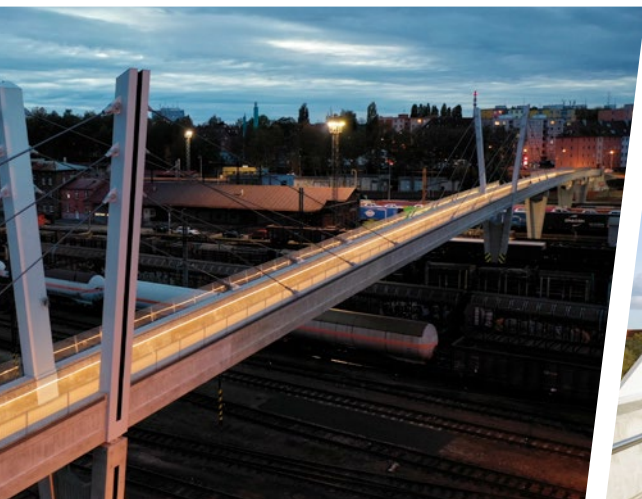
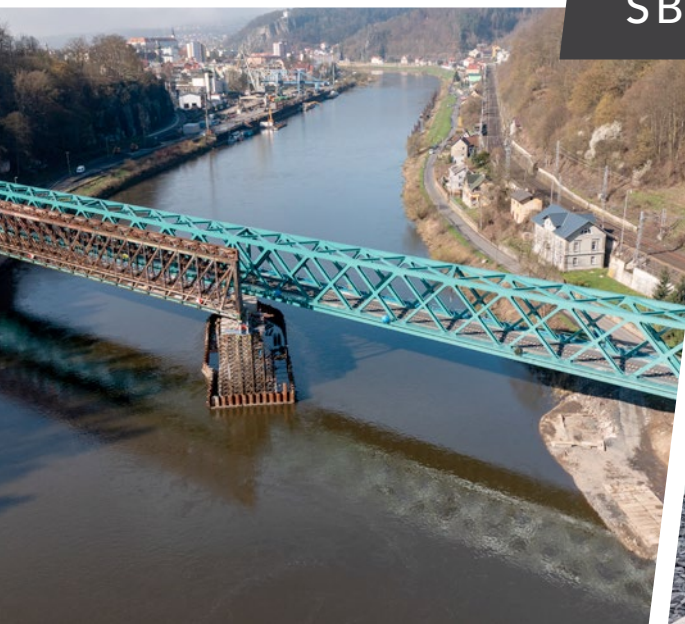


MOSTY
30 *let* 2025

30 MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM
MOSTY/BRIDGES 2025

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ



GENERÁLNÍ PARTNER SYMPOZIA

VÍTKOVICE | STEEL

PARTNER ROKU 2025



HLAVNÍ PARTNEŘI SYMPOZIA



MOTTO SYMPOZIA

MOSTY – STAVBY SPOJUJÍCÍ NÁRODY A GENERACE

SBORNÍK PŘÍSPĚVKŮ

30. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM

MOSTY/BRIDGES 2025

KONANÉ POD ZÁŠTITOU MINISTERSTVA DOPRAVY,
STÁTNÍHO FONDU DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY,
ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR, ŘEDITELSTVÍ VODNÍCH CEST ČR,
SPRÁVY ŽELEZNIC, STÁTNÍ ORGANIZACE
MĚSTA BRNA a SVAZU PODNIKATELŮ VE STAVEBNICTVÍ



Ministerstvo dopravy



24. – 25. dubna 2025
COURTYARD BY MARRIOTT BRNO
ČESKÁ REPUBLIKA



HLAVNÍ MEDIÁLNÍ PARTNER



MEDIÁLNÍ PARTNEŘI

KONSTRUKCE



ISBN 978-80-86604-94-7

OKRUH III. **Mosty v ČR – věda a výzkum**



VYBRANÉ PROBLÉMY PŘI ANALÝZE A MODELOVÁNÍ VÝSUVNÉHO NOSU

Ing. Petr Nečesal

PIS PECHAL, s.r.o.

Tel. 737 326 407, E-mail: necesal@pechal.cz

Ing. David Marván

PIS PECHAL, s.r.o.

Tel. 776 864 229, E-mail: marvan@pechal.cz

Ing. Eliška Kafková

Dlupal Software s.r.o.

Tel.: 737 840 655, E-mail: Eliska.Kafkova@dlupal.com

Příspěvek se zabývá návrhem ocelového výsuvného nosu navrženého pro podélný výsun betonové komory mostní estakády na dálnici D35. Kromě popisu samotné nosné konstrukce výsuvného nosu je článek zaměřen na vybrané problémy při tvorbě výpočetního modelu a následné analýze jejího chování. Podrobněji příspěvek rozebírá stabilitní analýzu tlačенého horního pasu a stěny nosníku, geometricky nelineární výpočet s počáteční imperfekcí stěny a pružnoplastickou analýzu kotevní oblasti.

SELECTED ISSUES IN THE ANALYSIS AND MODELING OF THE LAUNCHING NOSE

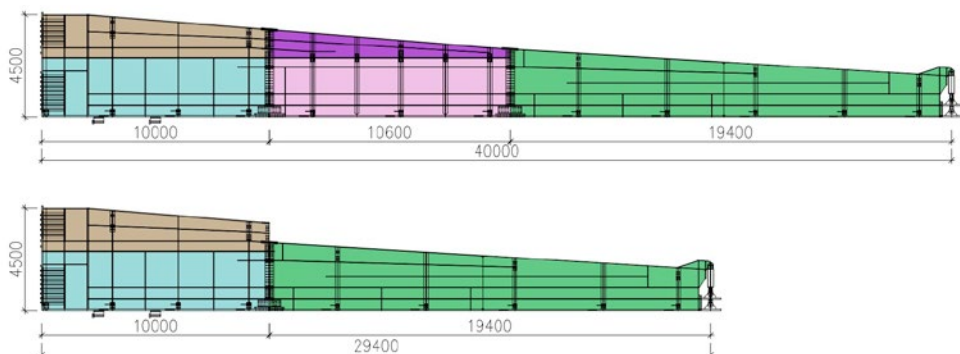
The paper deals with the design of a steel launching nose intended for longitudinal launching of the concrete chamber of a bridge overpass on the D35 motorway. In addition to the description of the structure itself, the paper focuses on selected challenges in the development of the computational model and subsequent analysis of its behavior. More specifically, the paper discusses the stability analysis of the compressed top flange and the girder wall, a geometrically nonlinear calculation considering initial wall imperfection and the elastoplastic analysis of the anchorage region.

1. ÚVOD

Na budované dálnici D35 se nachází objekt SO 08-205, který převádí dálnici D35 přes stávající komunikaci I/35 a Mikulečský potok u obce Opatovec. Nosnou konstrukci tvoří betonový komorový průřez a výstavba je prováděna technologií podélného výsunu. Jelikož jsou rozpětí polí až 62 m, bylo nutno pro zvolenou technologii výstavby navrhnout ocelový výsuvný nos.

2. POPIS KONSTRUKCE VÝSUVNÉHO NOSU

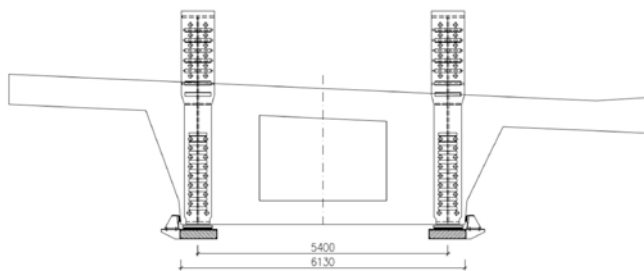
Ocelový výsuvný krakorec je navržen na konkrétní stavbu se zohledněním možného následného používání na stavbách podobného rázu. Konstrukce byla projektována tak, aby byly v budoucnu možné rozměrové variace (např. zkrácení výsuvného nosu vynecháním středního dílce). Výsuvný nos je uzpůsoben pro připínání k betonovému průřezu pomocí předpínacích tyčí.



Obr. 1 Podélný řez krakorce – plná a zkrácená varianta

Výsuvný nos je tvořen dvěma hlavními nosníky (levý a pravý), ztužením a obslužnou lávkou. Levý i pravý nosník je tvarově shodný – liší se pouze zrcadlově. Nosník je tvořen nesymetrickým svařovaným I-průřezem proměnné výšky od 4,5 m do 1,8 m. Stěny průřezu jsou z vnitřní strany vyztuženy systémem příčných a podélných výtuh. Každý nosník je sestaven z pěti montážních dílců, které jsou vzájemně spojeny šroubovými spoji. Výsuvný nos je navržen tak, aby mohl být střední díl vynechán a tím dojde ke zkrácení délky krakorce o cca 10,5 m – viz obrázek č. 1.

Hlavní nosníky jsou k betonovému průřezu připnuty pomocí předpínacích tyčí – viz obrázek č. 2. Maximální dimenze, na kterou je kotvení navrženo, je tyč 47WR (uvažovaná síla v jedné tyči je 1567 kN). Maximální počet tyčí pro připnutí jednoho nosníku je 30 ks.



Obr. 2 Kotvení krakorce do betonového průřezu komorového mostu

Oba hlavní nosníky jsou vzájemně propojeny prostorovým ztužením – viz obrázek č. 3. To je tvořeno podélným vodorovným ztužidlem umístěným u dolní pásnice nosníku a příčnými vazbami rozmístěnými po vzdálenosti 6 až 7,8 m. Podélné vodorovné ztužidlo zajišťuje tuhost konstrukce v příčném směru (při působení větru a bočních impulsů) a díky polopříčkové soustavě nedochází ke spolupůsobení ztužidla s hlavními nosníky při svislém namáhání. Příčné vazby pak stabilizují tlacený horní pás hlavního nosníku a zajišťují celkovou prostorovou tuhost konstrukce. Ztužení je členěno a spojováno šroubovými přípoji pro snadnější úpravy v případě použití při jiné osové rozteči hlavních nosníků krakorce.



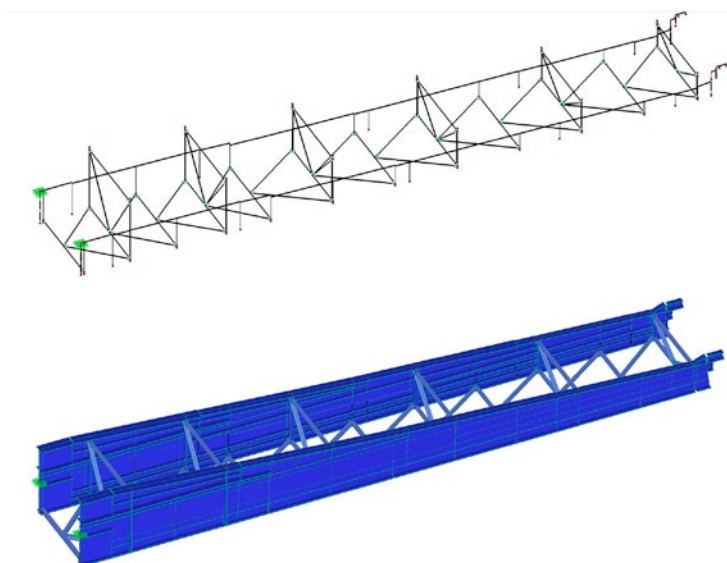
Obr. 3 Prostorové ztužení

Pro umožnění přístupu na konec výsuvného nosu při samotném výsunu je v celé jeho délce navržena ocelová obslužná lávka. Průhyb krakorce při výsunu je možné vyrovnat pomocí dvojice synchronizovaných lisů, které jsou umístěny na jeho čele.

3. VÝPOČTOVÉ MODELÝ

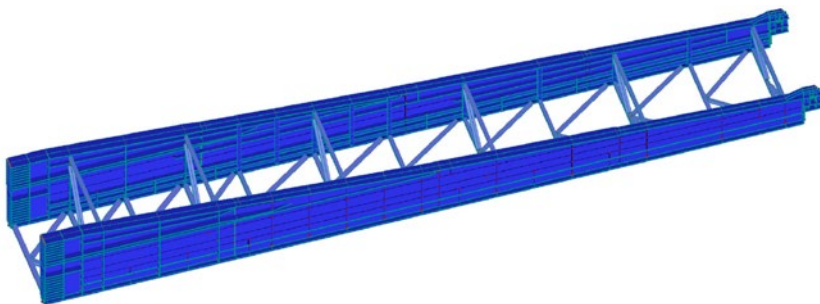
Pro analýzu konstrukce bylo vytvořeno několik výpočtových modelů, všechny ve výpočtovém programu RFEM 5 od společnosti Dlubal software s.r.o.

Pro základní analýzu konstrukce byl vytvořen prostorový prutový model – viz obrázek č. 4. Všechny části konstrukce (nosník výsuvného nosu, příčná a podélná ztužidla) jsou tvořeny pruty. Členitý průřez výsuvného nosu je vytvořen v samostatném programu SHAPE-THIN 8 a zohledňuje všechny podélné výztuhy a proměnnou výšku nosníku. Ztužidla jsou připojena k nosníku pomocí tuhých vazeb. Oba nosníky jsou bodově podepřeny (vetknuty) na začátku výsuvného nosu, v místě připojení k čelu komorového průřezu mostu. Z modelu jsou získány celkové vnitřní síly na nosníku. Tento model je dále v textu označován jako výpočtový model 1.



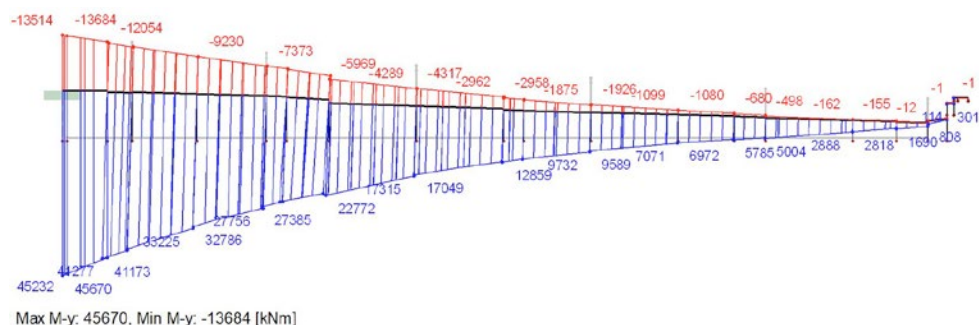
Obr. 4 Prutový výpočtový model 1 – osové schéma a axonometrie

Pro podrobnější analýzu konstrukce byl vytvořen prostorový stěno-prutový model – viz obrázek č. 5. Stěna nosníku je modelována stěnou, všechny ostatní části konstrukce (horní a dolní pásnice, příčné a podélné výztuhy nosníku, příčná a podélná ztužidla) jsou modelovány pruty. Ztužidla jsou připojena k nosníku pomocí tuhých vazeb. Oba nosníky jsou liniově podepřeny (vetknuty) na začátku výsvuného nosu, v místě připojení k čelu komorového průřezu mostu. Na modelu byly řešeny veškeré stabilitní problémy a prováděny zpřesňující nelineární výpočty. Tento model je dále v textu označován jako výpočtový model 2.

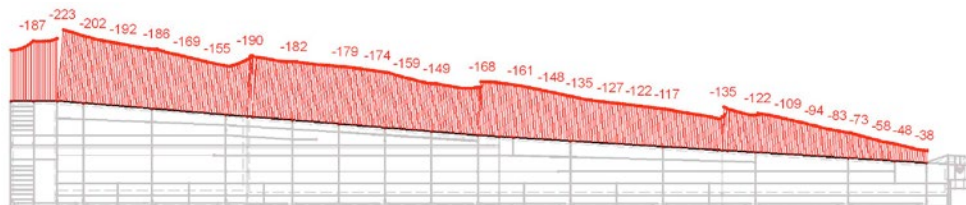


Obr. 5 Stěno-prutový výpočtový model 2 - axonometrie

Ze statické analýzy vyplynulo, že rozhodující namáhání hlavního nosníku nastává při působení svislého kladného ohybového momentu, tedy po najetí čela výsvuného nosu na stolicí. Namáhání svislým záporným ohybovým momentem, tedy stav před najetím výsvuného nosu na stolicí, o dimenzích konstrukce nerozhoduje. Tuto skutečnost dokládá obálka návrhových ohybových momentů od rozhodujících kombinací zatížení na obrázku č. 6. Z něj vyplývá, že ve všech řezech hlavního nosníku dosahují hodnoty kladného ohybového momentu výrazně větší hodnoty, než absolutní hodnoty záporného ohybového momentu.



Obr. 6 Obálka svislých ohybových momentů M_y na hlavním nosníku od rozhodujících kombinací zatížení



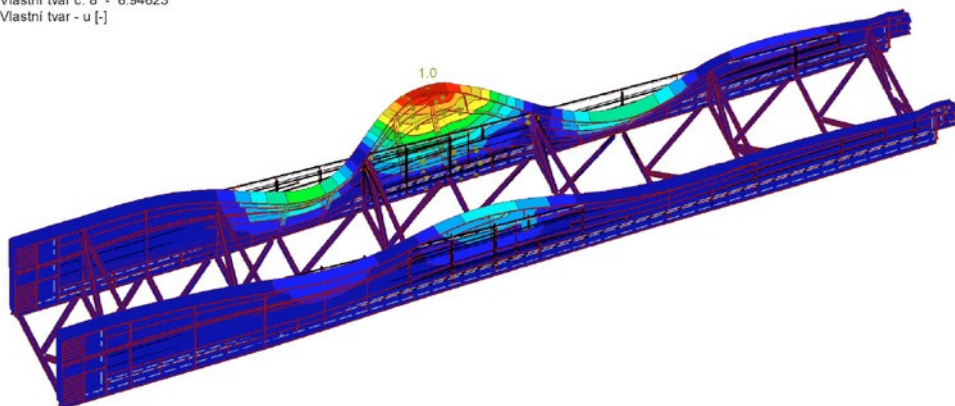
Obr. 7 Průběh normálových tlakových napětí v HP od obálky rozhodujících kombinací

4. STABILITNÍ ANALÝZA A NELINEÁRNÍ VÝPOČET TLAČENÉHO HORNÍHO PASU (HP) NOSNÍKU

Při namáhání nosníku svislým kladným ohybovým momentem je HP tlačena a její stabilitu zajišťují příčná svislá ztužidla. Průběh normálových tlakových napětí v HP od obálky rozhodujících kombinací dokládá obrázek č. 7. Pro rozhodující kombinace zatížení byl proveden stabilitní výpočet a stanoven kritický tvar vybočení HP. Následně byl proveden nelineární výpočet pro tytéž kombinace s načtením počáteční imperfekce ve tvaru vybočení konstrukce ze stabilitního výpočtu. Zvýšené hodnoty namáhání z nelineárního výpočtu byly následně srovnány s hodnotami lineárního výpočtu. Tímto způsobem byla konstrukce analyzována v každém modulu, tj. vždy mezi sousedními příčnými svislými ztužidly. Velikost počátečních imperfekcí horního pasu byla stanovena dle tabulky 5.1 ČSN EN 1993-1-1.

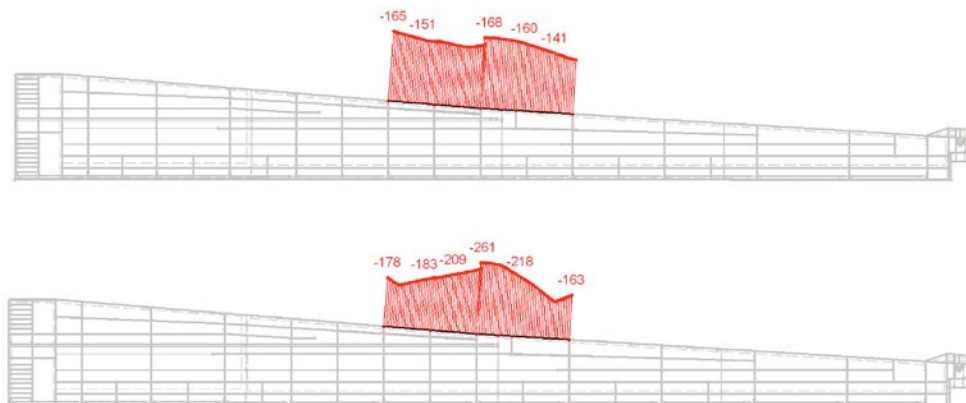
RF-STABILITY PŘ16
Vlastní tvar č. 8 - 6.94623
Vlastní tvar - u [-]

Izometrie



Obr. 8 Kritický tvar vybočení konstrukce ve 3. modulu

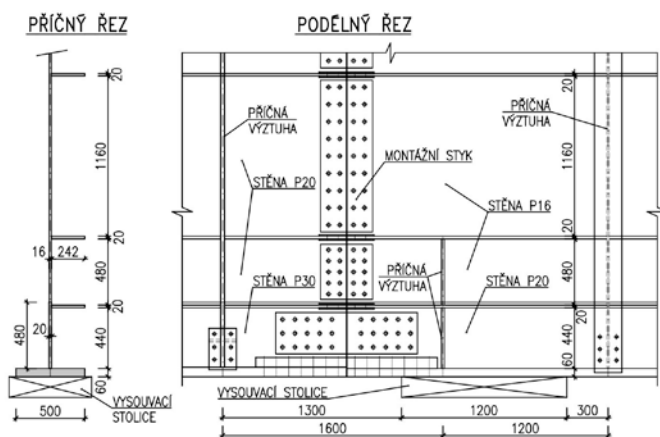
Největší namáhání HP nastává ve 3. modulu. Kritický tvar vybočení konstrukce ze stabilitního výpočtu je na obrázku č. 8. Srovnání normálových tlakových napětí v HP při lineárním a nelineárním výpočtu dokládá obrázek č. 9. Z něj vyplývá, že nárůst normálových napětí v místě největšího vybočení je z hodnoty $\sigma = -168$ MPa na hodnotu $\sigma = -261$ MPa.



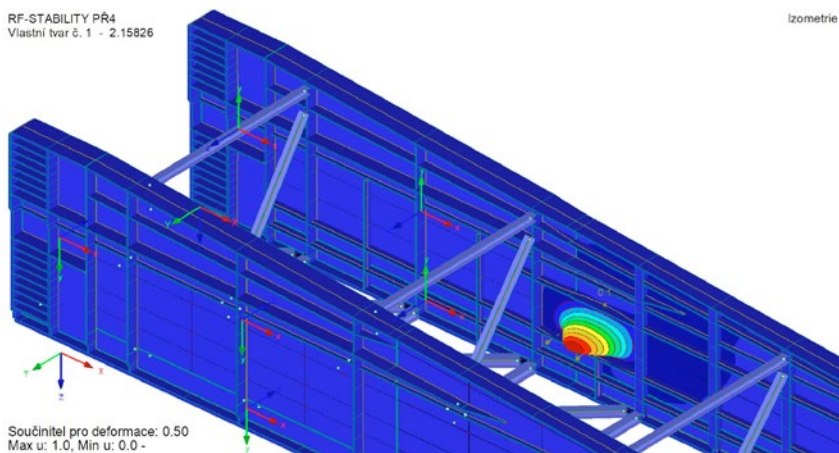
Obr. 9 Srovnání normálových tlakových napětí v HP při lineárním (horní) a nelineárním (dolní) výpočtu ve 3. modulu

5. POSOUZENÍ STOJINY NOSNÍKU PŘI ZATÍŽENÍ LOKÁLNÍM BŘEEMENEM – VYSOUVACÍ STOLICÍ

Další problém, na který zaměříme pozornost je stanovení únosnosti stěny nad dolní pásnicí nosníku při namáhání tlakovou silou vyvozenou vysouvací stolicí. Pro diskretní místa byly provedeny standardní posudky dle normy ČSN EN 1993-1-5 kap. 6. Tyto posudky však nezohledňovaly změnu tloušťky stěny po výšce průřezu (v dolní části je stěna na výšku 480 mm zesílena) a skutečnost, že některé příčné výztuhy nejsou provedeny na celou výšku průřezu – viz obrázek č.10. Proto bylo přistoupeno k přesnějšímu nelineárnímu výpočtu a bylo postupováno obdobným způsobem jako v případě tlacového HP. Pro rozhodující kombinace zatížení byl proveden stabilitní výpočet a stanoven kritický tvar vybočení tlacové stěny. Následně byl proveden nelineární výpočet pro tytéž kombinace s načtením počáteční imperfekce ve tvaru vybočení stěny ze stabilitního výpočtu. Velikost počátečních imperfekcí byla stanovena dle tabulky C.2 a obrázku C.1 v ČSN EN 1993-1-5 příloha C.

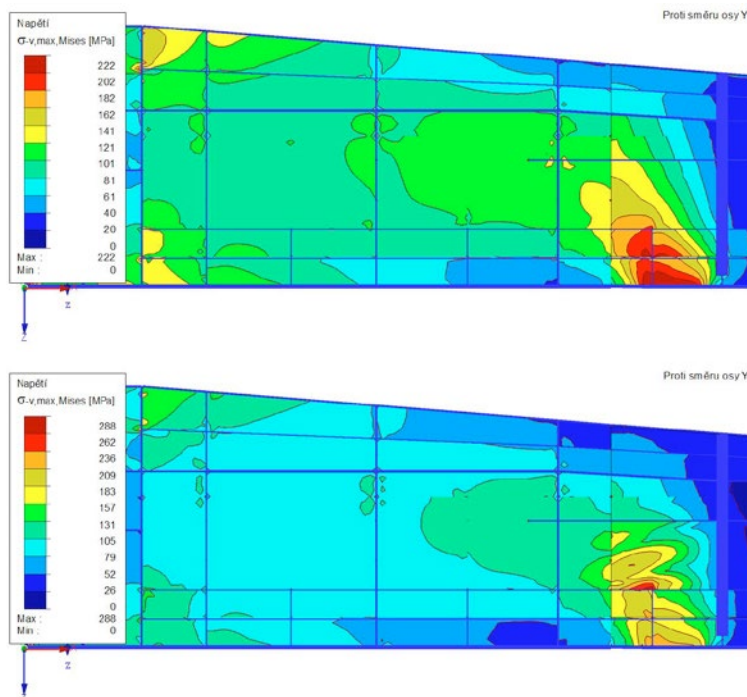


Obr. 10 Vyztužení stěny nosníku v pozici vysouvací stolic 11 m od začátku výsuvného nosu



Obr. 11 Kritický tvar vybočení stěny při působení vysouvací stolic ve vzdálenosti 11 m od začátku nosníku

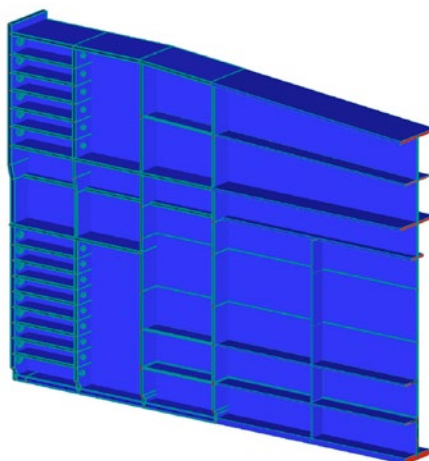
Největší namáhání stěny nastává ve vzdálenosti 11 m od začátku nosníku (od místa vetknutí výsuvného nosu do mostu). Kritický tvar vybočení konstrukce ze stabilitního výpočtu je na obrázku č. 11. Porovnání srovnávacích napětí ve stěně nosníku při lineárním a nelineárním výpočtu dokládá obrázek č. 12. Z něj vyplývá, že nárůst srovnávacích napětí v místě největšího namáhání je z hodnoty $\sigma_s = 222$ MPa na hodnotu $\sigma_s = 288$ MPa.



Obr. 12 Porovnání srovnávacích napětí ve stěně při lineárním (horní) a nelineárním (dolní) výpočtu

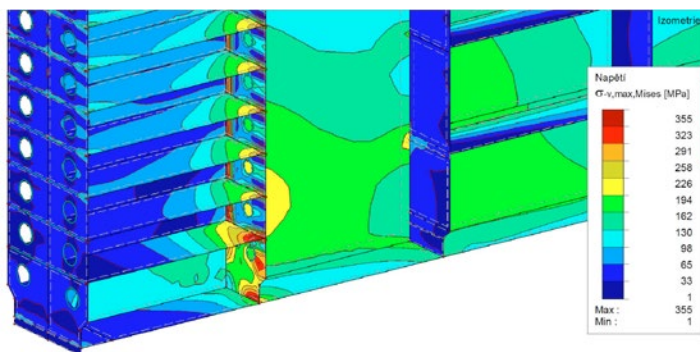
6. PRUŽNOPLASTICKÉ POSOUZENÍ KOTEVNÍ OBLASTI

Téměř na každé ocelové konstrukci lze nalézt místa zvýšeného namáhání, kde lokální špičky napětí přesahují návrhovou mez kluzu oceli. Těmito místy zpravidla bývají podporové oblasti s velkou koncentrací tlakových sil. Obdobně na výsvnném nose lze očekávat zvýšené namáhání v místě zakotvení nosníku do betonového průřezu mostu. V těchto místech je nutné roznést velké síly z předpínacích tyčí přes kotevní desky do koncového ocelového svařence a následně do betonového průřezu mostu.

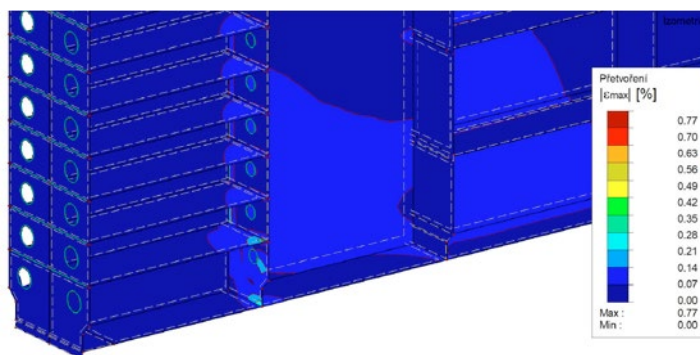


Obr. 13 Výpočtový model kotevní oblasti

Pro posouzení kotevní oblasti byl vytvořen samostatný prostorový plně deskostěnnový model – viz obrázek č. 13. Tento model byl zatížen maximálními předpínacími silami a návrhovou kombinací vnitřních sil působících na začátku hlavního nosníku. V první kroku byl proveden výpočet s lineárně elastickým materiálem, ale protože špičky srovnávacích napětí v lokálních oblastech výrazně přesahovaly návrhovou mez kluzu bylo přistoupeno k nelineárnímu výpočtu s pružnoplastickým materiálem – viz obrázek č.14. Následně bylo posouzeno kritérium pro maximální poměrná přetvoření $\epsilon = 0,77\%$ $< 5\%$ $\Rightarrow$ **VYHOVUJE**. Rozdělení poměrných přetvoření je zachyceno na obrázku č.15.



Obr. 14 Srovnávací napětí v dolní části kotevní oblasti při nelineárním výpočtu



Obr. 15 Maximální poměrná přetvoření v dolní části kotevní oblasti při nelineárním výpočtu

7. ZÁVĚR

Stabilitní analýza spolu s geometricky nelineárním výpočtem umožnila přesnější posouzení konstrukce a dovolila analyzovat nestandardní případy, které nejsou normou pokryty. Zavedení pružnoplastického materiálu do deskostěnnového výpočtového modelu pak umožňuje bezpečné posouzení detailů s velkou koncentrací napětí.

INZERCE



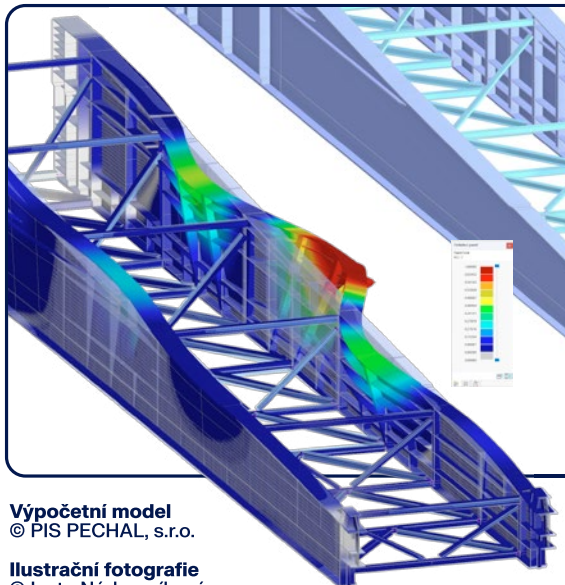
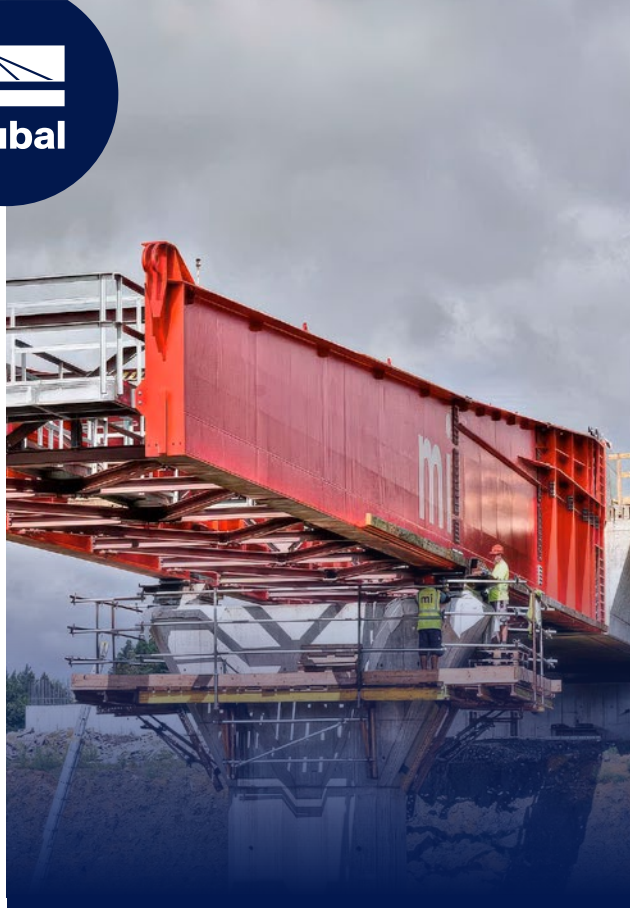
Dlubal Software



Software pro navrhování a statické výpočty konstrukcí

Dlubal Software je stabilní a dynamická společnost zaměřená na vývoj špičkových softwarových řešení pro statické výpočty a modelování konstrukcí. S důrazem na inovace, preciznost a uživatelskou přívětivost podporujeme inženýry po celém světě při realizaci jejich projektů – od návrhu až po analýzu a optimalizaci.

Přidejte se k nám a buďte součástí týmu, který tvoří budoucnost stavebního inženýrství!



Výpočetní model
© PIS PECHAL, s.r.o.

Ilustrační fotografie
© Iveta Nádvořníková

**Jediný MKP program,
který potřebujete pro
svůj návrh**



RFEM⁶



**Zkušební
verze
zdarma
90 dní**

www.dlubal.com