

HAVÁRIE A REKONSTRUKCE POTRUBNÍHO MOSTU VALTÍŘOV

Ing. Jan Štolc, CSc., EXCON a. s.

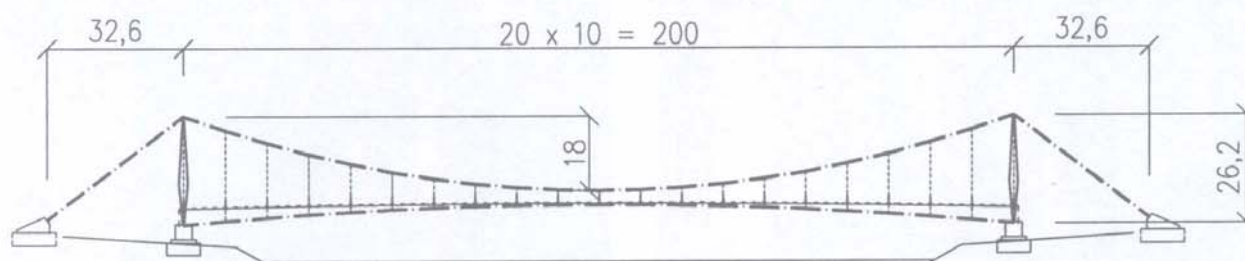
V článku autor shrnuje své zkušenosti z práce na projektu rekonstrukce významného lanového potrubního mostu přes řeku Labe, poškozeného při povodni v srpnu r. 2002.

Úvod

Potrubní most přes Labe převádí plynové potrubí na vzdálenost 200 metrů přes řeku v úseku Ústí nad Labem - Děčín, mezi obcemi Valtířov (na pravém břehu) a Neštěmice. Základním nosným prvkem je hlavní zdvojené lano, doplněné dvojicí šikmých vypínacích lan, která udržují systém příčníků a lávek mezi nimi ve správné poloze. Lana jsou kotvena na obou březích přes charakteristické třiramenné rozpěry, které tvoří výraznou dominantu celé konstrukce (viz obr. 1 a 2).



Obr. 1: Celkový pohled na most po havárii

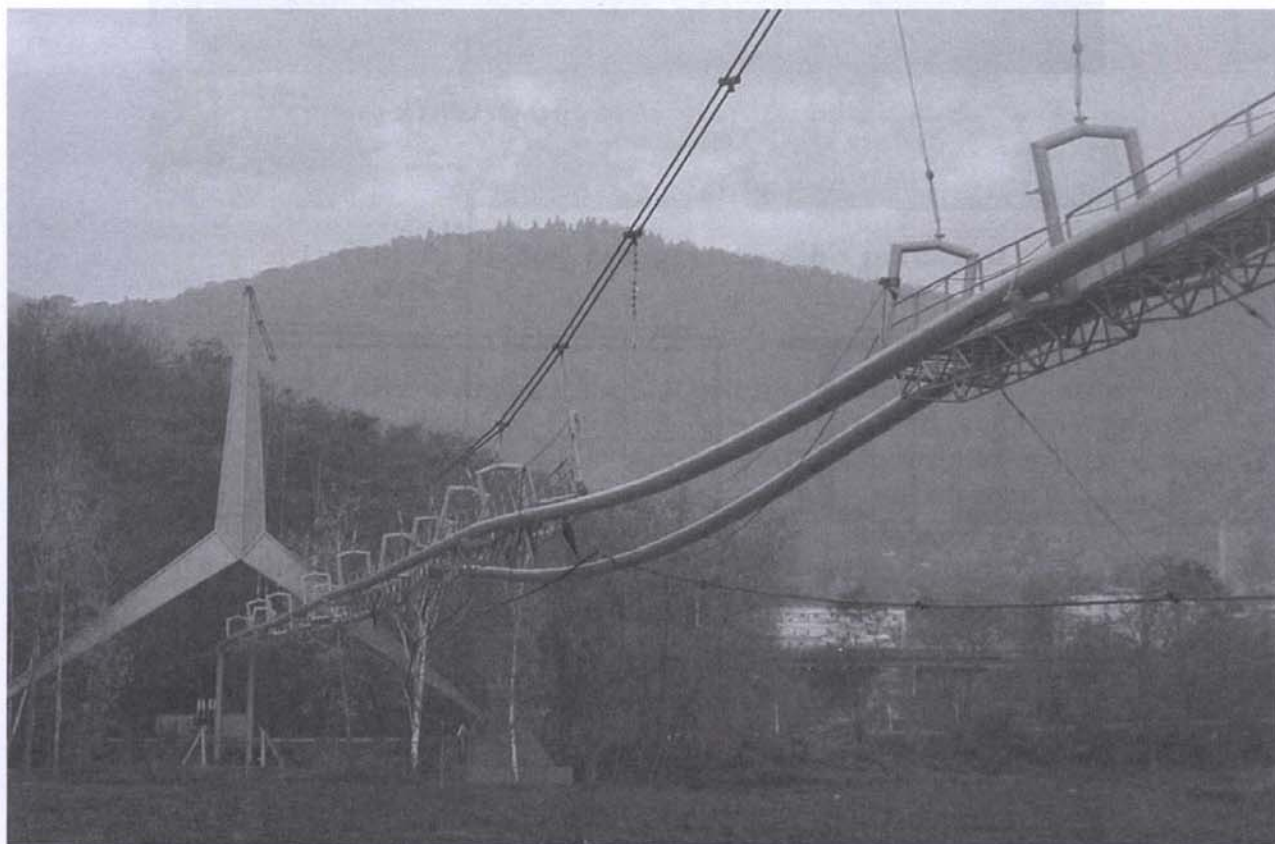


Obr. 2: dispozice mostu (rozměry v metrech)

Příčnický mají tvar uzavřeného rámu s oboustranně vykonzolovanou spodní příčí, nesoucí potrubí. Každý z nich visí na samostatném závěsu, spuštěném z horního lana a je vypínacími lanky fixován k hlavním vypínacím lanům. Příčnický jsou vzájemně propojeny desetimetrovými nosníky podélné lávky.

Havárie mostu

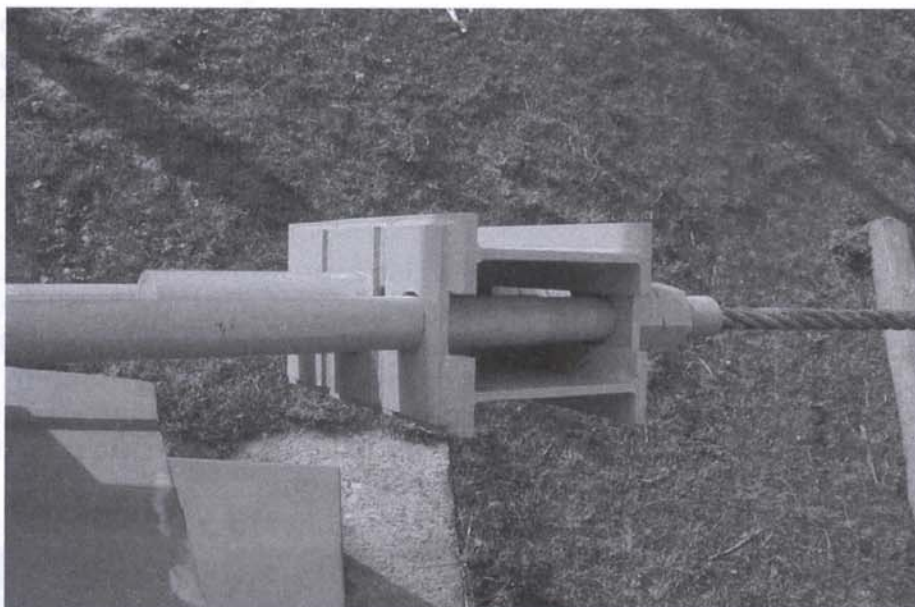
Při srpnové povodni r. 2002 zachytil utržený těžký člun za návodní vypínací lano a strhnul je s sebou, spolu s několika příčnický ve střední části mostu. Konstrukce ztratila svoji tuhost, potrubí bylo silně porušeno a celý úsek s mostem bylo nutno vyřadit z provozu. Stav po havárii ilustruje obr. 2: návodní vypínací lano chybí, protilehlé vypínací lano je silně povoleno, část příčnicků se utrhla a zřítla i s mezi-lehlými lávkami do řeky, další jsou pak silně poškozeny.



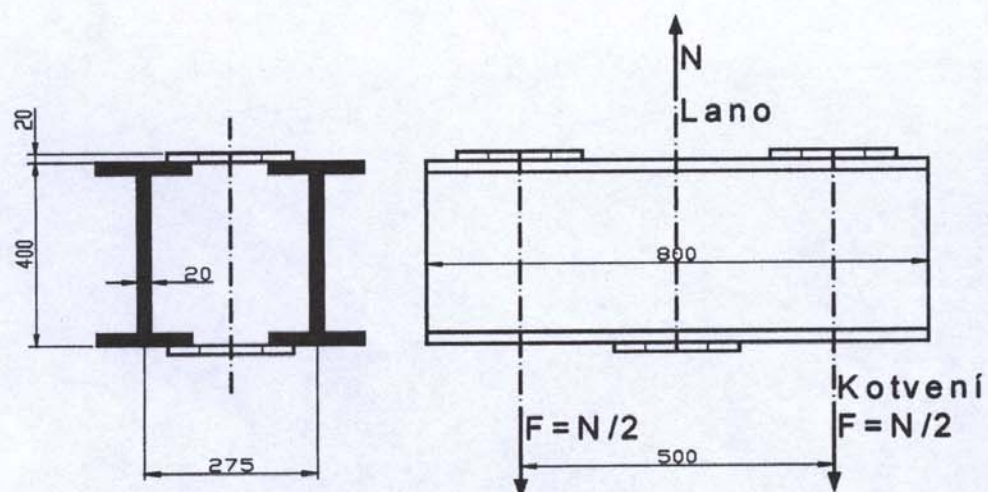
Obr. 3: střední část mostu po havárii

Zkoumání mechanismu porušení konstrukce ukázalo, že nejslabším článkem celého nosného systému bylo kotvení vypínacích lan. Na obr.4 je fotografie nepoškozeného kotvení vypínacího lana. Lano (na obr.4 vpravo) je svou válcovou koncovkou opřeno o střední část příčnicku, na jehož krajích jsou maticemi ukotveny protilehlé vypínací tyče, kloubově připojené ke kotevnímu dílu podpory. Příčnick je tvořen dvojicí I-profilů bez jakýchkoliv příčných výztuh, svařených navzájem deskami s otvory pro průchod kotevních tyčí a lana.

Na dalších dvou obrázcích je vidět, co se s kotevním příčnickem stalo při přetížení lana.



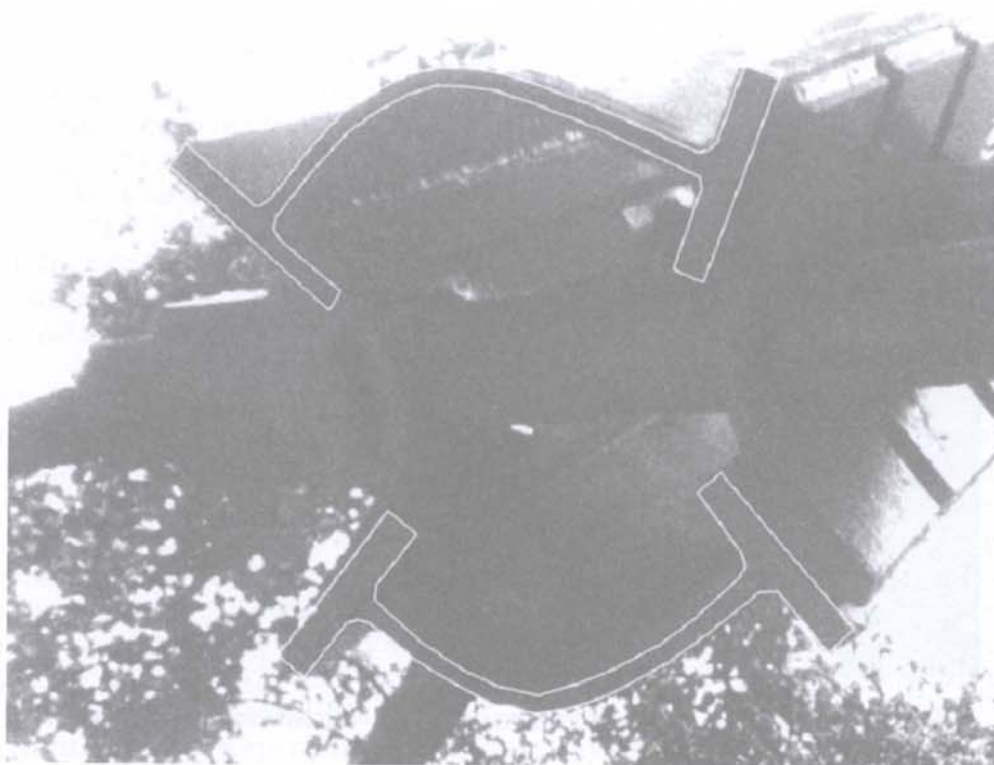
Obr. 4: nepoškozený příčník



Obr. 5: rozměry příčníku

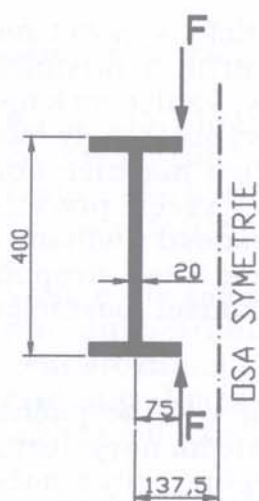


Obr. 6: deformace příčníku pod zatížením



Obr. 7: příčný řez přetíženého příčníku

Excentricky působící síly v nevyztuženém příčníku zdeformovaly stěny i propojovací plechy mezi pásnicemi obou I-profilů. Důvod porušení je zřejmý: excentrické působení kotevních sil. Přibližné vyčíslení únosnosti kotvení ukazuje, že únosnost příčníku představuje necelou třetinu únosnosti připojovaného lana (viz obr. 8).



$$M = F/2 * 0,075m$$

$$M_{Pl,Rd} = W_{Pl} * f_{y,d} = 0,25 * 80 * 2^2 * 0,204 = 16,3 \text{ kNm}$$

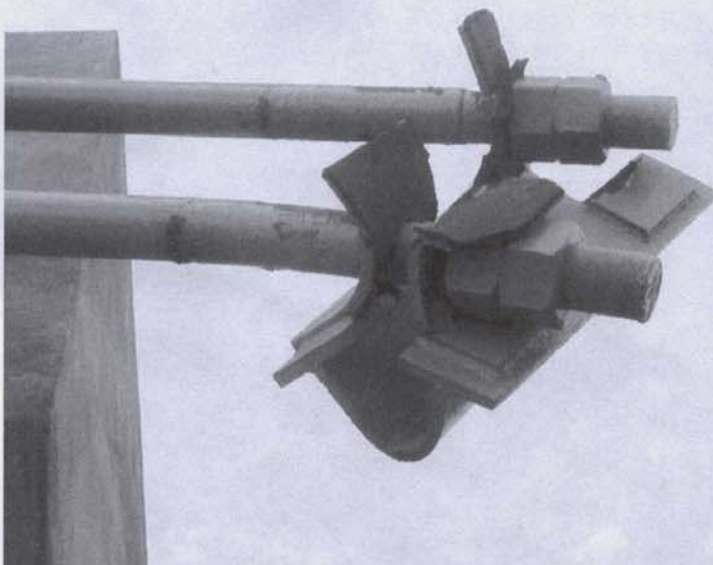
$$F_{Pl,Rd} = M_{Pl,Rd} / a = 16,3 / 0,075 = 217 \text{ kN}$$

$$\text{Únosnost kotvení} = 2 * F = \underline{\underline{435 \text{ kN}}}$$

(Únosnost lana dle ENV 1993-2 = 1400 kN)

Obr. 8: únosnost kotvení

Excentricita zatížení I-profilů vzrůstala s postupující deformací, až došlo k úplné devastaci prvku a vytržení válcové koncovky lana, jak je vidět na obr.9.



Obr. 9: konečný stav havarovaného kotevního příčníku

Projekt rekonstrukce mostu

Po zevrubné prohlídce mostu a poradě s investorem bylo rozhodnuto nahradit nebo vyměnit:

- všechny příčníky (nové příčníky budou žárově zinkovány), včetně vypínacích a závěsných systémů (pomocná lana + rektifikační prvky)
- všechny lávky mezi příčníky (i ty budou nyní žárově zinkovány)
- obě vypínací lana, včetně kotevních příčníků a navazujících tyčí

Zbývající části mostu zůstanou původní (dvojice hlavních lan, tříramenné vzpěry na obou březích, kotevní bloky, ledolamy).

Jako součást projektu rekonstrukce byl vypracován i nový statický výpočet na aktualizované zatížení. V tomto statickém výpočtu je navržen druh a předpětí nových vypínacích lan a posouzeny všechny rekonstruované prvky. Vzhledem k tomu, že nebyl k dispozici kompletní původní projekt ani statický výpočet, byly některé údaje odhadnuty - především se jedná o předpětí stávajících hlavních lan a moduly pružnosti všech lanových prvků. Proto byla také ve všech prvcích ponechána určitá rezerva v únosnosti k pokrytí případných nepřesností v odhadu. Naštěstí byly u majitele mostu objeveny dodací listy na hlavní lana, a tak alespoň to trochu ulehčilo situaci a nemuseli jsme stávající lana pracně zkoušet: stačila běžná prohlídka a odhad opotřebení koroze.

Základním nástrojem k řešení napjatosti lan byly vztahy uvedené v [1], zejména stavová rovnice odvozená pro lano ve tvaru paraboly s danou počáteční napjatostí, které je podrobena rovnoměrnému vnějšímu přetížení, změně předpínací síly a změně teploty. Příslušné složité vzorce byly převedeny do tabulkového procesoru (MS-Excel), což umožnilo jejich pohodlné využití i k řešení víceparametrických úloh: např. bylo nutno vypočítat, jakým způsobem se podílí každé z dvojice bočních vypínacích lan na přenosu horizontálního zatížení (vítr) do podpor. Výsledkem celého statického výpočtu bylo:

- posouzení stávajících hlavních lan pro aktualizované zatížení
- návrh a posouzení upravených lávek a příčníků (jejich tvar byl přizpůsoben žárovému zinkování a provozním požadavkům investora)

- návrh nových bočních vypínacích lan a pomocných prvků
- stanovení předpínací síly pro montáž těchto lan v závislosti na vnější teplotě. V době zpracování výpočtu nebyl upřesněn termín montáže: ve hře byly termíny ukončení mezi únorem a květnem, to znamená uvažovat rozptýl teploty lana při vypínání (lano může být osááno sluncem) od -20°C do $+30^{\circ}\text{C}$.
- návrh kotevních příčníků, včetně montážního postupu při závěrečném předpínání lan hydraulickými lisami (na kotevní příčníky byly namontovány pomocné konstrukce k jejich osazení). Předpínací síla byla určena tak, aby ani při maximálním výpočtovém zatížení větrem neklesl tah v lanu na závětrné straně mostu k nule.

Kromě tohoto základního výpočtu, pracujícího se zjednodušeným modelem (lana mají tvar parabolických řetězovek, propojených kontinuálně), byl zpracován i kontrolní výpočet diskrétního modelu na systému ANSYS (autorem výpočtu byl doc. Pospíšil z ÚTAM ČSAV). S využitím metod řešení geometricky nelineárních konstrukcí s lanovými prvky zde byly určeny vnitřní síly v konstrukci a přetvoření konstrukce pro návrhové zatížení. Kromě toho byla v rámci pomocných výpočtů na modifikovaném modelu ověřena citlivost konstrukce na geometrické nepřesnosti (např. při mírně změněném tvaru, nesymetrickém předpětí, nerovnoměrném vypnutí pomocných lan aj.). Byly také určeny základní vlastní frekvence mostu.

Zde jsou uvedeny nejdůležitější závěry:

- dynamické charakteristiky konstrukce jsou takové, že nevyžadují speciální dynamické posouzení prvků na účinky větru, statická metoda je vyhovující
- použitý zjednodušený výpočet dává výsledky s vyhovující přesností (s ohledem na nepřesná vstupní data a ponechané rezervy v navrhovaných prvcích)
- případná nepřesná montáž konstrukce nevede k výraznému lokálnímu přetížení jejích prvků.

Výroba a montáž konstrukce

Výrobní dokumentaci všech prvků (včetně lan) vypracoval EXCON. Lana byla připravena v ŽD Bohumín, ostatní prvky vyrobil ve vlastním závodu hlavní dodavatel ocelové konstrukce - JPB Kovovýroba z Jirkova - který provedl i montáž. Při montáži nesměla být narušena plavba po Labi a tak veškeré práce probíhaly letmo, s využitím poškozené původní konstrukce.

Při montáži bylo nejprve částečně srovnáno a provizorně vyvěšeno původní poškozené potrubí, které pak posloužilo jako nosník pro pojezd montážní lávky a současně jako horizontální ztužující prvek. Pak byly vyměněny všechny příčníky a lávky. V této fázi je konstrukce zachycena obr. 9.

Vidíme zde smontovanou, částečně vyrovnanou sestavu příčníků a lávek, nesoucí původní potrubí. Boční vypínací lana ještě nejsou instalována. I když konstrukce není srovnána, je na ní už patrné nadvýšení, navržené kvůli zvýšení plavebního profilu pod mostem a kvůli stékání kondenzátu v potrubí. V popředí je vidět podvěsná montážní lávka.

V závěrečné fázi montáže byla přetažena přes řeku obě boční lana, připojena koncovkami ke kotevním blokům, vyvěšena na konstrukci a předepnuta hydraulickými lisami na hodnotu, předepsanou ve stat. výpočtu. Poté bylo na most postupně vysouváno nové potrubí, svařované průběžně na pevné montážní plošině na břehu. Po nasunutí potrubí byl most pomocí rektifikačních prvků definitivně vyrovnan do požadovaného tvaru. V současnosti je celá akce ukončena a konstrukce plně slouží svému účelu.



Obr. 10: montáž mostu

Literatura

- [1] Zdeněk Sobotka: Zavěšené střechy. Konstrukce a navrhování. SNTL 1962
- [2] Luděk Spal: Ocelová lana ve stavebních konstrukcích. SNTL 1971
- [3] ČSN 73 1408 "Navrhování ocelových konstrukcí průmyslových mostů
- [4] ČSN P ENV 1993-1-1 "Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] ČSN P ENV 1993-2 "Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty"
- [6] ČSN 73 0035 "Zatížení stavebních konstrukcí"