom technológie výstavby

5.9.1 Namáhanie pilierov

Aj keď je počas výstavby je zaťaženie aj trenie na klzných ložiskách menšie, než s akým sa uvažuje v definitívnom štádiu (4 - 5 %), môžu byť v určitých prípadoch piliere namáhané väčšími silami. Hlavným dôvodom je, že pilier je okrem sily z trenia namáhaný aj horizontálnou silou, ktorá vyplýva z geometrického rozkladu síl (klzné ložiská majú rovnaký sklon ako konštrukcia mosta, obr. 85 a 86 v kapitole 6.5.1). Ďalším významným zaťažením, ktoré môže pri vysúvaní na pilieroch vzniknúť je prípad, kedy pracovník zabudne vložiť klznú platňu, čím dôjde k preťaženiu druhého ložiska a k vzniku priečného ohybového momentu na pilieri. Obdobne môže vzniknúť ohybový moment aj v pozdĺžnom smere, a to vznikom excentricity (predošlá klzná platňa je ešte na ložisku a druhá klzná platňa nebola vložená). Veľkosť tejto excentricity pri výpočte pilierov v pozdĺžnom smere sa odporúča uvažovať s hodnotou 0,2 m (Obr. 37).

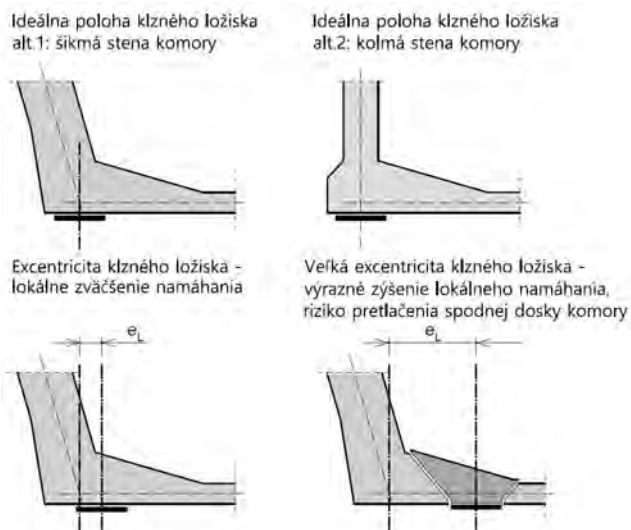


Obr. 37: Excentricita na pilieri, ktorá vznikne v prípade, že pracovník zabudne vložiť klznú platňu počas vysúvania.

Oneskorenie vloženia platne má aj ďalšie následky a to najmä v prípade, že je excentrickým tlakom táto platňa doslova "vystrelená" z ložiska. V takomto prípade dôjde k vynútenej deformácii mosta a k preťaženiu druhého ložiska, pri ktorom narastie šmyková sila v stene komory zväčšená aj vzniknutým krútiacim momentom.

Vo výnimočnom prípade, môže nastať aj situácia, že pracovník vloží klznú platňu naopak, prípadne platňa sa nejakým spôsobom zakliesni. Pre tento prípad sú piliere automaticky monitorované počas výsunu a pri prekročení max. povolenej deformácie piliera dôjde k automatickému vypnutiu výsuvného zariadenia (kapitola 6.6).

Keďže počas vysúvania je komora mosta na ložiskách podopieraná aj mimo priečnikov je potrebné overiť polohu klzných ložísk s ohľadom na pretlačenie cez spodnú dosku komory, čo by mohlo viesť až k zrúteniu mosta. Pri výpočtoch lokálnych účinkov je potrebné zohľadniť aj prípadnú excentricitu ložiska vzhľadom k trámu komory mosta (Obr. 38).



Obr. 38: Umiestnenie klzného ložiska vzhľadom k trámu komory mosta

Taktiež je potrebné overiť rozmery a vystuženie hlavice piliera, keďže rozmiestnenie klzných ložísk môže byť iné ako rozmiestnenie definitívnych ložísk. Na Obr. 39 je fotografia porušenej hlavice piliera vysúvaného mosta, ktorú okrem nevhodného vystuženia zapríčinilo aj umiestnenie klzného ložiska na úplný okraj hlavice



Obr. 39: Porušená hlavica piliera vysúvaného mosta po sanácii trhlín.

Pri vysúvaní musia byť klzné ložiská umiestnené pod trámami komory mosta (pri vysúvaní cez nadpodperovú oblasť prechádzajú časti mosta bez priečnika), čo si niekedy vyžaduje väčšiu hlavicu piliera, než aká by bola potrebná na umiestnenie definitívnych ložísk. Veľkosť hlavice piliera ovplyvní aj požiadavka na umiestnenie hydraulických lisov potrebných na výmenu dočasných klzných ložísk za definitívne po vysunutí mosta (pozri kapitolu 6.5).

5.9.2 Namáhanie opory

Výsuvné zariadenie sa v prevažnej väčšine prípadov montuje na jednu z opôr mosta, podľa toho ktorým smerom sa most bude vysúvať. Táto opora je potom v čase výstavby namáhaná pomerne veľkou horizontálnou silou (Obr. 40). Veľkosť tejto sily závisí na dĺžke (hmotnosti) vysúvaného mosta, veľkosti trenia na klzných ložiskách a vo výrobni, ako aj od pozdĺžneho sklonu mosta. Sila z trenia na klznom ložisku opory je v rovnováhe so silou ktorá musí byť vynaložená na jej prekonanie a preto sa nenačítava k celkovej sile, ktorá namáha oporu (pri dimenzovaní kapacity výsuvných lisov sa však započítavať musí). Z tohto dôvodu, keby bolo výsuvné zariadenie na každom pilieri, neboli by piliere počas vysúvania namáhané žiadnou horizontálnou silou z trenia (pr.: vysúvanie oceleového mosta Millau vo Francúzsku). Najhoršia situácia, čo sa zaťaženia opory týka, vzniká pri výsune posledného segmentu, kedy je horizontálna sila maximálna a zvislá (prítlačná sila) od vlastnej tiaže mosta je minimálna.



Obr. 40: Horizontálna sila pôsobiaca na oporu počas vysúvania mosta

Zakladanie je potrebné navrhnuť tak, aby ohybový moment v základovej škáre bol bezpečne zachytený a tiež aby nedošlo k ušmyknutiu opory v základovej škáre.

Opora musí byť dostatočne tuhá, aby nevznikali priveľké deformácie. Pri vysokých oporách (nad 4 metre) je ich vhodné riešiť ako členené opory s výstužnými rebrami (Obr. 41).



Obr. 41: Opora s výstužnými rebrami – Poľsko

6. Technologické časti

6.1 Základné časti technológie.

Medzi základné časti technológie vysúvania patria:

- Výsuvný nos
- Hydraulické zariadenie na výsun
- Výrobňa
- Klzné ložiská a bočné vedenie
- Bezpečnostné systémy

6.2 Technologické časti – Výsuvný nos

Základná funkcia výsuvného nosa je redukcia ohybových momentov v prednej časti mosta (na konzole) počas vysúvania. Statický návrh, optimalizácia dĺžky a tuhosti výsuvného nosa sú podrobne popísané v kapitole 5.6.

Konštrukčne sa výsuvný nos skladá z viacerých častí, tak aby bola možná jeho doprava na stavenisko a relatívne jednoduchá montáž. Jednotlivé časti výsuvného nosa sa na stavenisku spájajú pomocou vysokopevnostných skrutiek, ktorých dotiahnutie je potrebné počas výstavby mosta niekoľkokrát skontrolovať momentovým kľúčom. Výsuvný nos je najčastejšie tvorený dvoma plnostennými nosníkmi tvaru "I" vzájomne prepojenými priehradovým stužením (Obr. 42).



Obr. 42: Výsuvný nos - výstavba mosta pri Levoči

Priehradové stuženie musí byť navrhnuté tak, aby bolo schopné okrem zaťaženia vetrom preniešť aj krútiace momenty, ktoré môžu vzniknúť pri nesprávne výškovo osadených klzných ložiskách (aj na extrémny prípad, kedy jeden z hlavných nosníkov nedosadá na klzné ložisko).

Je vhodné ak je výsuvný nos riešený takým spôsobom, aby ho bolo možné použiť na viaceré mosty s rôznym rozpätím polí a to takým spôsobom, že jeho dĺžka sa dá upraviť pripnutím, resp. odmontovaním niektorej časti, čím je možné modifikovať jeho dĺžku. V takomto prípade, keď výsuvný most nie je optimalizovaný pre dané rozpätie a tuhosť mosta, bude návrh mosta vyžadovať viac predpätia v prednej časti, avšak tieto zvýšené náklady sú kompenzované lacnejším, dostupným, výsuvným nosom. V prípade, že sa výsuvný nos vyrába na mieru, je optimalizovaná jeho tuhosť tak, aby požiadavky na predpätie v prednej časti mosta počas výstavby boli minimálne. Výsuvný nos vyrobený na mieru má v mieste styku s nosnou konštrukciou rovnakú výšku prierezu ako nosná konštrukcia mosta. Je vhodné, ak spodná pásnica oceľového výsuvného nosa lícuje s vonkajšou hranou komory mosta, čím sa eliminuje potreba nasadenia špeciálnych klzných ložísk a bočného vedenia pre výsuvný nos (pozri kapitolu 6.5).

V prípade, že je oceľová konštrukcia výsuvného nosa vyššia ako je výška betónového prierezu mosta, zhotovia sa v mieste jeho napojenia dočasné betónové bloky pripnuté k nosnej konštrukcii predpínacími tyčami (Obr. 45 a Obr. 47).

Cez výsuvný nos musí viesť lávka pre obsluhu navádzacích klapiek osadených na začiatku výsuvného nosa.

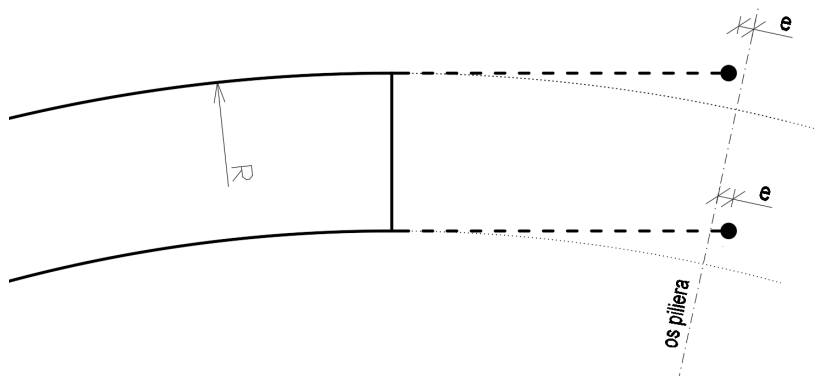
Pri pôdorysne zakrivenom moste (konštantná krivosť) môže byť geometria výsuvného nosa v pôdoryse riešená dvomi základnými variantmi:

- a.) Dotyčnica ku kružnici v mieste napojenia výsuvného nosa na most (Obr. 43, alt. A)
- b.) Sečnica kružnicou v mieste napojenia výsuvného nosa na most a koncom výsuvného nosa (Obr. 43, alt. B)



Obr. 43: Základné varianty riešenia pripojenia výsuvného nosa na konštrukciu s ohľadom na pôdorysné zakrivenie mosta

Obe varianty majú svoje výhody aj nevýhody. Variant A je geometricky jednoduchší vzhľadom na jednoduchšie napojenie na nosnú konštrukciu, avšak vyžaduje umožnenie väčších horizontálnych posunov na klzných ložiskách, ktoré sú pri variante B výrazne menšie. Pri oboch variantoch je potrebné, pri malých polomeroch pôdorysného zakrivenia, vyriešiť umiestnenie dočasných klzných ložísk výsuvného nosa, ktoré budú v rámci piliera odsadené od osi piliera. Odsadenie vyplýva z geometrie hlavných nosníkov a ich relatívnej polohy vzhľadom na pôdorysne zakrivený most (Obr. 44) a tiež z potreby "našľapovania" na pilier súčasne s oboma nosníkmi výsuvného nosa. V prípade že je most aj v pozdĺžnom sklone, je potrebné nastaviť rôzne výšky oboch klzných ložísk, ktorá vyplýva z ich excentrického uloženia vzhľadom na os piliera.



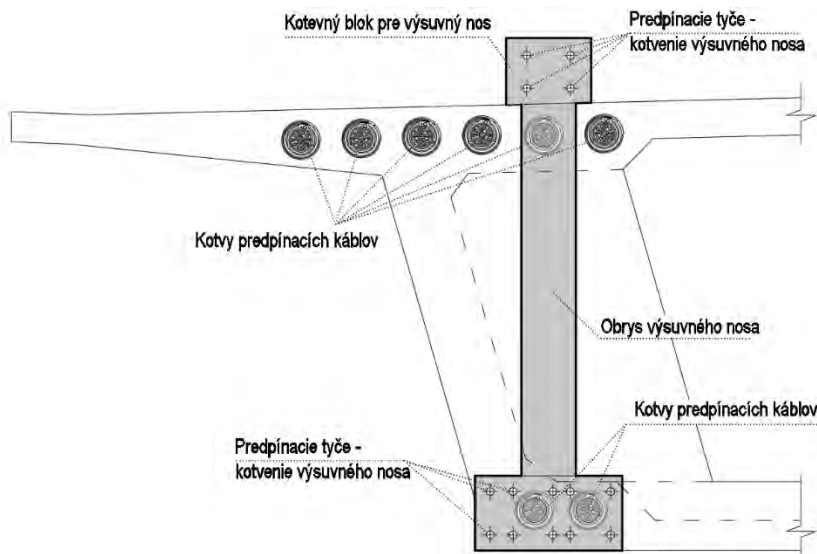
Obr. 44: Excentrické uloženie klzných ložísk na pilieri v prípade malých polomerov pôdorysného zakrivenia mosta. Ložiská musia mať dostatočnú plochu aj v priečnom smere na umožnenie priečneho pohybu výsuvného nosa počas vysúvania.

Pre veľké pôdorysy zakrivenia, je možné našľapovať na symetricky umiestnené klzné ložiská (vzhľadom na os piliera) s uvažovaním ich excentrického zaťaženia v čase "našľapovania".

Výsuvný nos je pripojený k mostu pomocou predpínacích tyčí, pričom predpínacie tyče sú v rámci výsuvného nosa kotvené do odsadených "boxov", čím sa eliminuje ich namáhanie šmykom (Obr. 45). Kotvenie môže byť odstupňované tak, aby sa zmenšilo lokálne namáhanie prierezov v mieste kotvenia tyčí na ocelevej časti, resp. v betónovej časti mosta v miestach ich kotvenia. Detail kotvenia výsuvného nosa a poloha predpínacích tyčí musia byť vyriešené tak, aby nedošlo ku kolízii s predpínacími káblami (Obr. 46).



Obr. 45: Napojenie výsuvného nosa na most (riešenie pre prípad kedy je výška ocelevej konštrukcie vyššia ako výška betónového prierezu mosta) – most pri Žiline.



Obr. 46: Napojenie výsuvného nosa na most – umiestnenie predpínacích tyčí vzhľadom na kotvy predpínacích lán



Obr. 47: Napojenie výsuvného nosa na most – šikmé steny komory. Most v Považskej Bystrici

Predpínacie tyče sa navrhnu tak aby v prípoji výsuvného nosa na most nedošlo k dekompresii ani v extrémnom prípade, keď reakciu na pilieri prenášal len jeden z dvoch hlavných nosníkov výsuvného nosa. Väčšina predpínacích tyčí je sústredená pri spodnom

povrchu keďže kladný ohybový moment počas vysúvania po “našliapnutí” na pilier je väčší ako záporný ohybový moment na konzole od vlastnej tiaže výsuvného nosa.

Prenos šmyku medzi výsuvným nosom a betónovým prierezom je zabezpečený trením a šmykovými zámkami. V prípade, že je šmyk prenášaný len trením, je potrebné venovať zvýšenú pozornosť kontrole napätí v predpínacích tyčiach počas výstavby.

Po vysunutí mosta sa výsuvný nos demontuje (Obr. 48). V prípade, že je za poslednou oporou málo miesta, je možné výsuvný nos rozoberať aj po častiach, postupne ako je na oporu nasúvaný.



Obr. 48: Demontáž výsuvného nosa. Na obrázku vpravo je vidieť šmykovú zádržku - betónový blok, ktorý slúžil na prenos šmykových síl v mieste napojenia nosníka výsuvného nosa na koncový priečnik. Vysúvaný most pri Štrbe.

V prednej časti výsuvného nosa je osadená na každom hlavnom nosníku hydraulická sústava slúžiaca na “našliapnutie” na klzné ložisko umiestnené na pilieri. Týmto spôsobom je umožnené nasunutie výsuvného nosa na klzné ložiská, keďže koniec výsuvného nosa je v dôsledku elastickej deformácie konzoly pod úrovňou klzných ložísk. Existujú viaceré možnosti riešenia samotného mechanizmu “našliapnutia”, pričom najčastejšie sa používa kyvná “klapka” resp. zvislý lis (Obr. 49). Kyvná klapka má výhodu, že je možné využiť pákový efekt pri “našliapovaní”, čím klesajú nároky na kapacitu lisu, avšak za cenu nutného väčšieho pracovného rozsahu lisu (v porovnaní so zvislým lisom môže mať lis kyvnej klapky menšiu kapacitu, avšak musí mať dlhší piest). Ďalšou výhodou kyvnej klapky je jednoduché pripojenie na výsuvný nos. Nevýhodou je excentrické “našliapovanie” na klzné ložisko pri veľkých deformáciách konzoly, čo pri použití zvislého lisu nehrozí. V extrémnych prípadoch, zväčša však len pri veľkých oceľových mostoch, je potrebné pred samotné klzné ložisko umiestniť ešte jedno menšie klzné ložisko s veľkou rotačnou kapacitou (Obr. 50).



Obr. 49: Kyvná “klapka” (vľavo) a zvislý lis (vpravo) slúžiace na “našľapovanie” výsuvného nosa na klzné ložiská.



Obr. 50: Pomocné klzné ložisko s veľkou rotačnou kapacitou pre “našľapovanie” pomocou kyvnéj “klapky” pri veľkých deformáciách konzoly (prestavba Starého mosta v Bratislave).

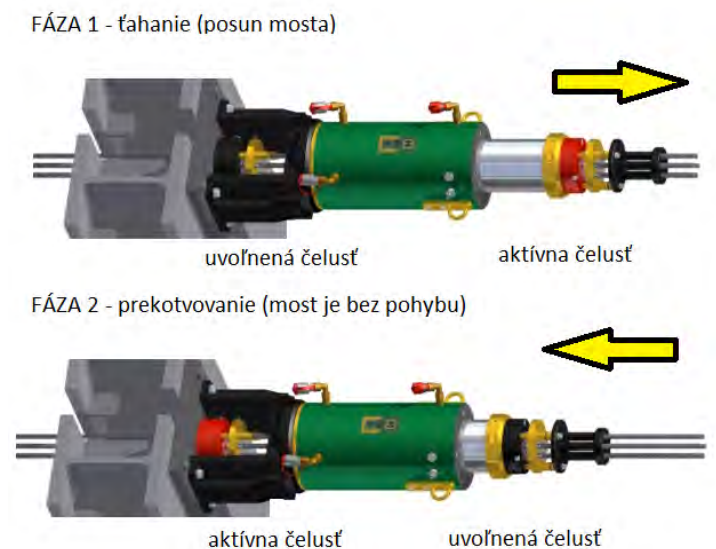
Okrem plnostenných hlavných nosníkov pre konštrukciu výsuvného nosa je možné použiť aj priehradové nosníky, ktoré sa však v praxi vyskytujú zriedkavo. Jedným z dôvodov je aj požiadavka na ohybovú odolnosť spodnej pásnice, ktorá počas vysúvania je namáhaná ohybovými momentami, keď sa klzné ložisko nachádza medzi uzlami priehradovej sústavy.

6.3 Technologické časti – Hydraulické zariadenia na výsun mosta

6.3.1 Vysúvanie hydraulickými ťažnými lismi

Podrobný princíp vysúvania ťažnými lismi je vysvetlený v kapitole 3.1.

Hydraulické ťažné lisy (Obr. 51 a Obr. 52), ktoré sa na tento účel používajú sú v podstate zdviháky určené na dvíhanie ťažkých bremien s dvoma čelustami na zachytenie oceľových lán. Jedna čelusť je v statickej časti lisu a druhá je v rámci piestu. Počas jednotlivých záberov sú laná zachytené jednou alebo druhou čelustou tak, aby nenastal prípad že by most nebol zdvihákmi držaný (Obr. 51).



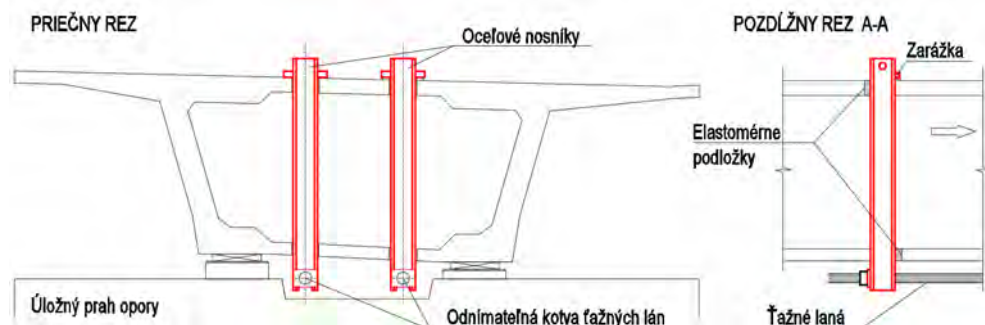
Obr. 51: Schéma fungovania ťažného lisu



Obr. 52: Hydraulický ťažný lis

Pri návrhu hydraulických ťažných lisov je potrebné vedieť maximálnu ťažnú silu, ktorá bude potrebná počas výsunu mosta. Veľkosť tejto sily závisí od trenia na klzných ložiskách, vlastnej tiaže mosta a pozdĺžneho sklonu mosta s ohľadom na smer vysúvania. Čím väčšia sila je potrebná, tým viac hydraulických lisov s veľkou kapacitou bude nutné nasadiť. Je potrebné zvážiť, či je vôbec geometricky možné ťažné lisy danej kapacity a počtu na oporu umiestniť. S narastajúcou potrebnou kapacitou lisov narastá aj ich rozmer a hmotnosť, ako aj požiadavky na olejové čerpadlo. Kapacita olejového čerpadla (prietok v litroch za min.) výrazne ovplyvňuje celkový čas vysúvania. S väčšími lismi sa ťažšie manipuluje a taktiež s ich kapacitou narastajú aj požiadavky na prvky kotvenia a na prvky oceľových nosníkov kotvených do nosnej konštrukcie mosta. Počet zapojených ťažných lisov sa počas výstavby môže meniť: na začiatku výstavby, keď sa vysúva ešte necelá polovica mosta, stačí mať zapojenú len polovicu lisov (napr. 2 zo 4). Týmto spôsobom sa urýchli jednak výsun konštrukcie (ak dané olejové čerpadlo poháňa len polovicu lisov, rýchlosť pohybu piestov je približne dvojnásobná) a jednak sa uľahčuje prekotvovanie oceľových nosníkov (stačí prekotvovať polovicu nosníkov). Výsun s jedným ťažným lisom zväčša nie je možný vzhľadom na zabezpečenie stability mosta voči pozdĺžnemu posunu počas prekotvovania oceľového nosníka do ďalšieho taktu (vtedy by mohlo dôjsť k samovoľnému pohybu mosta, keďže okrem trenia na ložiskách by ho nemalo čo držať v pozdĺžnom smere).

Oceľové ťažné lano je pripojené odnímateľnou hlavice k oceľovým nosníkom prechádzajúcimi cez vynechané otvory v hornej a spodnej doske komory (Obr. 53 a Obr. 54).



Obr. 53: Schéma osadenia oceľových ťažných nosníkov

Pri prekotvovaní oceľových nosníkov sa hlavica odopne, nosník sa premiestni do novej polohy, obe čeluste hydraulického lisu na opore sa uvoľnia a kotevná hlavica s uchyteným lanom sa pomocou navijaku potiahne k prekotvenému nosníku, kde sa k nemu opäť pripojí (Obr. 54).

Pri vysúvaní dvojtrámového mosta sa oceľový ťažný nosník ukotví do trámov (nosník je vo vodorovnej polohe).



Obr. 54: Oceľové ťažné laná kotvené cez odnímateľnú hlavicu do oceľového nosníka prechádzajúceho cez vynechané otvory v spodnej a hornej doske komory mosta

Po vysunutí segmentu mosta, musí byť most zafixovaný na opore voči akémukoľvek pohybu v pozdĺžnom smere. V opačnom prípade by mohlo dôjsť pri poklese teploty konštrukcie mosta k pohybu mosta na opore v smere k stredu vysunutej časti mosta (ťažné laná nemajú v tlaku žiadnu tuhosť).

Pri poslednom výsune sa oceľové nosníky zachytia za koncový priečnik (Obr. 55), pričom v niektorých prípadoch je potrebné na tento účel koncový priečnik upraviť a to aj s ohľadom na to, aby bolo možné dosunúť most až do definitívnej polohy. V hornej časti sú nosníky pripnuté k mostu pomocou závitových (predpínacích) tyčí.



Obr. 55: Umiestnenie oceľových nosníkov pri výsune posledného segmentu (vpravo – detail pripojenia v hornej časti závitovými vysokopevnostnými tyčami) – most v Štrbe.

6.3.2 Vysúvanie pomocou sústavy horizontálneho a vertikálneho lisu

Princíp vysúvania touto technológiou ako aj špecifiká pre výsun prvých a posledných taktov sú popísané v kapitole 3.2.

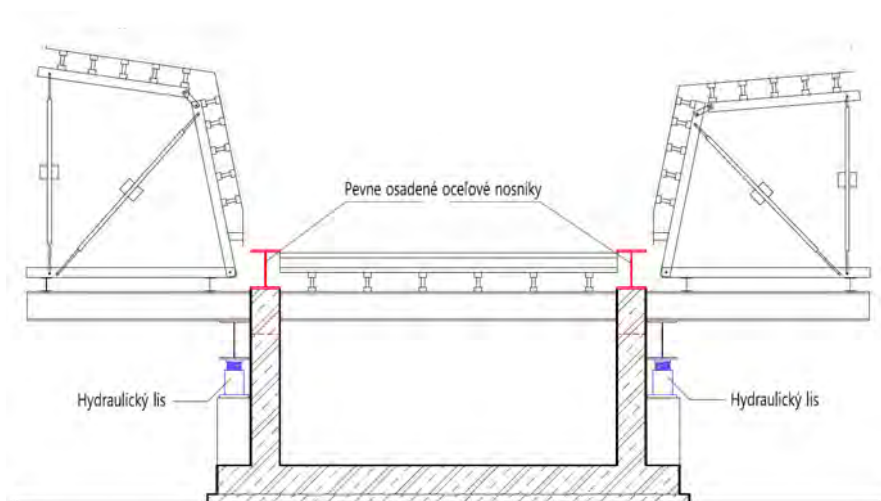
Kapacita pre výsun mosta touto technológiou je obmedzená najmä trením na kontaktnej platni zvislého lisu, ktorá determinuje maximálnu možnú horizontálnu silu, ktorú je možné vyvolať pri danom prítlaku. Dvojica lisov (Obr. 56) musí byť umiestnená pod trámami mosta a v prípade, že nie je možné vyvolať dostatočnú silu pre vysunutie celého mosta, je možné nasadiť ďalšiu synchronizovanú dvojicu lisov na niektorý z ďalších pilierov, resp. na dočasné pomocné piliere (Obr. 9). V takomto prípade je potrebné tieto piliere posúdiť na účinok maximálnej horizontálnej sily počas vysúvania mosta.



Obr. 56: Sústava lisov nasadená pri výstavbe mostov (hore: most pri Svrčinovci, atypické uloženie lisov na pilieri, dole: most v Nitre, štandardné usporiadanie lisov na opore)

6.4 Technologické časti – Výrobňa.

Výrobňa (Obr. 58) slúži na betonáž jednotlivých segmentov (taktov), pričom je skonštruovaná tak, aby umožňovala rýchle a jednoduché debnenie a oddebnenie. Zväčša je výrobňa riešená tak, že pod betónovanými trámami mosta sa nachádzajú oceľové nosníky, ktoré sú pevne osadené (v prípade, že sa most nachádza vo výškovom oblúku je tvar týchto nosníkov tomu prispôsobený). Zvyšok debnenia je uložený na hydraulických liso, ktorými je možné pomerne rýchlo nastaviť formu debnenia do požadovanej geometrie (Obr. 57).



Obr. 57: Schéma výroby



Obr. 58: Pohľad na výrobu. Vysúvaný most pri Gliwiciach (PL).

Výrobňa musí byť založená tak, aby nedochádzalo k jej nadmernému sadaniu, resp. nakláňaniu, ktoré by mohlo výrazne narušiť geometriu mosta tým, že sa deformácie pri každom segmente pripočítavajú (napr. pri rozdiely vo výške 1 mm v pozdĺžnom smere výrobne, bude výškový rozdiel pri 15 poľovom moste na konci až 30 mm). Takáto zmena geometrie má pri spojitex sústave vplyv aj na vnútorné sily, ktoré vzniknú počas vysúvania. Pri návrhu výroby je potrebné ju skonštruovať tak, aby bola možnosť jej prípadnej rektifikácie v prípade jej sadania (napr. nadvihnutie časti výroby a jej podinjektovanie). V prípade, že dôjde k náhlemu poklesu výroby pri betonáži niektorého segmentu (napr. pri výstavbe na pod dolovanom území) a vznikne výškový skok na spodnej hrane mosta (na klznej ploche), je nevyhnutné tento skok zbrúsiť "do stratena". Inak môže dôjsť k poškodeniu klzných ložísk lokálnym namáhaním, k vážnym poruchám na pilieroch a následne aj na hornej stavbe počas vysúvania.

Postup výstavby jedného segmentu je väčšinou nasledovný:

- Po vysunutí segmentu nasleduje očistenie pevne osadených oceľových nosníkov a geodetická kontrola ich polohy.
- Geodetické nastavenie polohy debnenia pre ďalší segment.
- Osadenie klzných platní na pevne osadené oceľové nosníky.
- Uloženie spodnej výstuže spodnej dosky, osadenie predpínacích lán, uloženie hornej výstuže spodnej dosky, vystuženie steny komory, deviátorov a priečnikov.
- Osadenie vnútorného debnenia trávov, priečnikov a deviátorov, zadenbenie čela prierezu
- Betonáž spodnej dosky a trávov (pri betonáži trávov je potrebné postupovať po vrstvách a s časovým odstupom, aby nedošlo k vytlačaniu čerstvého betónu v mieste napojenia debnenia trávov na spodnú dosku.
- Odstránenie vnútorného debnenia trávov komory, deviátorov a priečnika.
- Debnenie hornej dosky – debniaci vozík sa vytiahne z komory predošlého vysunutého segmentu.
- Uloženie spodnej výstuže hornej dosky.
- Uloženie predpínacích káblov
- Dokončenie výstuže hornej dosky
- Betonáž hornej dosky.
- Oddebenie prierezu.
- Predpínanie káblov (po dosiahnutí predpísanej pevnosti betónu)
- Vysúvanie segmentu a injektáž predpínacích káblov

Pracovný cyklus závisí od dĺžky segmentu a zložitosti tvaru, zväčša sa však po zácviaku pracovníkov podarí dosiahnuť týždňový pracovný cyklus pre jeden segment. Základné fázy výstavby sú zobrazené na obrázkoch Obr. 59 až Obr. 62 (most pri Štrbe).



Obr. 59: Vystužovanie a debnenie spodnej dosky, trávov deviátorov a priečnika.



Obr. 60: Vystužovanie a debnenie hornej dosky



Obr. 61: Most tesne pred vysúvaním segmentu z výroby – predpínacie laná, ktoré sú priebežné cez pracovnú škáru sú vyložené na mostovke



Obr. 62: Most po vysunutí segmentu z výroby

Debnenie hornej dosky sa realizuje štandardným systémovým debnením, ktoré je navrhnuté tak, aby sa dalo jednoducho vytiahnuť z pôvodného, už vysunutého, segmentu. Za týmto účelom musia byť prispôsobené aj priečniky mosta. Debnenie sa posúva buď na oceľových podperách, pričom sú jeho konzoly sklápaceľné (Obr. 63), alebo v prípade úplne otvoreného priečnika na špeciálnych krátkych konzolách kotvených do stien komory (Obr. 64). Riešenie bez nutnosti sklápať konzoly debnenia pri jeho presune urýchľuje premiestnenie debnenia do ďalšieho záberu, avšak za cenu subtilnejšieho priečnika.



Obr. 63: Presun debnenia hornej dosky so sklopenými konzolami debnenia. Most v Považskej Bystrici



Obr. 64: Krátke podperné konzoly osadené na steny komory pre urýchlenie presunu debnenia hornej dosky do ďalšieho záberu. Vysúvaný most pri Ružomberku.

Predpínacie káble sa pripravujú vopred priamo na stavbe na špeciálne "bubny", pomocou ktorých sa následne ukladajú do debnenia, čím sa urýchľuje výstavba (Obr. 65). Alternatívnym riešením je, že sa dovezu na stavbu už priamo navinuté na "bubny" od dodávateľa predpínacieho systému (prefabrikované káble).



Obr. 65: Ukladanie predpínacích káblov do debnenia. Most pri Svrčinovci.

Pri vysúvaní mosta sa predpínacie káble, ktoré sú priebežné cez pracovnú škáru vyložia na mostovku, pričom treba dbať na to aby nedošlo k zlomeniu káblového kanálíka (výrobca predpisuje minimálny polomer zakrivenia káblov pri manipulácii s nimi, ktorý by nemal byť menší ako je polomer "bubna" na ktorom sú navinuté). Za týmto účelom sa na moste zhotovia drevené pomocné podpery na ktoré sa vyložia horné káble (Obr. 61). Veľkým polomerom zakrivenia sa minimalizuje riziko poškodenia káblového kanálíka a jeho následného zatečenia betónom. V prípade, že sú predpínacie káble prekotvované v rámci priečnika, káble priebežné cez pracovnú škáru sa osadia až dodatočne a teda ich uloženie nie je potrebné pri výsune riešiť. Takéto riešenie je však drahšie a štandardne sa nepoužíva.

Pre urýchlenie výstavby sa predvážuje výstuž do tzv. armokošov (Obr. 66), pričom už pri návrhu výstuže je potrebné myslieť na to, aby sa dali takéto armokoše vôbec zhotoviť. Je potrebné myslieť aj na to, že kvôli ukladaniu predpínacej výstuže, nie je možné vyrobiť armokôš pre celú spodnú dosku ako jeden celok, ale musia sa vyrobiť dva, zvlášť pre spodnú výstuž a zvlášť pre hornú výstuž. Armokôš pre steny komory je možné zhotoviť ako jeden celok, pričom ak sú v stene komory navrhnuté aj polygonálne káble, ktoré budú aktivované až po vysunutí celého mosta, do týchto armokošov sa už musia osadiť aj káblové kanálíky (Obr. 67).



Obr. 66: Príprava armokošov na stavenisku v špeciálnej drevenej forme s kontúrami zodpovedajúcimi debneniu výrobné . Vysúvaný most pri Ružomberku.



Obr. 67: Osadzovanie armokoša do debnenia už s osadenými káblovými kanálikmi pre polygonálne predpínacie káble, ktoré budú aktivované až po vysunutí celého mosta.

V prípade potreby môže byť výrobná prekrytá aby bola umožnená výstavba aj v zimných mesiacoch. V takomto prípade je ale potrebné vyriešiť prístup žeriavov pre osádzanie armokošov a predpínacích káblov. Ďalšou možnosťou pre zimné mesiace je zabezpečenie vyhrievania výrobné, čím sa dosiahne rýchlejší nárast pevností betónu (Obr. 68). Vyhrievanie prebieha zväčša dieselovými agregátmi, alebo iným chváleným systémom pre ohrev debnenia v exteriéri.



Obr. 68: Vyhrievaná výrobňa. Most v Nitre.

V prípade že sa stavajú dva paralelné mosty vedľa seba, výrobňa sa navrhne tak, aby bol možný jej priečny presun do novej polohy bez toho aby sa musela celá demontovať a montovať nanovo (Obr. 69). Vysúvanie dvoch paralelných mostov naraz, z dvoch výrobní je opodstatnené len ak sú vysoké nároky na rýchlu výstavbu, keďže takéto riešenie si vyžaduje dvojnásobný počet všetkých technologických častí a je teda výrazne drahšie.



Obr. 69: Výrobňa priečne (šíkmo) presunutá do novej polohy. Most vo Svrčinovci.

Poloha výroby sa volí vo vzdialenosti približne jedného segmentu za oporou mosta. Dôvodmi sú:

- pri vysúvaní hydraulickými ťažnými lisami: osadenie oceľových nosníkov slúžiacich na výsun mosta

- pri vysúvaní sústavou horizontálneho a vertikálneho lisu: zabezpečenie dostatočného prítlaku na vertikálnom lise umiestneného na opore (pozri aj kapitolu 3.2)
- Kvôli spojkovaniu predpínacích káblov je vo vysunutom segmente predopnutá ešte len polovica predpínacích káblov (v pracovnej škáre sa spája len 50% predpätia, ďalšia polovica predpínacích káblov je priebežná a napne až po zabetónovaní ďalšieho segmentu).

V prípade, že za oporou nie je dostatok miesta, môže byť výrobňa situovaná aj tesne za oporou (cca 5 metrov, pozri Obr. 13), avšak v tom prípade sa musia výsuvné jednotky umiestniť na pilier mosta, čo prináša zvýšené náklady a komplikuje výstavbu. V takomto prípade sa zväčša pilier rozoprie oceľovými nosníkmi do opory mosta (Obr. 70), tak, aby bol zabezpečený prenos veľkej horizontálnej sily, ktorá vzniká pri vysúvaní mosta. Medzi oporu mosta a pilier sa osadia aj predpínacie tyče, ktorými sa systém rozopretia zaistí. Kvôli redukcii ohybových momentov na konštrukcii mosta medzi oporou a pilierom sa v prípade potreby zhotoví dočasný pilier (segment má v týchto miestach aktívnu ešte len polovicu predpätia). Pre tento pomocný pilier nie je potrebné zhotovovať masívne hĺbkové základy, ale je vhodnejšie osadiť na jeho hlavicu hydraulicky rektifikovateľné klzné ložiská (Obr. 71), ktoré sa geodeticky sledujú a v prípade sadania piliera sa ich výška upraví podľa potreby. Sadanie piliera je potrebné sledovať intenzívne najmä pri prvých výsunochoch, keď dochádza ku konsolidácii zeminy v podloží.



Obr. 70: Pomocné konštrukcie pre umiestnenie výsuvných lisov na pilier z dôvodu nedostatočného priestoru za oporou (výrobňa musela byť umiestnená tesne za oporou). Most pri Svrčinovci.



Obr. 71: Hydraulicky výškovo nastaviteľné klzné ložisko

Dĺžka výrobne je prispôsobená najdlhšiemu segmentu, ktorý sa volí na základe viacerých faktorov ako sú dĺžka mosta, rozpätia medzi piliermi a pod. (pozri aj kapitolu 5.5). Optimálna dĺžka výrobne sa pohybuje medzi 20 až 28 metrami.

V špeciálnych prípadoch, najmä pre krátke mosty (do 200 metrov), kedy sa technológia vysúvania volí najmä z dôvodu, že použitie iných technológií výstavby nie je možné (napr. ponad železničnú trať s priestorovým obmedzením aj nad mostom), môže sa zhotoviť za oporou výrobňa krátkej dĺžky (cca. 5 metrov). Výroba segmentov za oporou potom prebieha formou "krátkej" (A), resp. "dlhej dráhy" (B) známej hlavne z technológie letmej montáže. Pre výrobu segmentov za oporou na krátkej dráhe sú 2 základné možnosti:

A1) výrobňa je statická a hotové segmenty sa posúvajú po výrobnej dráhe

A2) výrobňa je pohyblivá (na koľajniciach) a segmenty ostávajú po vybetónovaní na mieste až kým sa naraz viaceré nevysunú spolu s mostom.

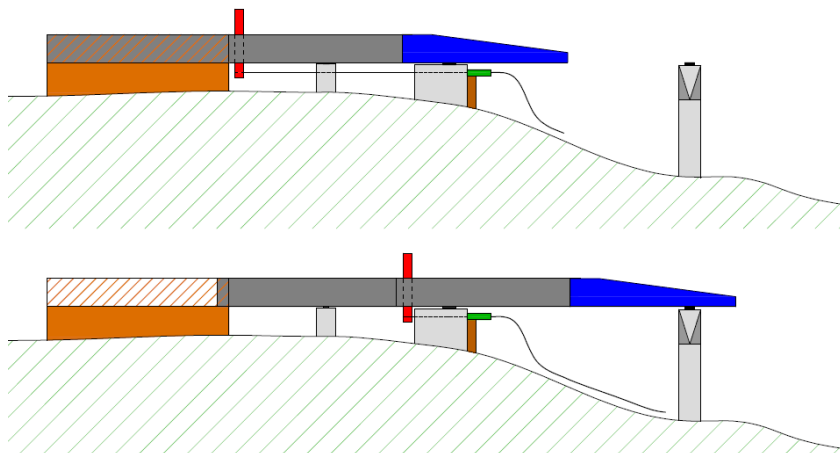
V oboch prípadoch sa betónuje naraz celý priečny rez a pracovný cyklus pre 5 metrový segment je 1 deň.

V prípade alternatívy A1, sa po betonáži a následnom oddebnení posunie celý most (Obr. 73). Nové segmenty ešte v týchto prvých fázach nie sú predpäté a predpätie sa v nich aktivuje až po zhotovení viacerých segmentov, čím dôjde k ich pripojeniu kuž hotovej konštrukcii. Nevýhodou je častý posun celého mosta (posuny sú však krátke – len na dĺžku jedného segmentu). Hydraulické výsuvné lisy sú v tomto prípade zväčša umiestnené za výrobňou a opierajú sa do betónového bloku prepojeného s oporou mosta doskou, ktorá slúži zároveň aj ako výrobná dráha.

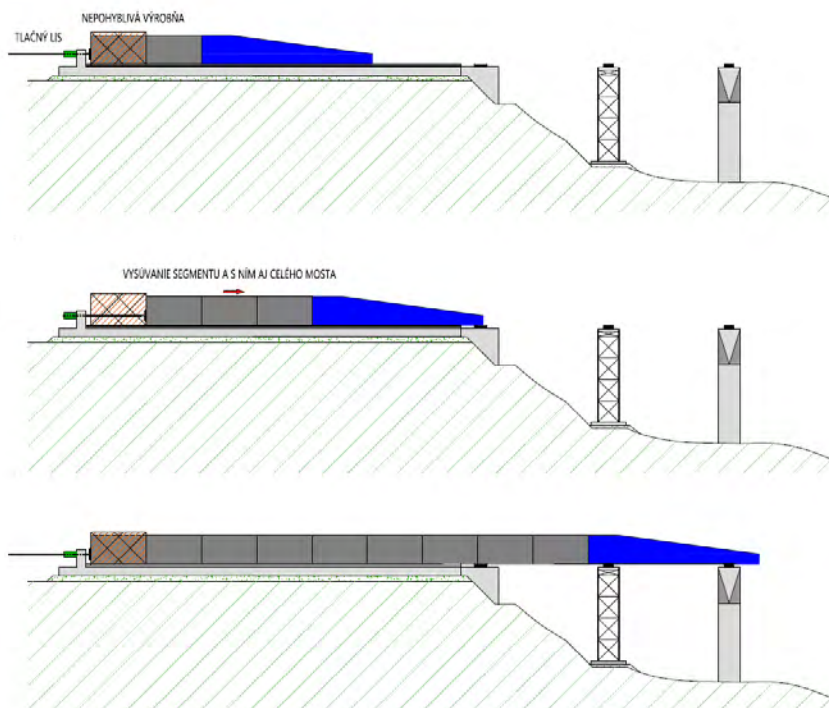
Ďalšou modifikáciou (alt. A2) je zhotovenie viacerých segmentov, ich pripojenie k hotovej časti mosta dobetónávkou a následný výsun. Výhodou je pri tejto modifikácii menší počet výsunov a nie je potrebný pomocný pilier v prvom poli. Na druhej strane nevýhodou, je dlhá výrobná dráha a dva hydraulické systémy -jeden na posun segmentov a jeden na výsun mosta (Obr. 74).

V prípade B sa posúva samotná výrobňa a podobne ako v prípade A, sa predpínacie káble napnú až po zhotovení viacerých segmentov. Výhodou je, že most sa vysúva až po zhotovení

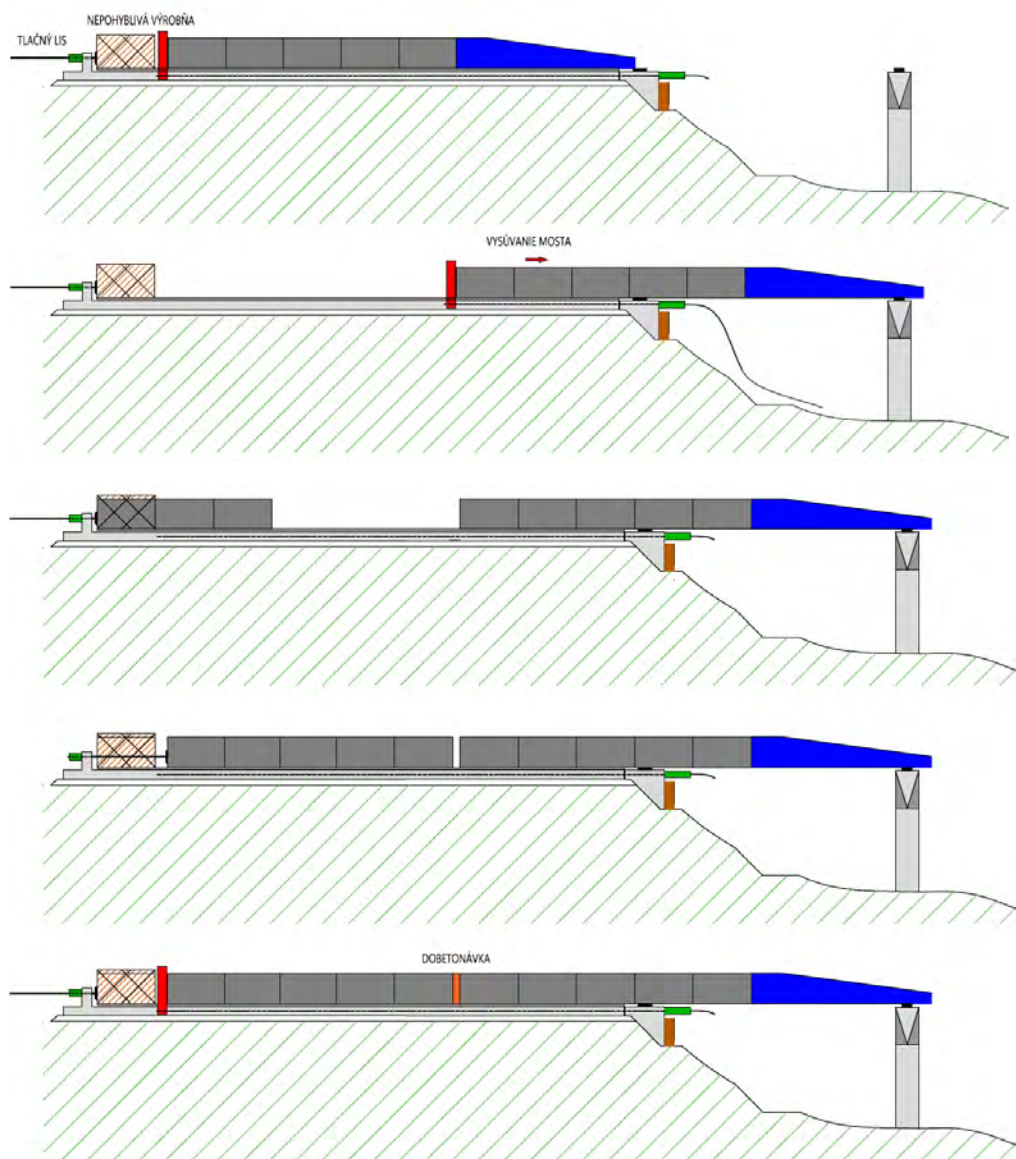
a predopnutí viacerých segmentov. Následne sa výrobňa premiestni späť do východiskovej polohy (Obr. 75). Hydraulické ťažné lisy sú v tomto prípade umiestnené na opore mosta a výsun mosta v každom takte sa podobá na výsun posledného segmentu v prípade štandardného riešenia (Obr. 72).



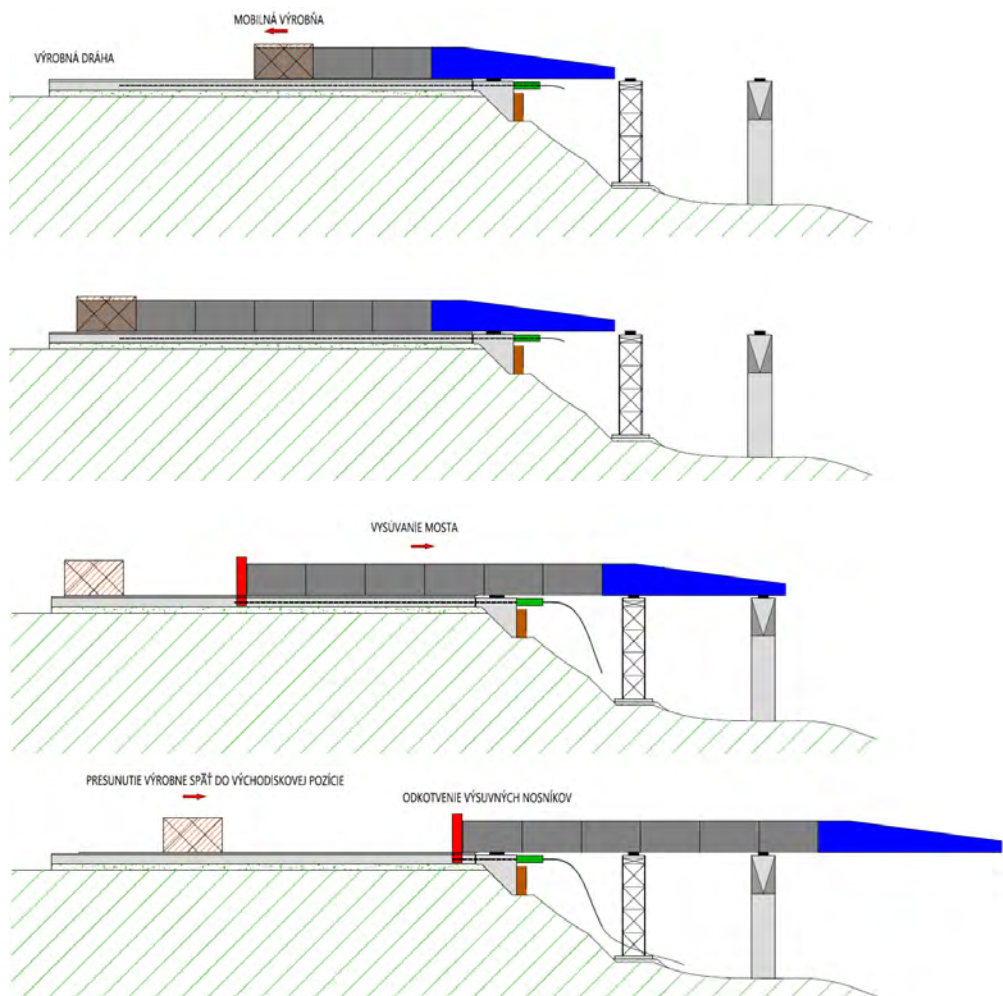
Obr. 72: Štandardný spôsob riešenia výroby a vysúvania



Obr. 73: Modifikácia výroby, alt. A1: zhotovovanie segmentov na krátkej dráhe. Výrobňa je osadená pevne – nepohyblivá.

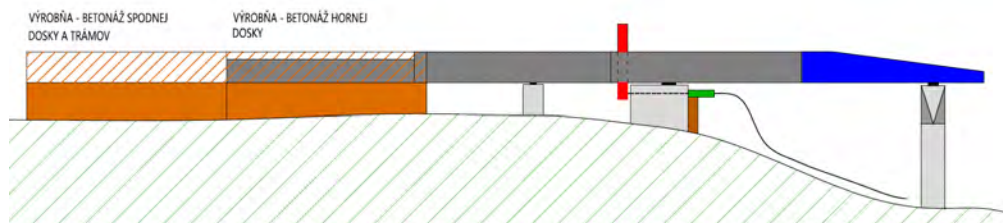


Obr. 74: Modifikácia výroby, alt. A2: zhotovovanie segmentov na krátkej dráhe. Výrobňa je osadená pevne – nepohyblivá. Vysúvanie pomocou ťažných lisov na opore po pripojení viacerých segmentov k už hotovej konštrukcii dobetonávkou a predpäťm.



Obr. 75: Modifikácia výrobné, alt. B: zhotovovanie segmentov na dlhej dráhe. Výrobná je pohyblivá.

Ďalšou možnosťou pre urýchlenie pracovného cyklu, najmä v prípade viackomorových širokých mostov a pokiaľ je za oporou dostatok miesta, je možné navrhnúť tzv. dvojfázovú výrobu (Obr. 76). V jej prvej časti sa zhotovuje spodná doska a trámy a v druhej časti horná doska komory mosta.



Obr. 76: Schéma dvojfázovej výrobné

V prípade dvojfázovej výroby, je možné prednú časť výroby, kde sa betónuje už len horná doska zjednodušiť tak, že segment je v týchto miestach podporený už len na dočasných pilieroch, čím sa ušetrí potreba osadenia oceľových nosníkov pod trámy v tejto časti.

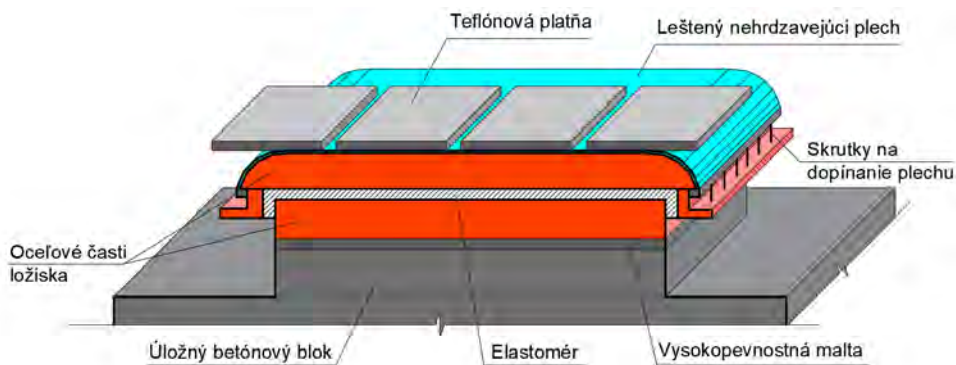
V prípade, že je požiadavka na zrýchlenie výstavby dvoch paralelných mostov, situujú sa dve výroby tesne vedľa seba (Obr. 77), pričom obe obsluhuje jeden žeriav. V takomto prípade sa cyklus stavby posunie tak, aby neprebiehali v oboch výrobných rovnaké procesy v tom istom čase, čo umožní efektívne využitie žeriava aj personálu.



Obr. 77: Dve výroby pri výstavbe dvoch paralelných mostov súčasne. Vpravo je vidieť most počas vysúvania – keďže predpínacie káble sú prekotvované v rámci priečnika (neštandardné riešenie), nie sú pri výsune mosta ešte osadené. Vysúvaný most v Nitre.

6.5 Technologické časti – Klzné ložiská a bočné vedenie

Klzné ložiská (Obr. 78 a Obr. 79) sa používajú počas výsunu na minimalizovanie trenia na podperách, čím sa znižujú nároky na výsuvné zariadenie a tiež namáhanie pilierov horizontálnou silou. Klzné ložiská sú osadené v smere pozdĺžneho sklonu mosta. Klzné ložisko je tvorené oceľovou časťou, ktorá je uchytená pilier, elastomérnou vložkou na umožnenie malých natočení ložiska medzi spodnou a vrchnou oceľovou časťou a lešteným nehrdzavejúcim plechom natiahnutým na vrchnej časti ložiska (Obr. 78). Pri osádzaní ložiska na pilier sa nastaví jeho geometrická poloha a následne sa pomocnými skrutkami nastaví jeho výška v strede hornej klznej platne ako aj pozdĺžny sklon ložiska podľa pozdĺžneho sklonu mosta na danom pilieri. Po tomto presnom nastavení (tolerancia výškového nastavenia je len do max. cca 2 mm a tolerancia nastavenia pozdĺžneho sklonu do max. 0,2%) sa ložisko podleje vysokopevnostnou maltou.



Obr. 78: Rez klzným ložiskom s úpravou pre výmenu a doplnenie lešteného plechu



Obr. 79: Štandardné klzné ložisko s osadeným bočným vedením pre výsuvný nos

Medzi klzné ložisko a mostnú konštrukciu sa vkladajú pre zníženie trenia špeciálne teflónové platne. Teflónová klzná platňa (Obr. 80) sa skladá z elastoméru zosilneného oceľovým plechom a z jednej strany pokrytej povrchom z teflónu (PTFE). Funkcia elastoméru je rovnomerne roznieť zvislú silu a trením zabezpečiť priľnavosť k betónovému povrchu mosta tak, aby most platňu "ťahal" ponad klzné ložisko pri výsune. Oceľový plech stabilizuje geometriu platne s ohľadom na pozdĺžne šmykové sily. Teflónový povrch má na povrchu jamky, ktoré slúžia ako "zásobáreň" maziva (špeciálna silikátová vazelína). Ohľadom trenia teflónovej platne pozri kapitolu 5.7.

Počas výsunu musí každé klzné ložisko obsluhovať jeden pracovník, ktorý na jednej strane teflónové platne vkladá a na druhej ich odoberá (Obr. 81). Taktiež ich musí priebežne čistiť a mazať. Ak pracovník zabudne vložiť klznú platňu, okrem zvýšeného namáhania piliera, môže dôjsť k "vystreleniu" klznej platne, čím je jednak ohrozený samotný pracovník, ale dôjde tak k čiastočnej strate podpory na jednom ložisku, čo má ďalšie statické dôsledky (pozri kapitolu 5). V prípade, že medzi vkladacími platňami vzniká veľká medzera dochádza aj ich preťažovaniu a rýchlejšiemu opotrebeniu.



Obr. 80: Teflónová platňa



*Obr. 81: Vkladanie teflónovej platne medzi klzné ložisko a konštrukciu mosta.
Most pri Svrčinovci*

Okrem klzných ložísk po ktorých sa most posúva, musia byť na pilieroch osadené aj tzv. bočné vedenia (Obr. 82), ktoré slúžia na zabezpečenie polohy mosta počas vysúvania v priečnom smere (aby nedošlo k jeho zosunutiu z klzných ložísk). Ďalšou funkciou bočného vedenia je zachytiť priečne sily od vetra v štádiu výstavby. Pri návrhu bočného vedenia a jeho uchytenia na pilier sa odporúča dimenzovať prípoj na horizontálnu silu minimálne 3% z maximálnej vertikálnej sily, ktorá sa na ložisku vyskytne počas výstavby + sila od priečneho vetra. Pre udržanie mosta v jednej línii počas výsunu sú potrebné bočné vedenia minimálne na dvoch miestach. Prvé bočné vedenie je osadené vždy na mieste, kde segment vychádza z výroby (Obr. 83) a druhé aktívne miesto bočného vedenia je prvý pilier hneď za výsuvným nosom. Priečna sila na bočnom vedení počas vysúvania klesá s narastajúcou vzdialenosťou medzi miestami bočných vedení. Pri vysúvaní mosta sa odporúča aktivovať

vždy len dvojicu bočných vedení, keďže pri staticky neurčitom systéme bude sila na bočnom vedení závisieť od tuhosti pilierov a je ťažké predpovedať, ktoré bude reálne aktívne (aktivovanie prebieha vložением teflónových platní). V každom prípade by malo byť ale bočné vedenie pre prípad potreby a pre stabilizáciu mosta medzi výsunnami na každom pilieri (minimálne na každom druhom, pokiaľ to preukáže statický výpočet).



Obr. 82: Klzné ložiská a bočné vedenie na pilieri. Most v Považskej Bystrici.



Obr. 83: Bočné vedenie tesne pred výrobňou.

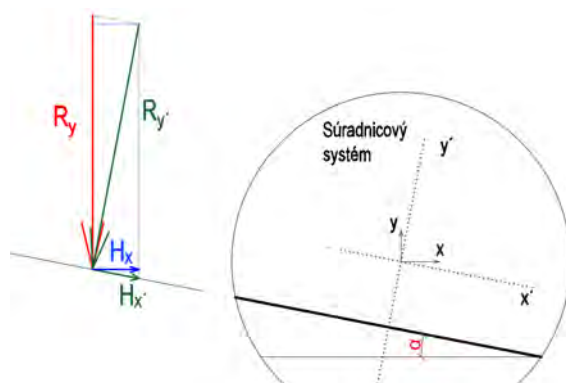
V prípade, že sú hlavné nosníky výsuvného nosa v menšej priečnej vzdialenosti ako trámy komory mosta, je potrebné na pilier osadiť zvlášť klzné ložiská pre výsuvný nos (Obr. 84). Bočné vedenie výsuvného nosa sa odstráni ešte predtým ako nabehne na pilier betónová konštrukcia mosta.



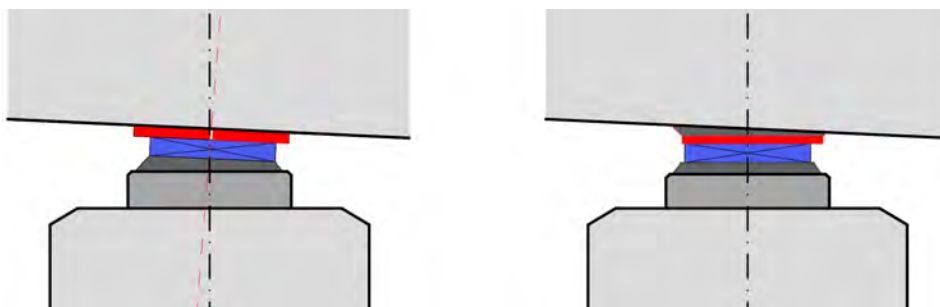
Obr. 84: Kľzné ložiská pre výsuvný nos a pre konštrukciu mosta. Most pri Štrbe.

6.5.1 Výmena kľzných ložísk z definitívne ložísk.

Po vysunutí mosta je potrebné vymeniť kľzné ložiská za definitívne. Pri postupe výmeny je potrebné vziať do úvahy fakt, že pred ich výmenou sú kľzné plochy všetkých ložísk nastavené do pozdĺžneho sklonu mosta a teda výsuvné lisy na opore držia celú pozdĺžnu silu, ktorá vzniká z vektorového rozkladu zvislej sily (Obr. 85) z každého ložiska (trenie sa zanedbáva v prospech bezpečnosti). Je preto vhodné vymeniť najskôr všetky tie ložiská, ktoré v definitívnom štádiu budú kľzné a to vzhľadom na to, že ich horná kľzná plocha už bude vodorovná a teda nebude na nich vznikať žiadna pozdĺžna sila z vektorového rozkladu, ktorú je potrebné zachytávať (Obr. 86).



Obr. 85: Vektorový rozklad síl na dočasnom kľznom ložisku (R_y je zvislá reakcia na ložisku, $R_{y'}$ je sila pôsobiaca kolmo na šikmú rovinu hornej platne ložiska, H_x je sila pôsobiaca v smere pozdĺžneho sklonu ložiska, H_x' je horizontálna sila vznikajúca rozkladom síl na šikmej ploche)



Obr. 86: Klné ložiská. Vľavo: dočasné klné ložisko s klnou platňou rovnobežnou s pozdĺžnym sklonom mosta. Vpravo: Definitívne klné ložisko s vodorovnou klnou platňou.

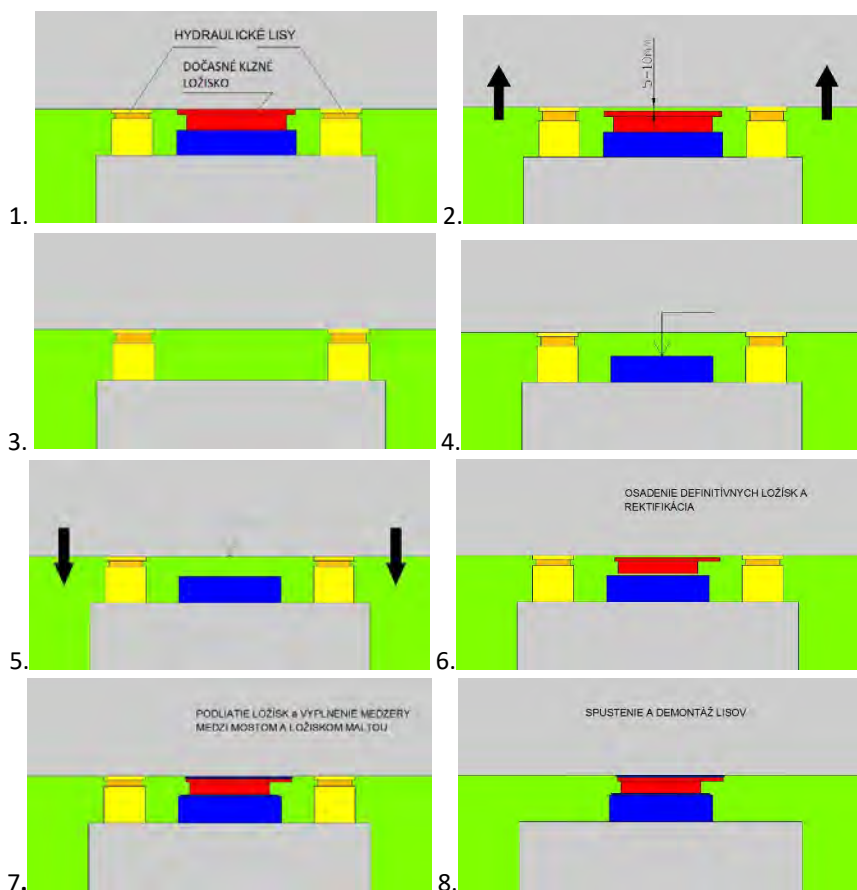
V prípade, že by sa ako prvé vymenili tie ložiská, ktoré budú v definitívnom štádiu pevné, je potrebné prepočítať kotvenie pevných ložísk, ako aj samotný pilier na horizontálnu silu, ktorú musí v tomto štádiu preniesť (hydraulické lisy na opore sa v tomto štádiu už uvoľnia a nebudú držať most – kvôli umožneniu pohybu mosta v pozdĺžnom smere). Táto horizontálna sila vznikajúca v tomto prípade z vektorového rozkladu síl na všetkých, ešte nevymenených dočasných klných ložiskách, môže byť totižto väčšia než na akú boli pevné ložiská a piliere dimenzované. Požiadavka na čo najrýchlejšie uvoľnenie hydraulických lisov na opore býva aktuálna najmä v prípade, že sa stavajú dva paralelné mosty a je potrebné čo najskôr premiestniť celú technológiu na výstavbu druhého mosta.

Pri návrhu postupu výmeny ložísk je potrebné zobrať do úvahy aj vplyv teplotnej rozťažnosti mosta, ktorý je pred výmenou ložísk ukotvený na opore. Pri výmene klných ložísk za pevné, nastane situácia, že most je pevne chytený na opore a aj na pilieri, kde sa vymenili klné ložiská za pevné. Aby sa eliminovalo namáhanie konštrukcie mosta a pilierov od teplotných účinkov, je potrebné po fixovaní mosta na pilieri, kde budú definitívne pevné ložiská, uvoľniť most na opore. Toto štádium je potrebné staticky prepočítať, aby nedošlo k posunu mosta. Pri prepočte je potrebné zobrať do úvahy aj fakt, že most je počas výmeny ložísk na pilieri s budúcimi pevnými ložiskami fixovaný len na hydraulických lisoch a horizontálna sila sa prenáša len trením medzi lismi, podložkami a mostom. Naopak, pri výmene dočasných klných ložísk za definitívne klné ložiská sa medzi hydraulické lisy, ktorými sa most pridvihne na pilieri, a medzi most vložia klné platne na umožnenie pohybov mosta od teplotných zmien.

Na výmenu ložísk musí byť na pilieri dost' miesta pre osadenie hydraulických zdvíhacích lisov, čomu je potrebné prispôbiť rozmer hlavice piliera. Styk medzi hydraulickými lismi a nosnou konštrukciou sa rieši buď klzne, alebo s čo možno najvyšším trením podľa toho, ktoré ložiská sa menia. V prípade, že bude na hydraulický lis pôsobiť nielen zvislá sila, ale aj pomerne veľká horizontálna sila, musí mať hydraulický lis dostatočnú kapacitu na jej prenesenie, pri danom potrebnom výsune piesta. Kapacita hydraulických lisov vo zvislom smere musí byť dostatočná na nadvihnutie mosta aj s určitou rezervou.

Samotná výmena dočasných klných ložísk za definitívne prebieha v nasledovných krokoch (Obr. 87):

- 1.) osadenie hydraulických lisov na hlavicu piliera
- 2.) nadvihnutie mosta (cca 5 mm)
- 3.) odstránenie dočasných klzných ložísk a betónových náliatkov na ktorých boli osadené
- 4.) betonáž nových náliatkov do potrebnej výšky pre osadenie definitívnych ložísk
- 5.) výškové nastavenie presnej výšky spodnej plochy mosta pomocou lisov
- 6.) osadenie definitívnych ložísk
- 7.) podliatie definitívnych ložísk (napr. epoxidom)
- 8.) vyplnenie škáry medzi hornou plochou platne ložiska a nosnou konštrukciou (napr. zavlhlou špeciálnou cementovou zmesou)
- 9.) odstránenie hydraulických lisov



Obr. 87: Postup výmeny dočasných klzných ložísk za trvalé ložiská

Výmena ložísk sa zväčša realizuje pomocou lávky podvesenej na mostovke, ktorá uľahčuje transport ložísk a lisov na hlavicu piliera (Obr. 88).



Obr. 88: Podvesená lávka slúžiaca na presun ložísk a lisov na hlavicu piliera počas výmeny ložísk

Pri výmene ložísk je možné eliminovať prípadné nerovnomerné sadanie pilierov, ktoré vzniklo počas výsunov a to tak, že v kroku č.5 sa výška klznej plochy nastaví vyvažovaním celkovej reakcie na pilieri na projektovanú hodnotu. V prípade, že presnosť hydraulického systému neumožňuje dostatočne presné meranie tejto reakcie, dodrží sa projektovaná geometria spodnej plochy mosta.

6.6 Technologické časti – bezpečnostné systémy a opatrenia počas výsunu mosta

Pri výsuvaní mosta je potrebné minimalizovať riziko že sa stane nejaká neočakávaná udalosť zapríčinená ľudským faktorom. Za týmto účelom musí byť personál, ktorý bude zodpovedať za vkladanie teflónových platní medzi klznú ložisko a konštrukciu mosta, preškolený. Na každom pilieri musí byť vysielacia aby sa zabezpečila možnosť vzájomnej komunikácie s personálom na jednotlivých stanovištiach. Každý pier je mal byť tiež vybavený tlačidlom na zastavenie výsunu mosta pre prípad, že na pilieri dôjde k neočakávanej udalosti a je potrebné pohyb mosta okamžite zastaviť (Obr. 89).



Obr. 89: Signalizácia výsunu a STOP tlačidlo pre vypnutie výsunu v prípade neočakávanej udalosti

Piliere by mali byť tiež vybavené automatickým monitorovaním ich náklonu, ktorý pri prekročení daných limitných hodnôt vypne výsuvný systém. Jedným z riešení je natiahnuté oceľové lano medzi oporou a predným pilierom, ktorý ešte nie je počas vysúvania zaťažený. Na lane sa nachádzajú v miestach pilierov zarážky o ktoré sa v prípade vychýlenia piliera zaprie páčka vypínača, ktorým sa vypne výsuvné zariadenie (Obr. 90). Dnes sa však preferujú už modernejšie elektronické systémy na báze bezdrôtovej komunikácie a elektronického merania deformácií.



Obr. 90: Oceľové lano, zarážka a spínač, ktorý vypne výsun v prípade prekročenia povolenej deformácie piliera

Most sa musí počas vysúvania priebežne geodeticky sledovať, na čo musí byť vytvorené geodetické pozorovacie stanovisko odkiaľ bude možné zameriavať celý most počas výsunu (Obr. 91).



Obr. 91: Geodetické sledovanie mosta počas vysúvania. Vľavo: stanovisko na vyvýšenom teréne, vpravo: stanovisko na dočasnom stĺpe v prípade rovinatého terénu.

6.7 Ďalšie metódy modifikácie technológie vysúvania.

6.7.1 Urýchlenie výstavby nasadením viacerých výrobní, resp. modifikovaním výstavby

V prípade, že sa vyžaduje urýchlenie výstavby, je možné za cenu vyšších nákladov, využiť niektorú z nasledovných možností:

- a.) použitie viacerých výrobní - vysúvanie oproti sebe z dvoch opôr naraz a následné prepojenie na spoločnom pilieri (vhodné aj keď geometria mosta neumožňuje vysunutie celého mosta z jednej výrobne – napr. pôdorysný oblúk s prechodom do priamky), vysúvanie naraz dvoch paralelných mostov
- b.) dvojfázová výroba (pozri kapitolu 6.4)

V prípade potreby je možné vysúvať aj viaceré dilatačné celky naraz z jednej výrobne, s tým, že sa po vysunutí uvoľní časť predpätia a most sa tým rozdelí na dilatačné celky.

Ďalšou možnosťou, najmä pre kratšie paralelné mosty, je použitie špeciálnych klzných ložísk na celú šírku spoločnej hlavice piliera, resp. s premostením medzi hlavicami pilierov, a po vysunutí mosta ho priečne posunúť. Týmto spôsobom je možné bez presunu výrobne, hneď po preložení výsuvného nosa, pokračovať s výstavbou druhého mosta.

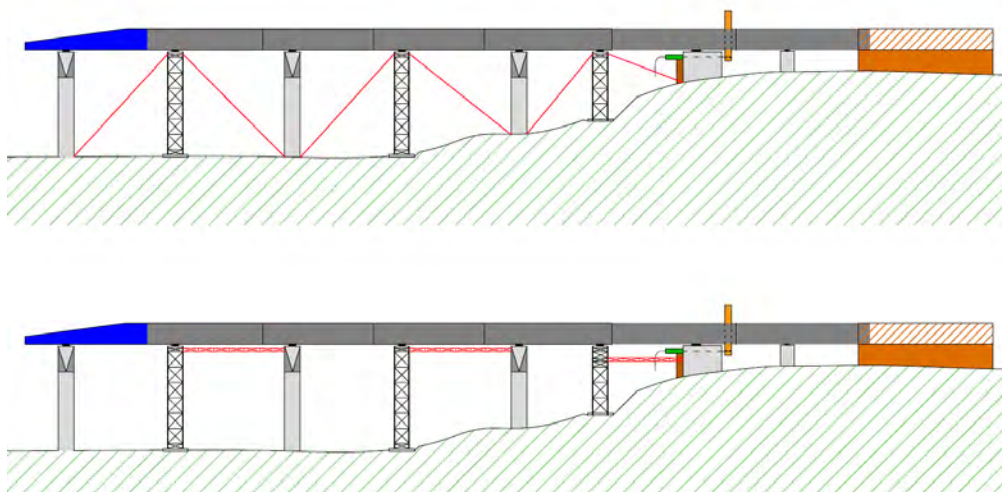
6.7.2 Vysúvanie s využitím dočasných pilierov

Jednou z možností ako znížiť rozpätie mosta počas vysúvania konštrukcie je využitie dočasných pilierov. Pri polovičnom rozpätí sú ohybové momenty od vlastnej tiaže na konštrukcii len štvrtinové. Na druhej strane sa ale pri menších rozpätiach výraznejšie prejavuje vplyv nerovnomernej zmeny teploty, nerovnomerného poklesu podpier a tiež nerovnakej pružnej deformácie dočasných a trvalých pilierov. A teda aj keď nároky na centrické predpätie v štádiu výstavby klesajú, redukcia množstva predpätia nie je úmerná redukcii ohybových momentov od vlastnej tiaže.

Pri vysokých pilieroch a dočasných pilieroch spôsobuje nerovnomernú zmenu ich dĺžky aj teplotná rozťažnosť, keďže oceľové stojky majú menšiu tepelnú zotrvačnosť a teda sa zohrejú, resp. ochladia rýchlejšie ako masívne betónové podpery. Pre vysoké piliere (nad 40 metrov) je potrebné pri výpočte uvažovať aj s týmto efektom.

Po vysunutí mosta sa zhotovia polygonálne prepínacie káble pre pokrytie nárastu ohybových momentov po odstránení dočasných podpier a na pokrytie ďalších zaťažení v definitívnom štádiu.

Nevýhodou využitia dočasných podpier je potreba úpravy terénu a zakladanie dočasných podpier, ich montáž a stuženie (pre vysoké podpery aj kotvenie) voči účinkom horizontálnych síl počas vysúvania. Kotvenie na redukciiu deformácie dočasných pilierov počas vysúvania v horizontálnom smere sa realizuje buď šikmými káblami kotvenými do základu predošlého trvalého piliera, alebo horizontálnymi nosníkmi (resp. lanami) do hlavice predošlého trvalého piliera (Obr. 92).



Obr. 92: Kotvenie dočasných pilierov. Hore: kotvenie lanami do základov trvalých pilierov, dole: kotvenie oceľovými nosníkmi do hláv trvalých pilierov

Pri využití dočasných podpíer taktiež stúpa počet potrebných dočasných klzných ložísk a nároky na personál počas vysúvania.

Pre elimináciu nadmerného sadania dočasných podpíer je vhodné použiť výškovo nastaviteľné klzné ložiska, čím sa ušetria financie za náročné zakladanie (pozri Obr. 71).

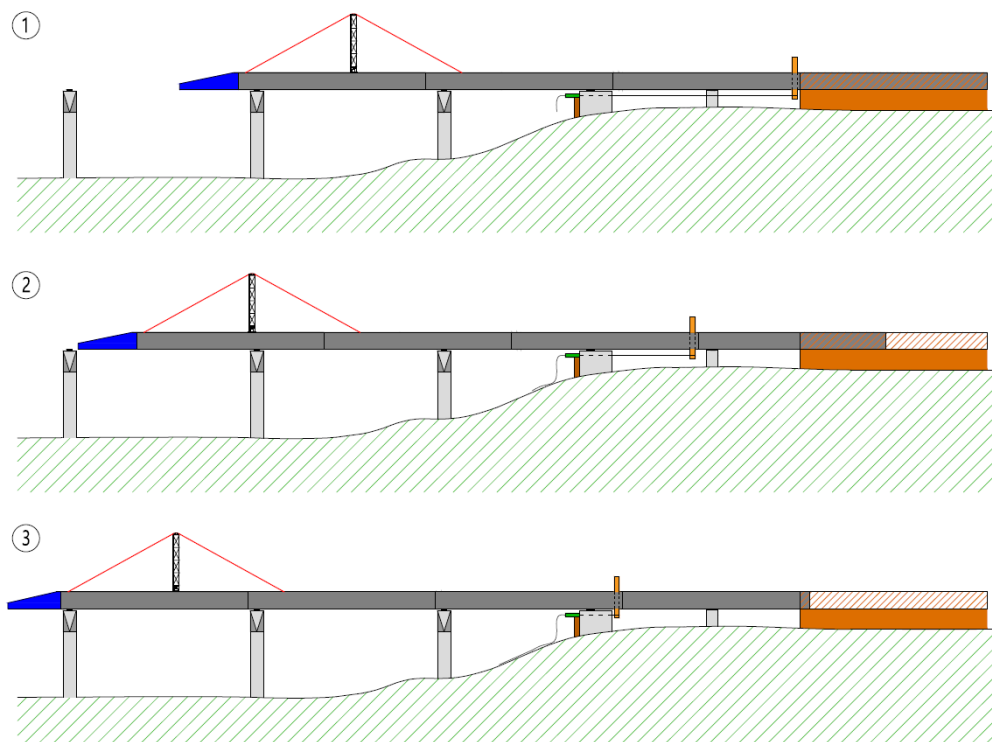
Použitie dočasných pilierov je zväčša efektívne len v prípadoch, že most je relatívne nízko nad terénom, terén pod mostom je prístupný, rozpätia mosta sú dlhšie ako 60 metrov, resp. sa výrazne líšia v jednotlivých poliach.

6.7.3 Vysúvanie s využitím dočasného pylóna

Ďalšou možnosťou redukcie nadpodperového momentu na konzole počas vysúvania mosta, okrem použitia relatívne dlhého výsuvného nosa, je použitie dočasného pylóna. V tomto prípade je predná časť konzoly vyvesená závesom s regulovateľnou silou na dočasnom pylóne. Toto riešenie sa častejšie používa pre oceľové mosty, avšak v niektorých špecifických prípadoch bolo takéto riešenie použité aj pri výstavbe betónových mostov. Prvý vysúvaný most v bývalom Československu bol riešený týmto spôsobom (pozri kapitolu 1, Obr. 3).

Umiestnenie dočasného pylóna je riešené tak, že v momente, keď je v závese a teda aj v pylóne najväčšia sila, teda tesne predtým ako most dosadne na ďalší pilier, je pylón v tesnej blízkosti piliera. Sila v závesoch je zväčša regulovaná lismi, ktoré nadvíhujú resp. spúšťajú pylón. Nutnosť regulácie sily v pylóne súvisí s namáhaním konštrukcie počas rôznych fáz výsunu. Vo fáze výsunu, keď je konzola v prednej časti mosta malá, je pylón približne v strede rozpätia (poloha 1 a 3 na Obr. 93) a teda sila v pylóne musí byť minimálna

aby nepreťažoval toto mostné pole výrazným zvýšením kladných ohybových momentov. V ďalších fázach keď sa vysúvaním konštrukcie predlžuje dĺžka konzoly, je potrebné zvyšovať silu v závese regulovaním nadvihnutia a teda aj sily v pylóne, ktorý sa počas vysúvania už dostáva bližšie k podpere. Čím je dĺžka vykonzolovanej časti mosta počas vysúvania mosta dlhšia, tým väčšia sila je potrebná v závese na redukciu nadpodperového ohybového momentu. Samozrejme väčšia sila v závese sa dá dosiahnuť len na úkor väčšej sily v pylóne, ktorý sa však ale postupne posúva k podpere a teda táto vyššia sila nespôsobuje výrazne väčší nárast kladných ohybových momentov. Sila v pylóne a aj v závesoch musí byť teda regulovaná počas výsunu tak, aby nedošlo k prekročeniu maximálneho povoleného nadpodperového momentu na konzole, ale ani max. povoleného kladného momentu v ďalšom mostnom poli, kde je umiestnený pylón.

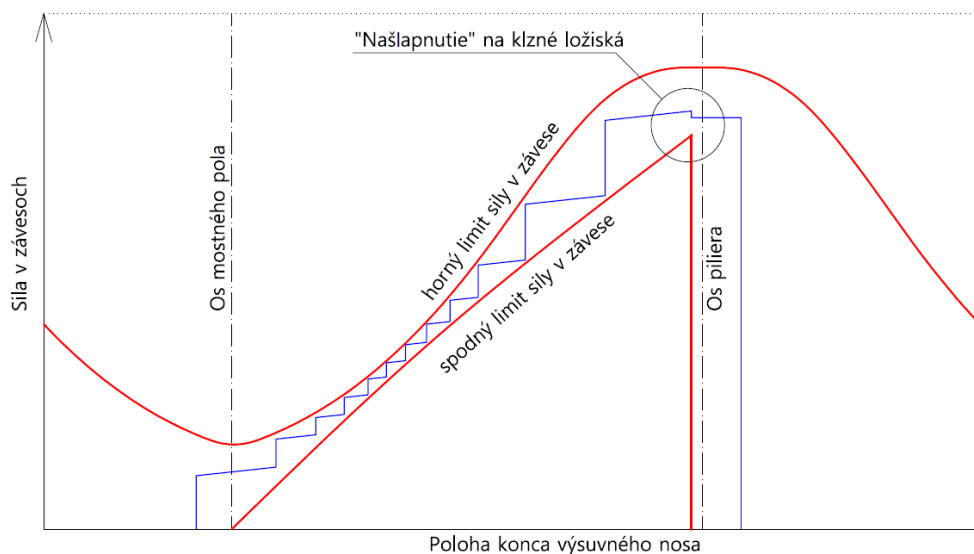


Obr. 93: Výsun mosta s dočasným pylónom

Aby sa predišlo situácii, že most musí stáť v polohe, kedy by musela byť relatívne veľká sila v závesoch, sa pracovné zábery volia tak, že naraz sa vybetónuje segment dĺžky celého mostného poľa. Takéto riešenie ale vyžaduje samozrejme viac miesta za oporou mosta a 2x dlhšiu výrobu ako je to v prípade štandardného riešenia.

Pri správnom návrhu je potom možné pre každé štádium výsunu určiť maximálnu a minimálnu silu v závesoch. Maximálnu, kedy by došlo k preťaženiu mosta kladným ohybovým momentom, a minimálnu, keby došlo k preťaženiu mosta záporným ohybovým

momentom na vysúvanej konzole. Reálna sila sa potom môže pohybovať v rámci týchto dvoch limitných hodnôt a je možné ju meniť po jednotlivých krokoch, podľa polohy mosta počas výsunu (Obr. 94).



Obr. 94: Limitné veľkosti sily v závesoch dočasného pylóna a zmeny sily v závesoch po jednotlivých krokoch podľa aktuálnej fázy výsunu.

V prípade, že by sa čiary horného a spodného limitu sily v závesoch prekrývali, je potrebné pridať viac predpätia do prvých segmentov mosta a tak zvýšiť ich ohybovú kapacitu na kladný aj záporný ohybový moment. Je potrebné, okrem ohybovej kapacity, preveriť aj šmykovú odolnosť mosta.

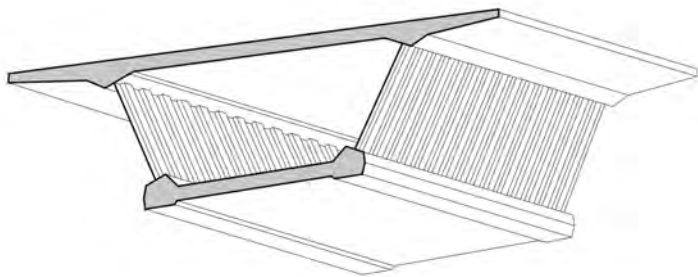
Dĺžka výsuvného nosa sa pri použití dočasného pylóna pohybuje medzi 0,3 až 0,5 z dĺžky mostného poľa. Výška dočasného pylóna (h_p) sa volí v rozmedzí 0,5 až 0,8 z dĺžky mostného poľa od ktorej sa odpočíta dĺžka výsuvného nosa.

$$h_p = 0,5 \sim 0,8 \cdot (L - L_n)$$

Odporúča sa miesto na moste, kde bude uložený dočasný pylón, zosilniť priečnikom.

6.7.4 Vysúvanie betónových mostov so stenami z ohýbaných plechov

Betónové mosty so stenami z ohýbaného plechu (Obr. 95) sú populárne najmä v Japonsku, nakoľko týmto spôsobom je možné znížiť hmotnosť nosnej konštrukcie o približne 15% čo v seizmicky aktívnej oblasti výrazne znižuje namáhanie konštrukcie pri seizmickej udalosti. Znižuje sa tým tiež stále zaťaženie na spodnú stavbu a je možné zredukovať rozsah základových konštrukcií. Využitie ohýbaných plechov tiež výrazne urýchľuje výstavbu, keďže odpadá nutnosť debnenia, vystužovania a betonáže stien.



Obr. 95: Schéma betónového mosta so stenami z ohýbaného plechu

Keďže stena z ohýbaného plechu neprenáša žiadnu horizontálnu osovú silu (správa sa ako stredná časť akordeónu) dochádza k lepšiemu využitiu predpätia spodnej a hornej dosky. Predpínacia sila vnesená do hornej dosky ostáva len v hornej doske a predpínacia sila vnesená do spodnej dosky, ostáva taktiež len v spodnej doske. Vďaka tomu, že predpínacia sila ostáva len v betónových častiach prierezu, ako aj vďaka menšej vlastnej tiaži konštrukcie, je možné oproti alternatíve s betónovými stenami komory ušetriť približne 15 až 20% prepínacích káblov. Ďalšou výhodou tohoto riešenia je, že ak je do hornej dosky komory mosta vnesené predpätím väčšie normálové napätie ako do dolnej dosky, vďaka zanedbateľnej osovej tuhosti steny z ohýbaného plechu nevznikajú na spojitkej konštrukcii žiadne sekundárne ohybové momenty. Podobne, ani rôzna teplota hornej a spodnej dosky komory mosta nevygeneruje žiadne ohybové momenty.

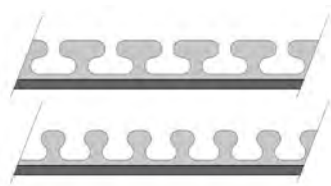
Pri modelovaní mosta so stenami z ohýbaného oceľového plechu sa stena namodeluje z ocele, pričom sa zníži jej modul pružnosti v pozdĺžnom smere mosta. Pre typickú stenu s hrúbkou oceľového plechu 8 mm, uhlom ohýbania plechu 30° a dĺžkou vlny približne 300 mm je vypočítaný efektívny modul pružnosti ocele (podľa [11]) v pozdĺžnom smere mosta len približne 0,13% ($0,0013 \cdot E_s$) z reálneho modulu pružnosti ocele.

Na zabezpečenie dostatočnej torznej tuhosti prierezu, je potrebné zhotoviť priečniky na viacerých miestach a nie len nad podperami a v prípade potreby sa musí lokálne stužiť komora aj diagonálami. Medziľahlé priečniky sa využijú ako deviátory voľne vedených zdvíhaných káblov, ktoré sa zhotovia po dokončení mosta. Stena z ohýbaného plechu, ktorá má pre bežné vysúvané mosty hrúbku 8 až 18 mm, je namáhaná prevažne len šmykovými silami (okrem lokálnych namáhání v tesnej blízkosti styku s betónovými časťami prierezu).

Pre lepšie prerozdelenie šmykových síl, ktoré sú pre návrh stien rozhodujúce, je vhodné deviovať voľne vedené predpínacie káble tak, aby bolo šmykové namáhanie rovnomernejšie – jednotlivé predpínacie káble nedeviovať v rovnakom mieste, ale deviátory jednotlivých káblov rozmiestniť do viacerých miest (Obr. 28, alt. B).

Pri návrhu spôsobu spriahnutia oceľových stien z ohýbaného plechu je potrebné zohľadniť vysužovanie spodnej a hornej dosky komory. Z tohto dôvodu nie je vhodné riešiť spriahnutie plechom s dierami, do ktorých je potom potrebné nastrkávať výstuž. Použitie klasických spriahajúcich tŕňov je vhodné, avšak finančne drahšie. Najvhodnejšou

alternatívou je použitie tzv. hrebeňových spriahovacích pásov (Obr. 96), do ktorých je možné výstuž pomerne ľahko vložiť.



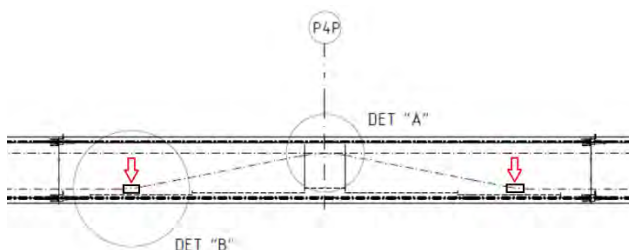
Obr. 96: Hrebeňovité spriahovacie pásy

6.7.5 Zmena geometrie predpínacích káblov po vysunutí mosta.

Koncept zmeny geometrie predpínacích káblov po vysunutí mosta bol použitý pri jednom z prvých vysúvaných mostov vo Venezuele (pozri kapitolu 1). Problémom však bola zložitosť celej operácie, keď sa menila naraz geometria všetkých centrických káblov a z tohto dôvodu sa takéto riešenie prestalo používať.

Nevýhodou samotnej technológie vysúvania je, že všetky prierezy mosta počas vysúvania prechádzajú kladnými aj zápornými ohybovými momentami. Z tohto dôvodu sa navrhuje na štádium výstavby tzv. centrické predpätie (pozri kapitolu 5.1), ktoré je však v definitívnom štádiu menej účinné ako predpätie realizované prostredníctvom deviovaných (zdvíhaných) káblov.

Jednou z možností, ako by bolo možné optimalizovať predpätie je, že sa v rámci centrických káblov nejaká ich časť realizuje v rámci komory ako voľne vedené priame káble situované v blízkosti ťažiska prierezu. Tieto káble sú osadené tak, aby bolo možné po vysunutí mosta zrealizovať zmenu ich geometrie (Obr. 97), čo si vyžaduje mierne úpravy v priečnikoch (det. A na Obr. 97) a prípravu deviátorov (det. B na Obr. 97) do ktorých sa následne zakotvia.



Obr. 97: Zmena geometrie voľne vedených centrických predpínacích káblov po vysunutí mosta. Šípky značia smer presunu priameho kábla do deviátora po vysunutí mosta.

Modifikácia v priečniku (det. A) sa týka vytvorenia priestoru na zmenu geometrie káblov vložením tvarovanej chráničky, ktorá túto zmenu umožní. V mieste kotvenia týchto káblov na priečnikoch je tiež potrebné použiť dočasné podložky tak, aby sa miesto na káblí, ktoré je poškodené pri kotvení kuželíkmi, nedostalo po zmene geometrie káblov pred novú polohu kotvenia.

Deviátor sa zhotoví v dvoch fázach. V prvej sa vyhotoví len jeho spodná časť a následne pri zmene geometrie predpínacieho kábla sa kábel zafixuje pripnutím jeho hornej časti.

Podrobné detaily pre deviátory, resp. priečniky, pre takéto riešenie je možné nájsť napr. v práci ŠVK [12].

Uvedené riešenie so zmenou geometrie časti centrických priamych predpínacích káblov, ktoré je síce o niečo zložitejšie ako štandardné riešenia, môže však ušetriť približne až 10 – 15% predpínacích káblov.



7. ZÁVER

Na Slovensku sa za posledných 15 rokov postavilo 8 betónových estakád technológiou vysúvania, pričom sa použili aj rôzne varianty vysúvania a technológia výsunu betónových mostov sa použila aj na pomerne komplikované mosty s odbočnými vetvami. Preukázalo sa, že technológia výsunu je dnes už dobre zvládnutá a stala sa už štandardnou technológiou pre výstavbu betónových mostov aj na Slovensku a pevne verím, že sa bude ďalej rozvíjať. V tomto smere sa očakáva ďalšia automatizácia výroby (najmä čo sa týka výroby armokošov, aplikácia BIM modelov a počítačom riadený výsun a korekcie geometrie mosta).

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-17-0204 a výskumným projektom VEGA 1/0645/20.

QR kódy na videá z výstavby mostov vysúvaním:

1) Krokovacie zariadenia Svrčinovec; 2) našľapovanie na pilier pri prestavbe Starého mosta v Bratislave; 3) vysúvanie Starého mosta v Bratislave (pri prestavbe), 4) animácia – vysúvanie.



8. Použitá literatúra

- [1] Pauser A.: Massivbrücken, ISBN 3-9501576-0-3, Wien, 2002
- [2] Dahinter K.: První most z předpjatého betonu postavený v ČSSR metodou vysouvání, Inženýrské stavby, číslo 4/1974
- [3] Búci M., Paulík P.: Vysúvaný most v Štrbe – poznatky a skúsenosti z realizácie, in: Betón na Slovensku 2006-2010, ISBN 978-80-8076-082-3, JAGA GROUP, Bratislava, 2010
- [4] Vorschneider R., Pisarčík R., Meřová T., Hurbánek P., Engler V.: Diaľnica D1, Sverepec – Vrtižer 206-02B Mestská estakáda – dilatčný celok 2, in: Betón na Slovensku 2006-2010, ISBN 978-80-8076-082-3, JAGA GROUP, Bratislava, 2010
- [5] Sedlák A., Magyar R., Plácek Ľ.: Most nad Priemyselnou ulicou na rýchlostnej ceste R1 Nitra – Selenec, in: Betón na Slovensku 2006-2010, ISBN 978-80-8076-082-3, JAGA GROUP, Bratislava, 2010
- [6] Meřová T., Šístek M.: Diaľnica D1 Jánovce – Jablonov I. úsek 205-00 Most na diaľnici nad Iľašovským potokom, in: Inžinierske stavby, číslo 6/2013, ISSN: 1335-0846
- [7] Chalupec A., Kročka J., Ondroš M.: Estakáda v Dolnom Hričove na diaľnici D1 Hričovské Podhradie – Lietavská lúčka v km 24,740, in: Betón na Slovensku 2014-2018, ISBN 978-80-8200-019-4, IRIS, Bratislava, 2018
- [8] Hanuš F. a kol.: Most 213 na diaľnici D1 v úseku Hubová – Ivachnová v km 8,214 – 8,969, in: Betón na Slovensku 2014-2018, ISBN 978-80-8200-019-4, IRIS, Bratislava, 2018
- [9] Búci M., Kvasnička V.: Diaľnica D3 Svrčinovec – Skalité SO-237-10 most na diaľnici v križovatke Svrčinovec nad traťou ŽSR, Šlahorovým potokom a cestou I/11 v km 21,780 – 22,220, in: Betón na Slovensku 2014-2018, ISBN 978-80-8200-019-4, IRIS, Bratislava, 2018
- [10] Búci M., Paulík P., Sermet M.: Vysúvaný most pri Prešove: problematika návrhu technológie vysúvania s ohľadom na sily vyvolené trením na klzných ložiskách, in: Betonárske dni 2018, ISBN 978-80-227-4852-0, Bratislava, 2018.
- [11] Rosignoli M.: Bridge Launching, ICE Publishing, ISBN 978-0-7277-5997-9, London, 2014
- [12] Majerčík J., Kohút M.: Neštandardné alternatívne riešenia mostného objektu Svrčinovec – Skalité, ŠVOČ, Stavebná fakulta, STU Bratislava, 2016
- [14] Josef C. Taylor, John F. Stanton: Friction coefficients for stainless steel (PTFE) Teflon Bearings, final research project ID 0092-08-13 (WHRP 10-01), University of Washington, USA, 2010.
- [15] fib Bulletin 33: Durability of post-tensioning tendons, ISBN 2-88394-073-8, Lausanne, Švajčiarsko, 2005

[16] American Association of State Highway (AASHTO): Standard Specifications for Highway Bridges and Incidental Structures, ISBN 978-1-56051-523-4, Washington, USA, 2012.

[17] PTFE Gleitpaten. HEBETEC, Švajčiarsko.

9. Použité symboly a značky

B	celková šírka nosnej konštrukcie
c	šírka priečnika
E_n	modul pružnosti materiálu z ktorého je zhotovený výsuvný nos (väčšinou ocel)
E_c	modul pružnosti betónu budovaného mosta
E_s	modul pružnosti ocele
H	výška prierezu
H_x	Horizontálna sila na klznom ložisku vznikajúca vektorovým rozkladom vertikálnej reakcie R_y
H_x'	Sila v smere pozdĺžneho sklonu mosta vznikajúca vektorovým rozkladom vertikálnej reakcie R_y
h_p	výška dočasného pylóna
e_p	excentricita na pilieri spôsobená nevložením klznej platne medzi hornú platňu klzného ložiska a konštrukciu mosta
e_L	excentricita klzného ložiska vzhľadom k osi trámu komory mosta
g_n	priemerná vlastná tiaž výsuvného nosa na meter dĺžky
g_c	priemerná vlastná tiaž budovaného betónového mosta na meter dĺžky
I_n	priemerný moment zotrvačnosti prierezu výsuvného nosa
I_c	priemerný moment zotrvačnosti prierezu budovaného betónového mosta
L	najväčšie rozpätie mosta
L_n	dĺžka výsuvného nosa
L_v	rozpätie medzi podperami pri vysúvaní (rozpätie mosta, resp. vzdialenosť medzi dočasnými piliermi).
M	Nadpodperový ohybový moment na moste za výsuvným nosom v okamihu, keď sa počas vysúvania blíži betónový krajný priečnik k ďalšiemu pilieru (obr. 23 – fáza 2)
M_a	Nadpodperový ohybový moment na spojitostnej konštrukcii
R_y	Veľkosť vertikálnej reakcie na ložisku
R_y'	Priemet vektora vertikálnej reakcie v mieste klzného ložiska do kolmej roviny vzhľadom na pozdĺžny sklon mosta
t_w	hrúbka steny komory mosta
t_h	hrúbka hornej dosky
t_d	hrúbka spodnej dosky
α	Pozdĺžny sklon mosta v mieste klzného ložiska

10. Vecný register

- armokoše, 51, 52
bezpečnostné opatrenia, 1, 66
bočné vedenie, 1, 37, 59, 61, 62
brzdny blok, 15
Búci Matúš, 2, 6, 75
centrické predpätie, 12, 22, 68, 73, 74
debnenie, 20, 25, 46, 48, 49, 50
definitívne klzné ložisko, 64
deviátor, 25, 73
dlhá dráha, 58
dočasné masívne podpery, 8
dočasný pylón, 69, 71, 76
dočasný pilier, 9, 37, 54, 68, 69
dvojfázová výrobná, 68
elastomér, 59
excentricita na pilieri, 34
geodetická kontrola, 48
geodetické sledovanie, 54, 67
hydraulické ťažné lisy, 13, 14, 43, 44, 56
Hydraulické zariadenie, 37
hydraulická sústava, 26
injektáž, 25, 48
káble
 predpínacie, 4, 18, 22, 23, 24, 25, 51, 68, 72, 73
káblové kanáliky, 52
kapacita lisov, 1, 33
klzné ložiská, 4, 5, 32, 34, 35, 37, 39, 41, 42, 54, 55, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 68
Kotvenie dočasných pilierov, 69
koťvy
 predpínacích lán, 40
krátka dráha, 55, 56, 57
krokovacie zariadenie, 7, 13
krútiace momenty, 24, 31, 37
monitorovanie, 67
nadpodperový ohybový moment
 pri vysúvaní mosta, 21, 27, 28, 29, 30
namáhanie opory, 36
napojenie výsuvného nosa, 39
našľapovanie, 38
navádzacie klapky, 38
ocelové ťažné laná, 44, 45
ocelové ťažné nosníky, 44
ohybové momenty, 21, 22, 27, 29, 30, 68, 72
opora, 10, 13, 15, 16, 36, 41, 44, 54
optimalizácia dĺžky a tuhosti výsuvného nosa, 27
paralelné mosty, 53, 64, 68
pilier, 10, 23, 24, 34, 35, 38, 39, 54, 60, 64, 65, 66, 67, 68, 69
Podvesená lávka
 výmena ložísk, 66
poly-tetraflóretylén (PTFE), 3, 31, 32, 33
polygonálne káble, 24
pomocný pilier, 54, 55
pozdĺžny sklon, 7, 13, 33, 59, 76
pracovné škáry, 1, 12, 27
predpínacie káble, 4, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 51, 52, 55, 59, 72
predpínacie laná, 25, 49
predpínacie tyče, 39, 54
predpínanie káblov, 48
presun debnenia hornej dosky, 50
priechy rez, 1, 17, 24, 55
priechnik, 13, 19, 20, 41, 45
PTFE platne, 31, 32, 33
rozpätia mosta, 27
rýchlosť posunu, 31, 33
spojkovanie predpínacích káblov, 54
statické riešenie, 1, 21, 27
steny z ohýbaných plechov, 71
Stuženie trámov
 výsuvný nos, 31
sústava horizontálneho a vertikálneho lisu, 1, 13, 15, 45
šmyk, 26
šmyková zarážka, 41
štádium výstavby, 12, 22, 23, 73
ťažný lis, 13, 14, 43, 44, 56
teflón, 3
teflónová platňa, 31, 61
trenie, 1, 3, 5, 13, 16, 23, 31, 32, 33, 34, 36, 44, 59, 60, 63
triedy betónu, 1, 26
vazelína, 31, 32
vektorový rozklad síl, 63
vyhrievaná výrobná, 53
výmena ložísk, 1, 24, 26, 35, 65, 63, 64, 65, 66

Výrobňa, 1, 4, 7, 10, 12, 16, 27, 37, 46,
47, 49, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 61,
68, 70

Vystužovanie, 48, 49

Vysúvanie segmentu, 48

výsuvný nos, 1, 3, 5, 16, 21, 27, 28, 29,
30, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 60, 62, 63,
68, 69, 71, 76

Vyváženie reakcií, 1, 26



**RÝCHLOSTNÉ CESTY ●
ŽELEZNICE ● DIAĽNICE ●
TUNELY ● MOSTY**

DOPRAVOPROJEKT, a.s.
najväčšia projektová,
konzultačno-inžinierska
spoločnosť na Slovensku
v oblasti dopravných
stavieb so 70 ročnou tradíciou

DOPRAVOPROJEKT, a.s.
Kominárska 2, 4, 832 03 Bratislava
www.dopravoprojekt.sk

POSKYTUJEME:

- projektové práce
- konzultačné služby
- expertízne a poradenské služby
- stavebný dozor
- geotechnické a environmentálne projekty
- inžiniersku činnosť
a majetkovoprávne vysporiadanie



doprastav

TRADÍCIA | KVALITA | PROFESIONALITA



Doprastav, a.s.

Drieňová 27

826 56 Bratislava

www.doprastav.sk



DIAĽNICE

MOSTY

CESTY

ŽELEZNICE

TUNELY

LETISKÁ

POZEMNÉ STAVBY

PRIEMYSELNÉ STAVBY

VODOHOSPODÁRSKE STAVBY

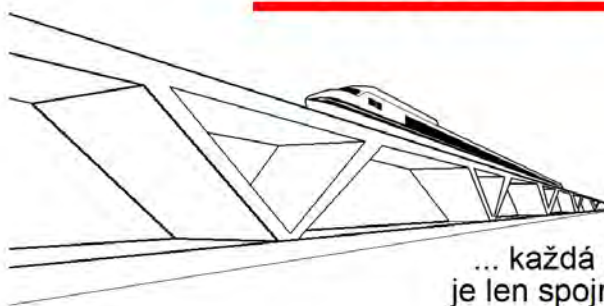




**Tradícia, kvalita,
inovatívne postupy**

www.vahostav-sk.sk

PROPONTI



- Projekcia
- Poradenstvo
- Technológie

... každá cesta, aj našim životom,
je len spojnica medzi **mostami** ...

Ponúkame dodanie projektu a celej technológie pre:

- Inovatívne riešenia zhotovovania a rekonštrukcie mostov (vysúvanie mostov, priečny posun, sklápanie, otáčanie, ...).
- Presuny veľmi ťažkých konštrukčných prvkov ako napr. generátory elektrární, turbíny a pod.
- Synchronizované zdvíhanie hydraulickými lisami pre rôzne konštrukcie zhotovené na zemi a ich presun do výslednej polohy (strechy štadiónov, vodojemy a pod.).

Poradenstvo a podpora pri aplikáciách FRP výstuží, sprostredkovanie dodávky GFRP výstuží. Technická podpora, expertízna činnosť pre aplikáciu nekovových výstuží.

Diagnostika mostov a konštrukcií, zaťažovacie skúšky, 3D zameranie konštrukcií 3D skenerom, prehliadky konštrukcií a mostov s využitím dronov, ako aj výškové práce zaškolenými horolezcami (diagnostika, menšie sanácie).

doc. Ing. Peter Paulík, PhD.

mobil: +421 903 585 663

mail: proponti@proponti.sk

www.proponti.sk

