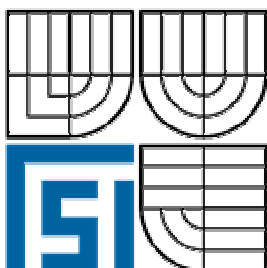


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV METROLOGIE A ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF METROLOGY AND QUALITY ASSURANCE TESTING

KVANTIFIKACE A ZVYŠOVÁNÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ PRŮHYBU MOSTŮ

QUANTIFICATION AND IMPROVEMENT IN BRIDGE PRECISION
MEASUREMENT DEFLECTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR HVOZDENSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ PERNÍKÁŘ, CSc.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá zlepšením přesnosti měření průhybů mostů pro firmu Mostní a silniční s.r.o. Jejím cílem je důkladná analýza procesu měření a zjištění faktorů, které mají zásadní vliv na přesnost měření.

První teoretická část, představuje firmu, formuluje problémy a cíle práce, historii mostů, světové katastrofy, druhy měření mostů, hodnocení mostů a problematiku nadrozměrných přeprav. V druhé, praktické části, jsou popsány problémy při měření a jeho vyhodnocení. V závěrečné části jsou vyhodnoceny výsledky a jsou navržena nápravná opatření a doporučení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měření průhybu mostu, mostní konstrukce, historie mostů, katastrofy mostů, nadrozměrná přeprava, průhyb, přesnost.

ABSTRACT

This thesis deal with improvement in bridge precision measurment deflection for Mostní a silniční Ltd. Its goal is through analysis of process of measurment and factor location, which have fundamental influence on measurment precision.

First, theoretic part, represents the company, formulates problems and goals of thesis, history of bridges, world disasters, sort of bridges measurments, bridges evaluation and questions of giant transportation. In second, practical part, problems with measurment and its evaluation are described. Results are evaluated and corrective measures and recommendation are proposed in the final part.

KEYWORDS

Measurement of bridge deflection, bridge structure, history of bridges, bridges disasters, giant transportation, deflection, precision.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HVOZDENSKÝ, P. *Kvantifikace a zvyšování přesnosti měření průhybu mostů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství 2008, 72 s. z toho přílohy 5 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Perníkář, CSc.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 15.5.2008

.....

Petr Hvozdenský

PODĚKOVÁNÍ

Za účinnou podporu a obětavou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování diplomové práce tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Perníkářovi CSc. , panu Ing. Igorovi Suzovi, kteří mě metodicky vedli při měření. A všem, u kterých jsem našel cennou pomoc a rady při řešení problematiky.

OBSAH

Úvod	10
1 Úvod do problematiky mostních konstrukcí a jejich stav v ČR	12
1.1 Historie mostů	12
1.2 Světové katastrofy mostů	17
1.3 Stav mostů v ČR	22
2 Druhy kontrol mostů a problémy nadrozměrných přeprav	26
2.1 Vizualní kontrola	26
2.2 Měřicí metody	33
2.3 Problematika nadrozměrných přeprav	38
2.4 Přejezd břemene nadměrné hmotnosti jako diagnostická metoda	42
3 Vizualní analýza konkrétního mostu (Cerekvice nad Loučnou)	44
3.1 Postup měření pomocí el. snímačů deformací	45
3.2 Přesný postup nachystání věcí pro měření mostů	46
4 Lokalizace a analýza vzniku nepřesnosti při měření	49
4.1 Vliv druhu materiálu závěsů na přesnost měření	49
4.2 Měření mimo svislou osu	52
5 Vyhodnocení a analýza výsledků	54
5.1 Vliv druhu materiálu závěsů při změně teploty na přesnost měření	54
5.2 Vliv na přesnost měření mimo svislou osu závěsu	56
6 Nápravná opatření a doporučení	60
6.1 Vliv druhu materiálu závěsů na přesnost měření	60
6.2 Vliv na přesnost měření mimo svislou osu závěsu	60
7 Závěr	62
Seznam použitých zdrojů	64
Seznam použitých zkratk a symbolů	66
Seznam příloh	67
Přílohy	68

Úvod

V současné době vědeckotechnické revoluce a stále se zrychlujícího civilizačního pokroku hrají stále víc než dříve důležitou roli dopravní i spojové komunikace. Ty měly velký podíl na celkovém historickém vývoji lidstva a zejména pak byly jedním z hlavních faktorů industrializace a společenského rozvoje v 19. století. Mosty jsou prostředkem překonávání překážek v terénu nad jeho povrchem. Napomáhají ke zkracování cestovních tras a slouží jako jedno z řešení větší plynulosti a bezpečnosti dopravního ruchu. Mají také v České republice svou dlouhodobou tradici. Jejich konstruktéři — ať již jde o díla středověkých stavitelů a nověji inženýrů, nebo o výtvary lidové architektury — prokazovali důmyslnou vynalézavost.

Naše silnice a mosty křižují soupravy s nadměrnými břemeny. Jezdí a jezdit budou. Zdržují nás když spěcháme, komplikují dopravu, zvyšují opotřebení silnic i mostů. Ale také umožňují vyvézt a prodat co se u nás vyrobí. Poplatky za jejich průjezd se snad použijí k následným opravám silnic a mostů. Některé mosty vyžadují během přepravy zvýšenou pozornost.

Seznámení a popis firmy

Firma Mostní a silniční s.r.o. se zabývá diagnostikou mostních staveb a dopravních komunikací. Firma má více než 10 letou tradici v měření a diagnostice dopravních staveb. Firma se zaměřuje hlavně na český trh, ale i na slovenský trh. Firma zaměstnává 5 zaměstnanců, kteří jsou kvalifikováni pro práci v metrologii. Diagnostiku si objednávají převážně velké dopravní společnosti, které dopravují nadměrné náklady, ale zákazníkem je i ŘSD, která si při plánovaných rekonstrukcích vždy objedná diagnostiku mostních staveb. Mezi strategické cíle firmy patří kvalita služeb, přesnosti měření a objektivní výsledky.

Formulace problému a cíle práce

Hlavní problém vzniká při procesu měření průhybu mostních konstrukcí. Největší vliv na přesnost měření má okolní počasí a druhy materiálů, ze kterých jsou drátové závěsy spuštěné z nosné konstrukce mostu. Závěsy jsou velmi dlouhé. Někdy dosahují délky až 8 m i více a jejich plocha je dosti velká, aby ovlivnila přesnost,

bud' vibracemi díky silnému foukání větru nebo svou roztažností s ohledem na měnící se teplotu.

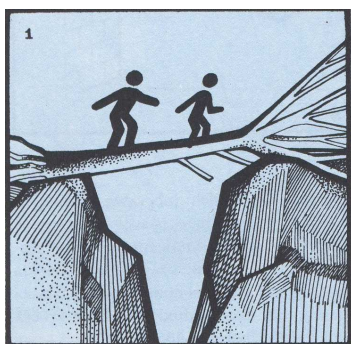
Cílem práce je dosažení zpřesnění měření při různých změnách teplot a měření s vychýlením mimo svislou osu závěsu drátu.

1 Úvod do problematiky mostních konstrukcí a jejich stav v ČR

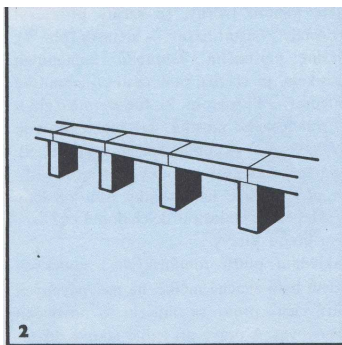
1.1 Historie mostů

Most v současné době představuje inženýrskou dopravní stavbu, s jejíž pomocí překonáváme překážky všeho druhu: především vodní toky, ale také průrvy, terénní nerovnosti, silnice, železnice, ulice, lyžařské dráhy, vzdálenosti mezi továrními objekty, příkopy atd.

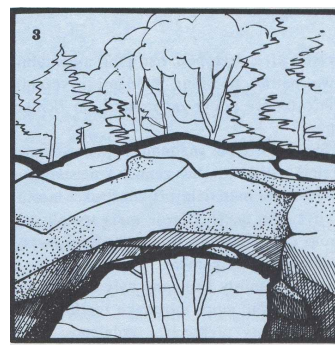
Stavět mosty naučila lidstvo sama příroda. Kmen náhodně spadlý přes vodní proud upozornil člověka na dřevo jako na jeden z nejstarších stavebních materiálů ke stavbě mostů (obr. 1). I balvany rozmístěné v dostupné vzdálenosti od sebe nabízely v pradávných dobách člověku - lovcu usnadnění přechodu při překonávání vodní překážky. Mnoho pak už nescházelo a na balvany v řečišti byly položeny ploché kameny nebo trámy. Nejeden z pozdějších mostů - např. na hradě Valdštejně, ale i v jižních Tyrolích – používá mohutného skalního balvanu jako přirozeného pilíře (obr. 2).



Obrázek 1. Nejstarší most

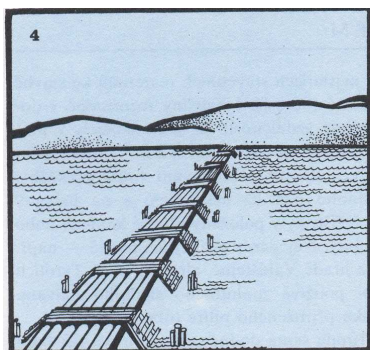


Obrázek 2. Přirozený pilíř

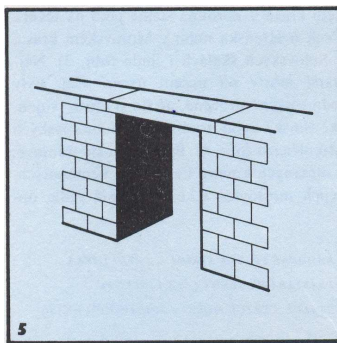


Obrázek 3. Skalní most

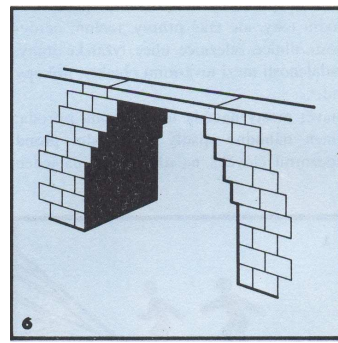
Příroda sama dodnes chová ve své říši řadu skalních mostů přírodních: jsou u nás v Českém krasu u Berouna, stejně jako na severu Čech u Hřenska nebo v Moravském krasu, Sulovských skalách i jinde (obr. 3). Nejstarší mosty na našem území však byly jednoznačně dřevěné, ať šlo o mosty vojenské římské nebo hradištní v jihomoravských Mikulčicích (obr. 4). Byly to mosty trámové, z otesaných kmenů i z kmenů neotesaných. Jejich mostovka, tj. část, po níž vedla doprava i přecházeli pěší, nad pilíři a opěrami, byla patrně opatřena branami i věžemi. Pilíře tvořily piloty zabírané do říčního dna.



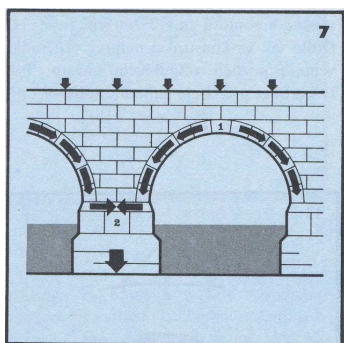
Obrázek 4. Římský most



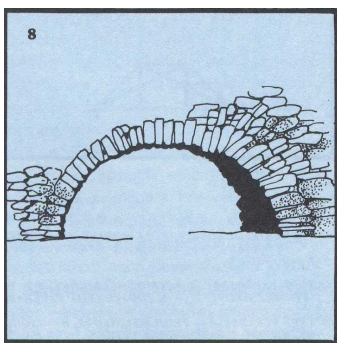
Obrázek 5. Deskový most



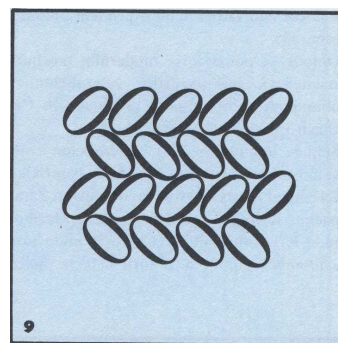
Obrázek 6. Falešná kl.



Obrázek 7. Klen. most



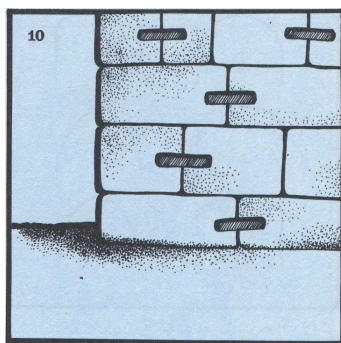
Obrázek 8. Klenutý most



Obrázek 9. Klasová zeď

Dřevo pro svou snadnou opracovatelnost zřejmě patřilo v našich zemích k nejstaršímu stavebnímu materiálu při konstrukci mostů, i když jeho nevýhodou je malá trvanlivost. Proto člověk-stavitel brzy napodobil mosty skalní a sáhl po kameni. I nejstarší mosty kamenné byly zřejmě trámového typu, jejich mostovku tvořil plochý kámen, který překonával vzdálenost mezi opěrami na březích (obr. 5). Jakmile se začaly pobřežní opěry stavět z otesaných kvádrů, došlo k postupnému vysunutí alespoň těch nejhořejších, a tak také vznikla nejdříve nastavená podpora, později falešná klenba (obr. 6). A odtud byl již krůček ke klenbě půlkruhové, která sama o sobě byla velkým vynálezem. Kameny, které klenbu tvořily, se začaly přitěsávat a dostaly zvláštní název - klenáky (obr. 7). Naším nejstarším klenutým kamenným mostkem je stavba pod částí vyšehradské katedrály v Praze (obr. 8). Jde zřejmě o zbytky románského mostku, jehož část zdiva je tzv. klasová – opus spicatum (obr. 9).

Zakládání pilířů románských i gotických mostů bylo značně mělké, na nasypávaných ostrůvcích, proto se muselo v novověku obnovovat. A právě při jedné takové rekonstrukci se v základovém zdivu píseckého mostu našly zbytky po původním spojování kamenných kvádrů kovovými skobami (obr. 10).

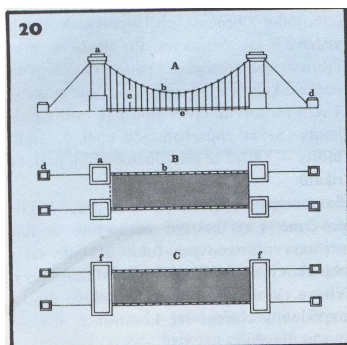


Obrázek 10. Spojení kamenných kvádrů kovovými skobami

Kamenná mostní klenba dostávala postupně různé tvary. Nejběžnější byla samozřejmě půlkruhová. Rozpětí půlkruhových kleneb vzrůstalo postupně od několika až do desíti i více metrů. Oblouk se používá i v moderním mostním stavitelství. I v době železobetonu se kamenné kvádry používaly při stavbě pilířů, dokonce i u moderních mostů dálničních z doby před druhou světovou válkou. Až teprve v posledních desetiletích se téměř upouští při stavbě mostů od kamene, neboť jde o velmi nákladný a namáhavě opracovatelný stavební materiál.

Počátkem minulého století se dalším materiálem pro mostní stavitelství stala litina. V Anglii vznikl první litinový most již koncem 18. století. Ani náš první litinový most v Hronci na středním Slovensku nedal na sebe dlouho čekat. Postavili ho už v roce 1810. Dnes je tento památný most uchováván a udržován jako technická pozoruhodnost. Tedy i v konstrukci litinových mostů jsme stáli v čele evropského vývoje.

Současně s těmito mosty se ujala myšlenka na stavbu železných mostů visutých, řetězových. První z nich postavil v roce 1796 James Finley v Pensylvánii. Na evropské pevnině jsme získali ve stavbě řetězových mostů dokonce prvenství stavbou – dnes zmizelého – řetězového mostu u strážnického zámku na jižní Moravě, a to v roce 1824. Postavil jej český inženýr B. Schnirch. Mostovka řetězových mostů, obvykle dřevěná, bývala zavěšená na táhlech na řetězech, které bývaly nad sebou někdy i dva. Řetězy vedly přes pylony nebo portálové brány do kotevních bloků (obr. 11).



Obrázek 11. Řetězový most

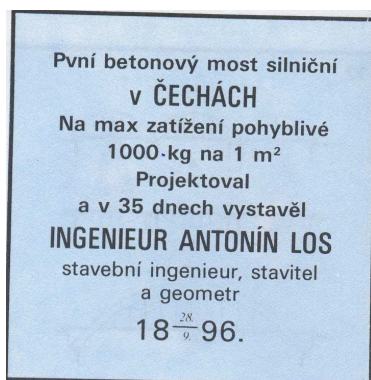
Kapitola visutých mostních konstrukcí u nás však není uzavřena, pokračuje pozoruhodnými konstrukcemi v Brně-Bystrci, Brně-Komíně (obr. 12) atd. Jde vesměs o průkopnické projekty skupiny mladých odborníků z brněnských Dopravních staveb. Při stavbě se prefabrikované mostovkové panely navlékají na ocelové kabely a posunují se do cílové polohy. Takto zhotovené lávky jsou pak mírně prohnuty.



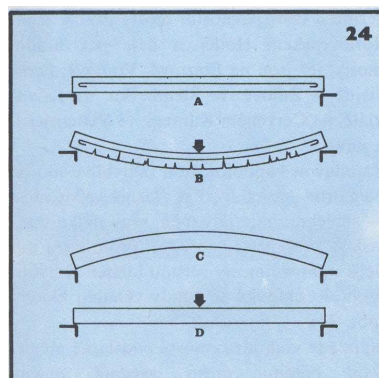
Obrázek 12. Zvláštní konstrukce mostu v Brně-Komíně

Další a u nás nejrozšířenější jsou mosty betonové. Za zmínku stojí nejstarší betonový most postavený přes řeku Rokytku v Libni. Byl postaven roku 1896 (obr. 13). Potom dále následovaly mosty železobetonové-předpínané (obr. 14). Moderní mostní stavitelství patří již téměř zcela mostům prefabrikovaným, tj. trémovým,

s maximální délkou nosníků, jež přesahuje délku 33 metrů. Prefabrikují se však i pilíře a opěry, takže na staveništi samém dochází pouze ke konečné montáži.

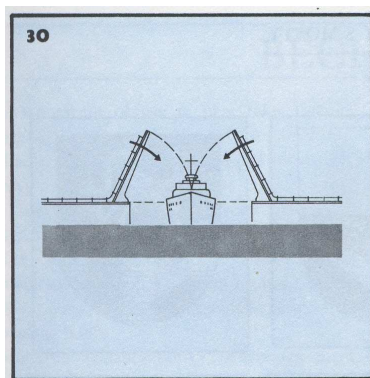


Obrázek 13. První betonový most v Čechách



Obrázek 14. Předpínané mosty

Zajímavou kapitolou jsou pohyblivé mosty. Nepatrně pohyblivý je vlastně každý most - stavební materiály mění svou délku v závislosti na teplotě. Nám zde však jde o mosty podstatně měnící svou polohu: mosty zvedací (obr. 15), otočné, vysouvací. [1]



Obrázek 15. Zvedací most

1.2 Světové katastrofy mostů

Drásavý zvuk kroutících se plechů, praskání betonu a náhlé prázdno pod nohama... Tak to vypadá, když se zřítí most. Nedaleko kanadského Montrealu se zhroutil dálniční nadjezd. Pod tunami železobetonu zahynulo pět lidí jen hodinu poté, co ho inspekce označila za provozuschopný. Krutá ironie osudu? Lidské selhání?

Mosty - nádherně vznosné symboly lidského umu a pokroku - člověku už od pradávna umožňují překonávat nástrahy přírody. Jejich konstrukce však ode dne, kdy člověk postavil první lávku přes řeku, musí čelit řadě úskalí. Člověk ale není neomylný, a pokud při stavbě těchto obrů udělá chybu, je zaděláno na katastrofu.

Železniční most přes zátoku Tay

Na jedno z nejproslulejších konstrukčních selhání Skotové jen tak nezapomenou. Byl bouřlivý prosincový večer roku 1879 a v oblasti města Dundee řádila vichřice. Po zdejším železničním mostě, který se táhl tři kilometry přes zátoku Tay, právě projížděl vlak. To byla ovšem pro stavbu ničivá kombinace. Vítr "ve spolupráci" s vlakem rozkmital most natolik, že byl stržen z pilířů a pouhých 19 měsíců po svém dostavění se zhroutil do vody. S sebou vzal i 75 životů lidí cestujících ve vlaku.

Brzy vyšlo najevo, že se jednalo o dosud nejhorší chybu ve stavebním inženýrství na Britském souostroví. Pro vyšetření celé události byla sestavena speciální komise vedená komisařem Henrym C. Rotherym a inspektorem železnice Williamem H. Barlowem. Oba pánové brzy oznamili svůj verdikt: "Most byl špatně navržen, špatně postaven a špatně udržován. Pád byl způsoben zásadními nedostatky v konstrukci, které musely dříve či později vést ke zřícení stavby". Pro své tvrzení měli řadu důkazů. Inspektor Henry Noble například ještě před otevřením mostu v roce 1878 zaslechl, že klouby železných spojovacích tyčí drnčí. "To byl náznak uvolněných kloubů," tvrdila zpráva komise. Noble je však neupevnil, pouze mezi ně nechal natlouci železné klíny, aby se netřásly.

Realizace celého projektu - ve své době nejdelšího mostu světa - padla na bedra konstruktéra Thomase Bouche a spolu s ním i související zodpovědnost za údržbu mostu. Koneckonců, Bouch si za dokončení stavby vysloužil šlechtický titul. Komise ho ale rozhodně nešetřila a klade na něj veškerou vinu. Pro nedostatky v návrhu,

konstrukci a údržbě byl sir Thomas Bouch, vinen v celém rozsahu. Za chyby v projektu je zcela zodpovědný. Z vyšetřování totiž vyplynulo, že Bouch při tvorbě projektu špatně vyměřil zátěž při větru - podcenil ji přibližně třikrát!

Za zmínku stojí, že Bouch po pádu železničního mostu nad zátokou Tay stavěl další most Forth Bridge a už zátěž spočítal správně. O konstruktérově provinění v případě mostu nad Tay se pak dlouhou dobu spekulovalo. Pravdou ale zůstává, že i dostavbu Forth Bridge musel Bouch přenechat kvůli své pověsti projektantům Benjaminovi Bakerovi a siru Johnovi Fowlerovi. A rok po tragédii zhrzený konstruktér umírá.



Obrázek 16. Most Forth Bridge

Most v Tacoma Narrows

Most se prudce kymácel ve větru. Vlnil se, kroutil, vzdouval a zase klesal zpět jako pověšená prádelní šňůra lapená v průvanu. Každému, kdo situaci přihlížel muselo být jasné, co bude následovat. Jasně to bylo i majiteli obchodu s fotoaparáty Barnie Elliotovi, který si na to, že se tehdy třetí největší most světa zřítí do údolí, dokonce vsadil. Vzal si tedy kameru a podařilo se mu natočit asi 20minutový film, který později studovaly tisíce studentů technických oborů po celém světě. Svou sázku Elliott vyhrál.

Jak Barnie Elliott věděl, že se most zřítí? Stavba byla totiž už od svého otevření místní atrakcí. Most se vlnil i při běžné rychlosti větru natolik, že řidiči v projíždějících automobilech se viděli jako na horské dráze. Vozidla se před nimi totiž objevovala a zase mizela. Brzy tak získal přezdívku "Gallopig Gertie", tedy Tančící Gertie. Objevilo se sice několik pokusů o vyztužení konstrukce, jejich efekt byl ovšem nulový.

Jednoho dne ale most zaznamenal prudší výkyvy než obvykle. Rychlost větru přitom dosahovala jen 67 km/h, tedy zhruba třetinové rychlosti, než pro jakou byl most navržen. "Právě jsem projížděl po mostě, když se most začal divoce houpat," líčil svůj zážitek Leonard Coatsworth, jeden z řidičů, který se v té době na mostě nacházel. „Než jsem si stačil něco uvědomit, ztratil jsem kontrolu nad autem. Šlápnul jsem na brzdu a snažil se dostat z vozu. Kolem sebe jsem slyšel praskání a s autem to házelo ze strany na stranu." Pouhé čtyři měsíce po svém otevření most spadl. O život ale naštěstí nějakým zázrakem přišel pouze pes, který zůstal uvězněn v jednom z automobilů.

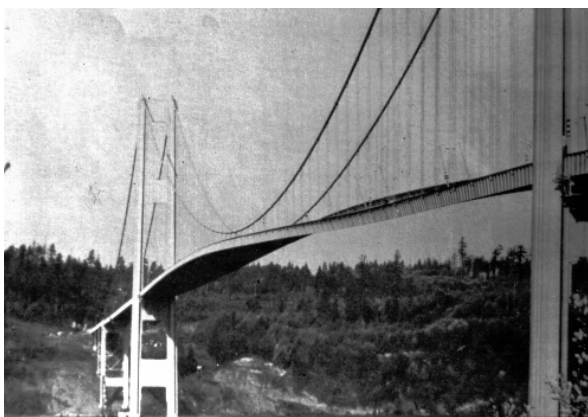
Důvod pádu obřího Tacoma Narrows Bridge není pro vědce žádnou velkou záhadou, alespoň to tak na první pohled vypadá. Ve fyzice pro střední školy ji srozumitelně vysvětluje teorie mechanického kmitání a vlnění pomocí rezonance. Při stavbě mostů a výškových budov se s menšími kmity počítá. Každá stavba má svou vlastní frekvenci, a přiblíží-li se jí svou vlastní frekvencí i nárazy větru, kmitání vzroste a stavba se stane nekontrolovatelnou.

S tradičním pohledem fyziky však příliš nesouhlasil profesor matematiky na univerzitě v Connecticutu Joseph McKenna, který pro chování mostu v Tacoma Narrows vytvořil matematický model. Vysvětlení pádu mostu pomocí rezonance bylo podle něho neuvěřitelně snadné na pochopení a dává pěkný příklad pro dynamiku kmitavého pohybu. "Jenže rezonance pád mostu v Tacomě nezpůsobila," dodává vzápětí a přichází s vlastní novou teorií aerodynamiky, založenou na výpočtech pomocí diferenciálních rovnic.

Právě na těchto závěrech posléze stavěla inženýrská komunita a z celého případu vyvodila tvrdé závěry. Po pádu mostu přišli inženýři s teorií aerodynamického fenoménu, který se používá v letectví. Zahrnuje i takzvané - pro laika velmi tajemně znějící - odtrhávání vírů a sleduje působení proudů větru na stavbu. Chybná konstrukce v Tacoma Narrows nakonec tedy napomohla k tomu, že se mosty v současnosti již testují v aerodynamických tunelech.



Obrázek 17. Pád mostu Tacoma Narrows



Obrázek 18. Most před pádem



Obrázek 19. Tacoma Narrows-nyní

Pád mostu v Minneapolis přes řeku Mississippi

Do vody se zřítilo množství vozidel, která přejížděla dálniční most uprostřed dopravní špičky. 9 mrtvých a více než 60 raněných. Do řeky se zřítily tuny betonu a oceli z mostní konstrukce. S nimi do vln řeky spadly osobní i nákladní automobily, jichž podle pohotovostních jednotek bylo v kritickém okamžiku na mostě 50 až 100. Do říčních vod nebo na zem jich spadlo asi pět desítek. Na jedné z nakloněných částí trosk mostu zůstal viset školní autobus. Pod mostem na železnici právě projížděl nákladní vlak, jež zřícený beton a zkroucené ocelové části mostu rozpůlily.

V osmikilometrovém úseku na každou stranu od zříceného mostu byla řeka Mississippi, která je velkou dopravní tepnou, uzavřena pro veškerou lodní dopravu. Příčina zřícení 150 metrů dlouhého oblouku mostu, po němž vedla v obou směrech čtyřproudá dálnice a jenž se klenul ve 20 metrové výšce nad hladinou řeky, je přisouzen probíhajícím opravám. Most byl postaven v roce 1967. Každý den po něm projíždělo na 200.000 vozidel. [2]



Obrázek 20. Spadlá pole mostu



Obrázek 21. Spadlé pole mostu v řece

1.3 Stav mostů v ČR

Stav stávajících mostů na dálnicích a silnicích I. třídy se od r. 2004 evidentně zhoršuje. Finančně rozsáhlejší programy, zabývající se opravami silnic a mostů skončily a programy nové jsou buď MFČR a vládou ČR schváleny, ale nejsou finančně zajištěny nebo nejsou dosud schváleny.

Tento stav je způsoben nedostatkem finančních prostředků na opravy a údržbu jak silnic tak mostů. Je to zejména důsledek rozsáhlé investiční výstavby na dálnicích zejména D1, D8, D7, D3, D11, rychlostních silnicích R 48, R6, a obchvatech obcí a měst. Při této stavební činnosti dochází k výstavbě mnoha nových mostních staveb a tím také z pohledu statistiky ke zvýšení počtu mostních objektů ve stavebním stavu 1 (bezvadný).

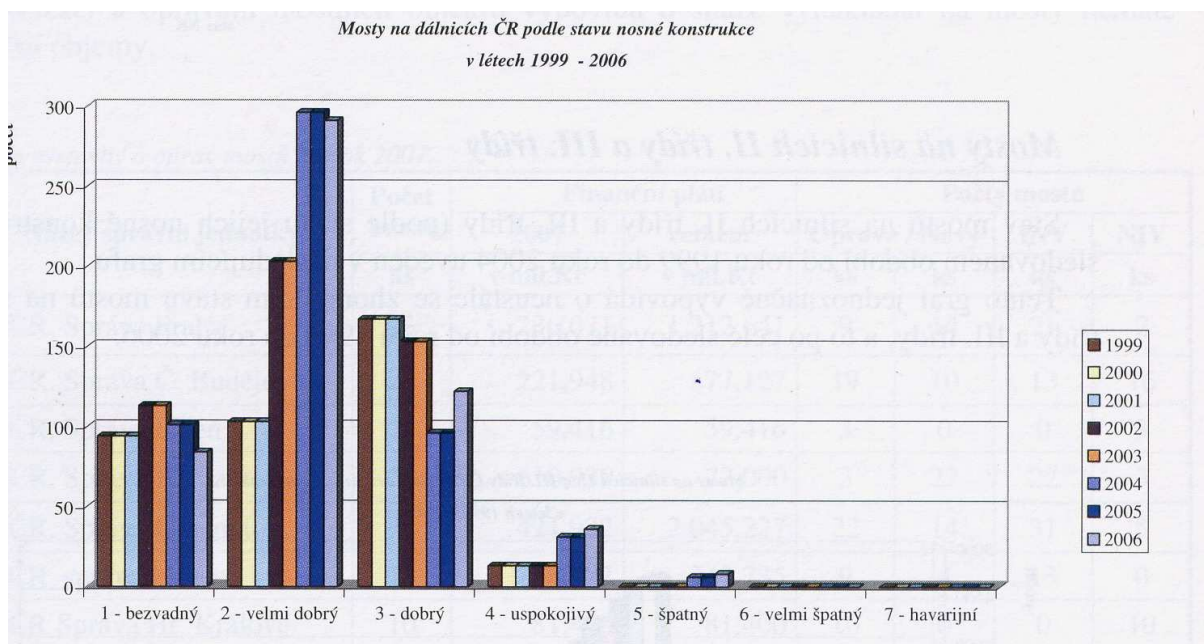
Poměrně velké množství oprav 280 ks mostů bylo zařazeno po dohodě s MDČR a MFČR do samostatného podprogramu 227 143 „Programu opravy silnic I. třídy a dálnic R II“ pro rok 2006 a to ve finančním objemu 3,764 mld. Kč z celkových 16 mld. Kč nákladů programu. Na základě připomínek EIB došlo k redukci finanční výše programu R II na 11,6 mld. Kč (z toho mosty na 2,559 mld. Kč), takže došlo i k podstatnému snížení počtu mostů (182 ks), které mají být v rámci uvedeného programu opraveny. Program R II je v současné době schválen MFČR i Vládou ČR, ale není podložen finančními prostředky ani ze SFDI, ani z úvěru Evropské investiční banky, jak bylo plánováno, dokonce ani žádnými dotacemi z EU fondů.

Opravy mostních objektů se v omezeném množství vyskytují ve finančních plánech SFDI na příslušný kalendářní rok nebo ojediněle v EU fondech do roku 2007. Většinou a to zvláště z prostředků SFDI, jsou financovány opravy mostů v těch nejhorších stavebních stavech. Kromě tohoto se u několika málo mostů zlepší stavební stav úpravami, které jsou plánovány v rámci podprogramu 227 023 - Protipovodňová prevence mostů a dopravních objektů".

Na dálnicích a silnicích v České republice bylo ke dni 1.7.2006 v evidenci 16 453 mostů. Z celkového počtu je ve vlastnictví státu 545 mostů na dálnicích a 3 388 mostů na silnicích I. třídy; ve vlastnictví krajů je pak 12 520 mostů na silnicích II. a III. třídy.

Mosty na dálnicích

Stav mostů na dálnicích (podle stavu jejich nosné konstrukce) je ve sledovaném období od roku 1999 do roku 2006 uveden v následujícím grafu (obr. 22). Z tohoto grafu je zřejmé, že od roku 2004 se počet mostů ve stavu bezvadném stále snižuje. Počet mostů ve stavu velmi dobrém se výrazně zvýšil, i když v roce 2006 zaznamenal klesající tendenci a počet mostů ve stavu dobrém se v roce 2006 oproti dvěma minulým rokům zvýšil o 26 mostů. Ve sledovaném období 1999 - 2003 bylo ve stavu uspokojivém 13 ks mostních objektů, ale od roku 2004 se na dálnicích počet mostů ve stavu pouze uspokojivém zvyšuje a v roce 2006 dosáhl počtu 36 ks. Navíc se také v roce 2004 objevily i mosty ve stavu špatném, což se ve sledovaném období objevilo poprvé a jejich počet nadále vzrůstá. Mosty ve stavu velmi špatném a havarijním na dálnicích nejsou. Lze tedy konstatovat, že u mostů na dálnicích došlo ke zhoršení jejich stavu a celkově tedy tento stav nelze považovat za vyhovující.

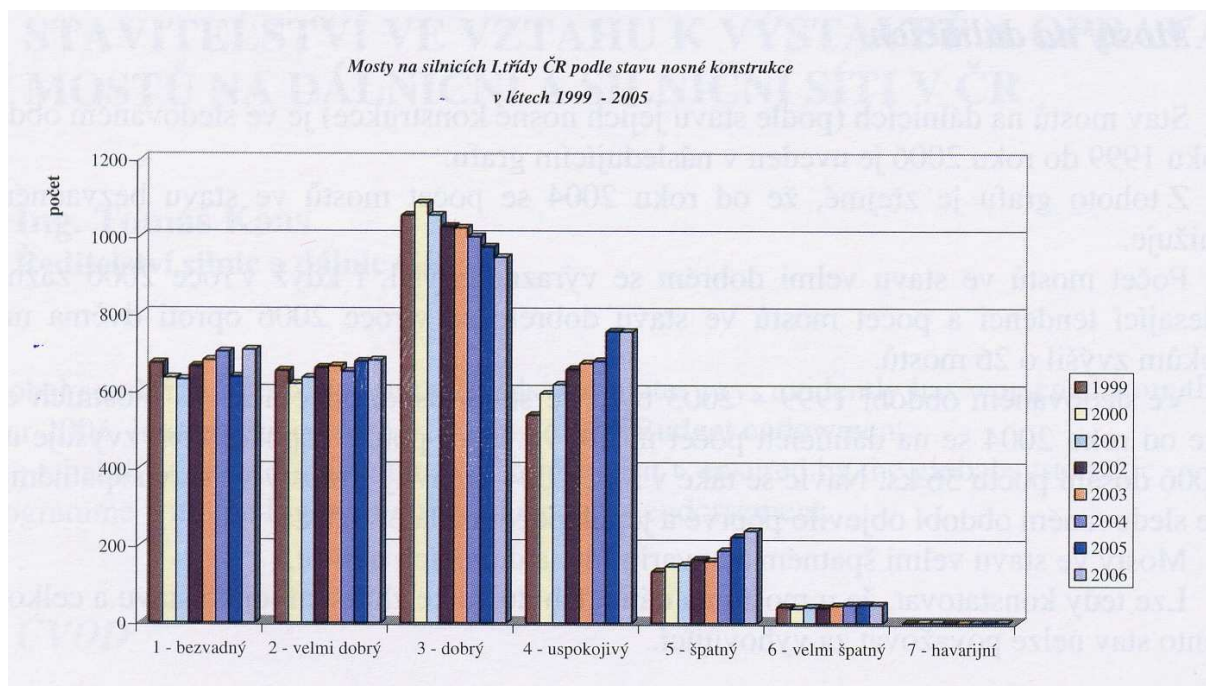


Obrázek 22. Stav mostů na dálnicích

Mosty na silnicích I. třídy

Stav mostů na silnicích I. třídy (podle stavu jejich nosné konstrukce) je ve sledovaném období od roku 1999 do roku 2006 uveden v následujícím grafu (obr. 23). Z tohoto grafu je zřejmé, že počet mostů na silnicích I. třídy ve stavu bezvadném vzrostl oproti roku 2005 a tento rostoucí trend platí i pro mosty ve stavu velmi dobrém.

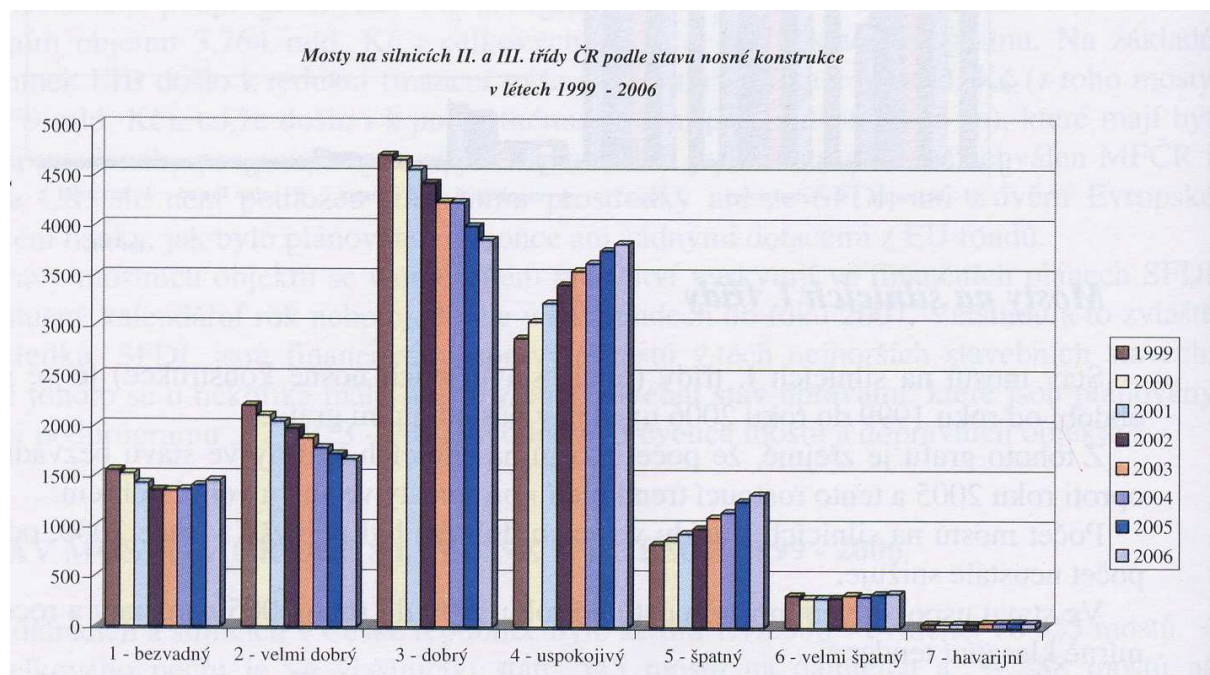
Počet mostů na silnicích I. třídy ve stavu dobrém byl nejvyšší v roce 2000, od té doby se počet neustále snižuje. Ve stavu uspokojivém počty mostů od roku 1999 do roku 2005 narůstaly a v roce 2006 mají mírně klesající tendenci. Počet mostů ve stavu špatném stále roste a ve stavebním stavu velmi špatném a havarijním mírně kolísá nebo stagnuje. Lze tedy konstatovat, že u mostů na silnicích I. třídy dochází ke zhoršování stavu.



Obrázek 23. Stav mostů na silnicích I. třídy

Mosty na silnicích II. třídy a III. třídy

Stav mostů na silnicích II. třídy a III. třídy (podle stavu jejich nosné konstrukce) je ve sledovaném období od roku 1999 do roku 2004 uveden v následujícím grafu (obr. 24). Tento graf jednoznačně vypovídá o neustále se zhoršujícím stavu mostů na silnicích II. třídy a III. třídy, a to po celé sledované období od roku 1999 do roku 2006.



Obrázek 24. Stav mostů na silnicích II. a III. třídy

Lze konstatovat, že po několika letech alespoň částečné dostupnosti finančních prostředků, tedy období, kdy probíhal program R I a následně se opravovalo velké množství mostů v rámci odstraňování povodňových škod, přišlo období kritického nedostatku zdrojů financí na opravy mostů. Tomu napomáhá i poměrně rozsáhlá investiční výstavba, která odčerpává značné množství finančních prostředků potřebných pro opravy. To vše má za následek postupné zhoršování stavu stávajících mostů, a to na všech třídách silnic a dálnic. Nebude-li tento nepříznivý vývoj financování změněn, dojde nepochybně k dalšímu závažnému zhoršení stavu mostů. [3]

2 Druhy kontrol mostů a problémy nadrozměrných přeprav

2.1 Vizuální kontrola

Většina prováděných prohlídek mostních konstrukcí je prováděna převážně jako vizuální a tudíž maximální akceptovatelná degradace je většinou definována na základě vizuálního hodnocení. To je dáno definicemi stupňů stavu konstrukce a hodnocení se provádí podle těchto stupňů. Tyto stavební stavy musí brát v úvahu různé druhy stavebních materiálů a různé typy konstrukčních prvků (mostovka, pilíře, opěry apod.). To znamená, že stavební stavy musí být hodnoceny rozdílně pro jednotlivé stavební materiály a pro jednotlivé konstrukční prvky. Podmínky degradace jsou běžně modelovány pro jednotlivé konstrukční prvky a potřebné koeficienty mohou být získány statisticky z dat získaných při prohlídkách.

Prohlídky mostních objektů se provádějí v systému, který umožňuje jejich dlouhodobé vyhodnocování a sledování po dobu životnosti mostu. Tento systém musí podat informace například o četnosti průjezdu vozidel, dopravním zatížení, povodních, haváriích, stáří objektu, rozsahu a době provedení předchozích oprav atd., které mohou ovlivnit celkový stav objektu. Samozřejmě mezi tyto informace patří i případ degradace objektu nebo jeho části. Pokud je konstrukce správně navržena a nepůsobí na ni vlivy vymykající se návrhovému zatížení, potom jenom degradace je prvek, který ovlivní její životnost. Na podkladě takto získaných informací je možné stanovit určitý stupeň degradace konstrukce, kdy je již nutná oprava.

Základem tohoto hodnocení je rozdělení vlivu degradace do třech různých oddílů s vlastním stupněm klasifikace:

Bezpečnost konstrukce (Zatížitelnost) - reprezentuje nejdůležitější vlastnost mostní konstrukce. Závada z hlediska vlivu na zatížitelnost mostu je hodnocena klasifikačním stupněm **stavu** mostního objektu.

Bezpečnost pro dopravu (Použitelnost) - reprezentuje ostatní vlastnosti mostního objektu plnit svou funkci, tj. hlavně jeho způsobilost k bezpečnému provozu. Použitelnost je klasifikována stupněm **použitelnosti** mostního objektu.

Naléhavost odstranění závady (má přímý vztah na trvanlivost) - tato charakteristika, jejímž parametrem je doba, po které závada způsobí snížení

technického stavu mostu, tj. zpravidla zatížitelnosti nebo použitelnosti, není při provádění prohlídky samostatně klasifikována. Tento způsob hodnocení není zahrnut přímo do prohlídky mostu, ale je zohledněn v údržbovém modulu, kde je zařazen jako priorita požadavku na údržbu.

Bezpečnost konstrukce - klasifikační stupeň stavu konstrukce mostu

Hodnocení závad se provádí z hlediska jejich vlivu na zatížitelnost mostního objektu (týká se především nosné konstrukce, spodní stavby a některých závad na svršku mostu). Zatížitelnost reprezentuje nejdůležitější vlastnost mostní konstrukce únosnost, tj. hlavně její odolnost a bezpečnost proti zřícení. Závada z hlediska vlivu na zatížitelnost mostu je hodnocena klasifikačním stupněm stavu konstrukce.

Podle platné ČSN je hodnocení stavu konstrukce mostu zařazeno do sedmi klasifikačních skupin (viz Tabulka 1).

Tabulka 1. Klasifikační stupně konstrukce

Klasifikace konstrukce	Stupeň - stav konstrukce	Součinitel stavu
I	bezvadný	1,0
II	velmi dobrý	1,0
III	dobrý	1,0
IV	uspokojivý	0,8
V	špatný	0,6
VI	velmi špatný	0,4
VII	havarijní	0,2

Třídění závad z hlediska vlivu na zatížitelnost mostního objektu

Pro vlastní hodnocení závad z hlediska vlivu na zatížitelnost mostního objektu se použije dále navržený způsob třídění závad a dále je možné jako vodítko použít schválený katalog závad.

I - bezvadný

Bez jakýchkoliv zjevných závad, známých skrytých vad a nedodělků.

II - velmi dobrý

Pouze vzhledové vady, které nemohou nijak ovlivnit zatížitelnost.

III - dobrý

Větší závady, které nemohou nijak ovlivnit zatížitelnost např.:

- zděné konstrukce - větší nepřesnosti při zdění v lící zdiva,
- betonové konstrukce - lokální vlasové smršťovací trhliny šířky do 0,2 mm,
- ocelové konstrukce - povrchové vady ochranného protikorozního systému,
- první stopy koroze ocelové konstrukce (bodové počínající rezivění),
- mostní svršek a ostatní - začínající poruchy krytu vozovky,
- stopy po zatékající vodě přes římsy, lokální stopy po prosakující vodě.

IV - uspokojivý (neuspokojivý)

Závady a poruchy nemající okamžitý nepříznivý vliv na zatížitelnost, které však mohou zatížitelnost v budoucnu ovlivnit, např.:

- zděné konstrukce - vydrolená malta ze spár, uchycená vegetace ve zdivu, lokální trhliny větší než 0,4 mm,
- betonové konstrukce - lokální trhliny šířky větší než 0.2 mm,
- ocelové konstrukce - povrchové orezivění povrchu ocelové konstrukce do 5% povrchu,
- mostní svršek a ostatní - netěsné mostní dilatační závěry, poruchy krytu vozovky a chodníků.

V - špatný

Závady a poruchy ovlivňující sice zatížitelnost, ale odstranitelné ještě bez větších zásahů do konstrukce např.:

- zděné konstrukce - trhliny šířky větší než 4,0 mm,
- betonové konstrukce - trhliny šířky větší než 0.4 mm, koroze betonářské výztuže,
- ocelové konstrukce - povrchové orezivění v ploše nad 5%, orezivění se zrnitým povrchem, počínající silná koroze s počínajícím oslabením nosných částí.

VI - velmi špatný

Závady a poruchy ovlivňující zatížitelnost a odstranitelné pouze opravou zahrnující důležité části konstrukce, např.:

- zděné konstrukce - plošně hloubkově porušené zdivo,
- betonové konstrukce - koroze betonářské výztuže s oslabením průřezu,
- ocelové konstrukce - oslabení kteréhokoliv prvku v důsledku koroze do 15% průřezové plochy.

VII - havarijní

Závady a poruchy ovlivňující zatížitelnost takovou měrou, že vyžadují okamžitou nápravu pro odvrácení havárie, podepření popř. uzavření mostu např.:

- zděné konstrukce - výrazné prosednutí klenby (deformace větší než 100 mm),
- betonové konstrukce - koroze betonářské výztuže s oslabením průřezu větším než 15% průřezu.

Provádění vizuálních prohlídek mostních objektů

Při vlastním provádění prohlídek mostních objektů, které se provádí v rámci stanovení jejich životnosti, je nutné se především zaměřit na nejčastější závady nosné konstrukce a spodní stavby, kterou je podle statistických hodnocení především koroze výztuže. Koroze výztuže je v našich podmínkách způsobena

ztrátou ochranných vlastností krycí betonové vrstvy vlivem karbonatace, pronikáním chloridů používaných při zimní údržbě a především zatékáním vody k výztuži. Další vážnou závadou je nekvalitní nebo degradovaný beton konstrukce. U všech zjištěných závad se provede popis jejich rozsahu, přesná lokalizace výskytu a podrobná fotodokumentace.

Fotodokumentace

Součástí prováděné hlavní (mimořádné) prohlídky je vždy podrobná digitální fotodokumentace, která umožní následné zhodnocení vývoje závad v čase. Fotodokumentace je součástí databáze provedených prohlídek a je trvale uložena jako součást archivovaných dat v Systému hospodaření s mosty.

Fotodokumentace zjištěných závad má být prováděna tak, aby bylo možné posoudit změnu rozsahu poškození pro danou část mostního objektu a odhadnout další možný vývoj rozhodujících závad.

Bezpečnost provozu na mostním objektu (Použitelnost)

Hodnocení závad u příslušenství mostního objektu nemá zpravidla vliv na zatížitelnost, a proto je nově definováno hodnocení vzhledem k použitelnosti mostního objektu (myšleno především z hlediska bezpečnosti provozu).

Použitelnost reprezentuje ostatní vlastnosti mostního objektu plnit svou funkci, tj. hlavně jeho způsobilost bezpečného provozu. Použitelnost je klasifikována stupněm použitelnosti mostu, kterým se označují závady podle následující stupnice vlivu závady na použitelnost mostu.

Stupeň použitelnosti mostu:

1. použitelný - závady nemající vliv na použitelnost,
2. podmíněně použitelný - závady, které mohou mít v budoucnu vliv na použitelnost,
3. použitelný s výhradou - závady, které mají vliv na použitelnost, ale nevyžadují okamžité omezení provozu,
4. omezeně použitelný - mostní objekt je použitelný pouze pro dočasný omezený provoz,
5. nepoužitelný - mostní objekt není použitelný, je nutné uzavření mostu.

Třídění závad z hlediska použitelnosti mostního objektu

1 - použitelný

Závady nemající vliv na použitelnost mostního objektu - lokální trhliny ve vozovce, lokální povrchová koroze zábradlí a svodidel, drobné nečistoty a uchycená drobná vegetace u obrubníků, začínající povrchová degradace vozovky a chodníků, nečistoty a drobné zatékání do mostních dilatačních závěrů.

2 - podmíněně použitelný

Závady, které mohou mít v budoucnu vliv na použitelnost např. trhliny v krytu vozovky a chodníků, začínající povrchová koroze sloupků svodidel nebo zábradlí, začínající lokální výtluky v krytu vozovky, silné zatékání a porušené těsnící profily mostních dilatačních závěrů.

3 - použitelný s výhradou

Závady, které mají vliv na použitelnost, ale nevyžadují okamžité omezení provozu např. lokální výtluky ve vozovce, příčné nerovnosti nebo vyjeté koleje (hloubka do 50 mm) , lokální hromadění vody na vozovce, rovnoměrná koroze záchytného zařízení, zábradlí, protidotykového zařízení nebo dopravního značení, částečně uvolněné prvky mostních dilatačních závěrů.

4 - omezeně použitelný

Mostní objekt je použitelný pouze pro dočasný omezený provoz, závady vyžadují okamžité provizorní opatření nebo dopravní omezení. Jedná se o závady jako je např. uvolněné zábradlí nebo záchytné zařízení, plošné porušení vozovky (výtluky, stojící voda), výrazné příčné nerovnosti nebo vyjeté koleje (hloubka větší než 50 mm), navýšení vozovky do úrovně obrubníků, povrchová koroze převáděných produktovodů, uvolněné prvky mostních dilatačních závěrů.

5 - nepoužitelný

Mostní objekt není použitelný pro bezpečný provoz, je nutné uzavření mostu nebo jeho části. Jedná se o závady jako je např.: zřícené zábradlí nebo zábradelní svodidlo, uvolněné a volně odpadávající části říms a zábradlí nad komunikací s veřejným provozem, volně stékající voda z mostního objektu na trolejové vedení pod mostem,

značně poškozená protidotyková zařízení, silná koroze převáděných produktovodů s možností porušení potrubí, utržené nebo chybějící části mostních dilatačních závěrů.

Naléhavost odstranění závady

Tato charakteristika, jejímž parametrem je doba, po které závada způsobí snížení technického stavu mostu, tj. zpravidla zatížitelnosti nebo použitelnosti, není při provádění prohlídky mostního objektu samostatně klasifikována. Tento způsob hodnocení není zahrnut přímo do prohlídky mostu, ale je zohledněn v údržbovém modulu, kde je zařazen jako **priorita požadavku na údržbu**.

Parametrem této charakteristiky je stupeň reprezentující dobu, do kdy je nutné závadu odstranit. Vlastní technická opatření navržená při prohlídce mostu jsou rozdělena na opatření okamžitá (nutné zásahy k zamezení rozsáhlejšího poškození nebo havárie objektu) a opatření dlouhodobá vedoucí k odstranění závady.

Stupně naléhavosti odstranění závady:

1. odstranění možno do 10 let,
2. odstranění nutno do 5 let,
3. odstranění nutno do 1 roku,
4. odstranění do nejbližšího zimního období,
5. odstranění nutno provést ihned,
6. periodicky.

Doporučení a návrhy opatření u jednotlivých objektů pro účely stanovení životnosti

Po provedených prohlídkách se uvedou závěry a doporučení týkající se jednotlivých objektů. Tato doporučení jsou formulována za účelem bližšího určení typu převažujícího degradačního mechanismu a nejvhodnějšího způsobu stanovení životnosti.

Jestliže v době kontroly stavu objektu (při pravidelných či mimořádných diagnostických prohlídkách) není možno určit žádný mechanismus degradace, který by bylo možno označit za převažující či limitující životnost, uvede se rovněž i toto zjištění

v zápisu z prohlídky objektu s poznámkou, že pro účely stanovení životnosti se pro příští období nenavrhují žádná specifická opatření. [4]

2.2 Měřicí metody

Deformace nosné konstrukce lze sledovat buď z horního, nebo spodního líce nosné konstrukce. Při sledování deformací z horního líce NK se měří většinou na vozovce, nebo přilehlém chodníku. Používají se především **optické (geodetické) metody**. Nivelační přístroj (obr. 25) se umístí mimo most (výjimečně na mezilehlou podpěru vícepolového objektu). V měřeném místě (nejčastěji uprostřed rozpětí a co nejbližše stopy projíždějící soupravy) se umístí nivelační lať. Lať může být nahrazena tyčí s kvalitním měřítkem, umístěnou ve stojanu. Stojan lze doporučit robustní, tyč krátkou, v patě opatřenou závažím. Krátká měřicí tyč, nivelační přístroj na stativu s minimálně „vytaženýma nohama“, u něj zkušený pracovník, nehnutě klečící s rukama za zády, jsou základním předpokladem použitelnosti geodetické metody. I při pomalé jízdě soupravy dochází k částečnému rozkmitání konstrukce, které se zdánlivě zvětšuje se vzdáleností od vozovky a následně výrazně komplikuje měření z výše fixovaného stativu.



Obrázek 25. Nivelační přístroj

Geodetické metody (včetně optických se záznamem) jsou nepostradatelné u měření přes elektrifikované tratě nebo přes prudké a hluboké řeky. K jejich výhodám patří rychlost aplikace a netečnost k podmínkám pod mostem. K nevýhodám patří snižující se přesnost měření s délkou záměry, malý počet měřených míst, obtížné (až nemožné) měření v trase přejezdějícího nadměrného břemene. Pokud souprava s nadměrným břemenem projíždí symetricky středem vozovky (v ose mostu), je měření deformací v tomto místě prakticky vyloučené. Plastické deformace vozovky obzvláště v letním období dokáží ovlivnit výsledky měření v těsné blízkosti stopy projíždějící soupravy.

V případě měření vícepolového mostu, kdy stativ s nivelačním přístrojem stojí na mezilehlé podpěře, je nutné (zvláště u rámových konstrukcí) zohlednit naklánění konstrukce nad podpěrrou během přejezdu soupravy. Toto naklánění - úhlově ve vteřinách dokáže výrazně ovlivnit výsledky měření. Jako pevný bod pro měření náklonu se použije měřicí lať (stačí s hrubším měřítkem), umístěná za mostem, nebo na další podpěře. Měřicí latě lze situovat za sebou a během přejezdu jen měnit zaostření. Předpokladem je velmi pomalá jízda soupravy a nivelační přístroj s řádným přiblížením. Běžné stavební nivelační přístroje (dalekohled s přiblížením 17x - 20x), kterými je vybavena většina mostmistrů pro tato speciální měření použitelná nejsou.

O řád přesnější měření lze uskutečnit s nivelačním přístrojem, vybaveným planparalelní deskou. Nezbytným předpokladem je příslušná měřicí lať (k danému přístroji - nelze zaměňovat) a zajištění super pomalého přejezdu, ev. se zastavením soupravy uprostřed mostu (to se ovšem pro přejezdy nadměrných břemen nedoporučuje).

Závěrem k optickým metodám lze konstatovat, že pokud se mostmistr nehřeje v technické přízni svých nadřícených a není vybaven nivelačním přístrojem s velkým přiblížením, je s běžně dostupným nivelákem schopen měřit se záměrou maximálně do 20-25 m. Tedy smysluplné měření mostů s rozpětím do 30-40 m.

Klasické průhyboměry se používají především k měření ze spodního líce nosné konstrukce. K tomu je třeba se dostat a upevnit měřicí drát. Žebříky, lehká lešení, vysokozdvíhné plošiny, instalace z mostní prohlížečky, instalace pomocí horolezecké techniky, lepení všeho druhu, to jsou možnosti a varianty jak ze spodního líce NK

spustit k zemi drát. Nejbezpečnější je samozřejmě zavrtání do betonu a hmoždinka s okem. Výšky NK nad terénem do 8 m jsou bez problémů, ale lze instalovat i dráty do výšek výrazně větších.

Jako závěsy se běžně používají ocelové dráty (při delších závěsech - cca od 30m ocelová, nebo nerezová spletená lanka atd.). Invarové dráty se používají jen v odůvodněných případech (při dlouhodobějším sledování). Měřicí drát (závěs), který je na spodním konci opatřen závažím, musí být instalován minimálně hodinu před měřením.

Během měření je třeba zaznamenávat (min. po 3 minutách) teplotu vzduchu, klimatické a vnější podmínky (vítr, zaslunění závěsů, proud vody a předměty unášené vodou). Do závěrečné zprávy doporučujeme dát skutečný průběh měření a následně buď průběh upravený o vliv klimatických podmínek (dost obtížné), nebo komentář k naměřeným údajům. Měření v noci nebo při zatažené obloze je relativně bez problémů. Zasnívá-li však slunce, pak se na chvíli schová za mraky, závěsy jsou osluněné jen částečně - horní část je ve stínu, spodní na slunci, délka oslunění každého závěsu je jiná, pak je zohlednění změny délky závěsů vlivem klimatických podmínek obtížné.

Průhyboměry lze aplikovat ve všech požadovaných místech, kterých může být hodně, s jejich počtem roste vypovídací schopnost měření - ideálně pod každým nosným prvkem NK.

K dalším výhodám průhyboměrů patří vysoká míra přesnosti měření, která je běžně v desetinách milimetru, ale lze použít i zařízení výrazně přesnější. Mezi nejběžnější průhyboměry patří klasický Metra-Frič (obr. 26). Měřicí rozsah je 30 mm, citlivost (nejmenší čtená hodnota 0,1 mm). Zařízení je stále dobře použitelné nejen ke sledování a vyhodnocení deformací během přejezdu soupravy, ale i pro sledování trvalých deformací, ev. pro dlouhodobější (řádově v hodinách) sledování návratu nosné konstrukce k výchozímu stavu. Během přejezdu nadměrného břemene vyžaduje v souvislosti s počtem měřených míst více obslužného personálu.



Obrázek 26. Průhyboměr Metra-Frič

El. snímače deformací (potenciometrické (obr. 27.), nebo indukční) patří ke klasickým průhyboměrům, navíc jsou však napojeny na měřicí ústřednu a PC, což umožňuje nejen měření mnohokrát za sekundu ale především záznam na PC z většího počtu snímačů. Přesnost měření je dána volbou a rozsahem zařízení. Zjednodušeně platí, čím menší rozsah měření, tím vyšší může být přesnost. Indukční měřáky s rozsahem 1 mm měří s přesností 0,001 mm. Frekvence záznamu se běžně volí 10 - 20 / sekundu. Při měření konstrukcí které jsou „měkké“ a vyžaduje se i orientační zjištění dynamické odezvy lze měřit 100x, 1000 i vícekrát za sekundu.



Obrázek 27. Potenciometrický měřič

S využitím těchto snímačů lze měřit nejen průhyby konstrukcí, ale také změny šířek trhlin (řádově v tisícinách milimetru). Dále lze měřit silové veličiny (dodatečné zesílení konstrukcí), skutečné síly přenášející provizorní podepření aj.

Speciální měřicí systémy - např. Hollanův průtahoměr planžetový (obr. 28) umožňuje krátkodobé měření. Dlouhodobé měření změn šířek trhlin umožňuje druhý typ Hollanova průtahoměru. Patentovaný princip přístroje, spočívající v planžetovém zavěšení dvou systémů vybavených kuličkovými hroty, které se vůči sobě paralelně pohybují se změnou měřené délky. Jejich vzájemný pohyb se odečítá pomocí hodinkového indikátoru s citlivostí 0,01 nebo častěji 0,001 mm. Na konstrukci se přes trhlínu pevně osadí speciální mosazné měřicí body a pečlivě se označí. Základní vzdálenost měřících bodů je 200 mm. Na začátku se zaznamená vzdálenost mezi osazenými body přes trhlínu a porovná s pevnými body na etalonu (invar). Po přejezdu soupravy se provede další měření, které odhalí trvalé změny šířek trhlin. Počet měřených míst není omezen, lze měřit více trhlin. Výhodou systému je možnost kdykoli v měření pokračovat a navázat na předchozí měření. Kromě měření před a po přejezdu soupravy lze doporučit měření při déletrvajících extrémech vnější teploty, které odhalí skutečné chování trhliny, která může pracovat např. jako dilatační.



Obrázek 28. Hollanův průtahoměr

2.3 Problematika nadrozměrných přeprav

V souladu s hospodářským rozvojem naší země dochází k neustálému zvyšování intenzity silniční dopravy. Obdobně stále vzrůstá intenzita nadrozměrných a nadgabaritních přeprav realizovaných po naší silniční síti.

Dle znění zákona č. 13/1997 Sb., §25, čl. 6, odst. a) podléhá přeprava zvlášť těžkých nákladů zvláštním pravidlům. Přitom povolené rozměry a hmotnosti vozidel pohybujících se na silnicích jsou dány vyhláškou č. 341/2002 o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích.

Vozidla splňující parametry výše uvedené vyhlášky se pohybují po silnicích pouze s omezením daným dopravním značením-tj. dopravními značkami B13 (zákaz vjezdu vozidel s okamžitou hmotností přesahující uvedenou hodnotu) a E5 (nejvyšší dovolená hmotnost projíždějícího vozidla jedoucího jako jediné vozidlo).

Pokud vozidlo nebo souprava překračuje povolené hodnoty, potom je nutné získat od příslušných správních orgánů povolení k realizaci každé takové přepravy. Toto povolení vydávají pracoviště Ministerstva dopravy ČR, dislokovaná zpravidla na některých správách Ředitelství silnic a dálnic ČR.

Pracovníci povolující nadgabaritní a nadrozměrné přepravy sice mají k dispozici data potřebná k rozhodnutí (v případě nadgabaritních přeprav se jedná hlavně o hodnoty výhradní nebo výjimečné zatížitelnosti), ale zejména při povolování přejezdů těžších souprav spolupracují s jednotlivými správci (tj. s dotčenými správami ŘSD, krajskými nebo okresními správami silnic, případně s městy nebo obcemi). Ti se k přepravám vyjadřují a mohou si klást určité podmínky.

V poslední době se frekvence nadgabaritních přeprav neustále zvyšuje. Dokonce i hodnoty celkové hmotnosti takových přeprav se zvyšují. Celková hmotnost souprav nad 100 tun je celkem běžná záležitost. Z vlastní praxe považuji hodnoty 120-160 tun za časté. Několikrát ročně se firma pro kterou pracuji vyjadřuje k přepravě souprav s celkovou hmotností kolem 200 tun. V tomto roce byly přes území východních Čech realizovány 2 přepravy s celkovou hmotností převyšující 465 tun a 88 m délky (obr. 29).



Obrázek 29. Nejdelší a nejtěžší přeprava realizovaná v ČR

Realizace nadgabaritní přepravy je zcela určitě značně složitá technicky i organizačně. Vyžaduje drahou techniku a množství obslužného personálu. Tomu odpovídá i vysoká cena takových přeprav. I přes pozornost, která je takovým přepravám věnována, dochází zcela určitě v důsledku zvýšeného zatěžování silničních komunikací k poškozování silnic i mostů.

Poškození mostních objektů nadgabaritní přepravou není sice okamžité a fatální, ale zvýšené statické namáhání se postupně podepisuje na stavu mostů.

K zamyšlení v tomto případě nutí skutečnost, že stát na přímých poplatcích za povolení takové přepravy po silniční síti vybere pouze 2 500,-, resp. 6 000,-Kč. Přitom stát investuje do výstavby a údržby silniční sítě a realizace nadgabaritních přeprav má na stav silnic a mostů zcela určitě negativní vliv.

Správci vyjadřující se k realizaci přepravy nemají v současné době dle mého názoru mnoho možností k zásadnímu ovlivnění přepravy. Určitě ale mají právo vyžadovat informace o nadgabaritní soupravě a o vlivu na bezpečnost silniční sítě, zejména potom mostních objektů:

- k žádosti o vyjádření správce by proto měl být předložen posudek statika s rozbořem bezpečnosti,
- průjezdu přes jednotlivé mostní objekty, případně se stanovením režimu průjezdu (např. s odpojením postrku, průjezdu v určené ose, atd.),
- je výhodné požadovat zaslání přesného harmonogramu přepravy a provést kontrolu realizace přepravy a dodržení požadavků,
- správce může požadovat ověření chování mostní konstrukce při přejezdu soupravy a vyhodnocení tohoto chování,
- obvykle je správce oprávněn požadovat provedení mimořádných prohlídek přejížděných mostů před přepravou a po přepravě.

Ověření chování mostní konstrukce při přejezdu soupravy

Při přejezdu těžších souprav je pro správce výhodné požadovat ověření chování mostní konstrukce. Měřením průhybů je možné získat informace:

- o největší hodnotě průhybu nosné konstrukce nebo stativ spodní stavby,
- o příčné tuhosti nosné konstrukce. Tato vlastnost je zajímavá například u nosných konstrukcí z podélných prvků, kde je možné usoudit na poruchy příčného spolupůsobení. K tomu je nutné měření deformací provést na více místech příčného řezu,
- o trvalé deformaci sledované konstrukce způsobené jejím přetížením. Měření průhybů nesmí skončit s průjezdem soupravy, ale mělo by pokračovat až do doby ustálení hodnot průhybů (zpravidla cca 5 – 10 min. po přejezdu soupravy),
- porovnáním naměřených hodnot ve stejných místech lze do určité omezené míry v budoucnu odhalit případné poruchy mostní konstrukce.

Mimořádné mostní prohlídky

Tyto prohlídky je možné požadovat po realizaci přepravy, lépe však před a po přepravě. Jejich úkolem je nejen doložit vliv konkrétní přepravy na stav mostní konstrukce, ale také zmapovat aktuální stav mostní konstrukce.

Mimořádné prohlídky musí dle ČSN 73 6221 provést oprávněná fyzická nebo právnická osoba, tj. osoba vlastnící oprávnění k výkonu hlavních a mimořádných prohlídek mostů pozemních komunikací.

Podle ČSN 73 6221 se mimořádnou prohlídkou stanoví okamžitý stav mostu včetně zjištění všech dosavadních poruch tak, aby bylo možné identifikovat poruchy vzniklé od minulé prohlídky. Přitom způsob provádění a rozsah mimořádné prohlídky odpovídá úrovni hlavní prohlídky a pokud to vyžaduje situace nebo poškození mostu, provede se podrobnější vyšetření prvků, hmot apod.

Ke kvalifikovanému posouzení stavu mimořádnou prohlídkou je nutné vybavit osoby provádějící prohlídku zápisy z předešlých hlavních prohlídek.

Prohlídka by potom měla obsahovat nejen zjištění aktuálního stavu spodní stavby a nosné konstrukce s přihlédnutím k vlivům nadgabaritní přepravy, ale měla by obsahovat zjištění dle osnovy dané normou..

Výsledkem mimořádné mostní prohlídky je stanovení stavebně-technického stavu objektu a návrh opatření na zlepšení stavu mostu.

Z uvedeného vyplývá, že mimořádná prohlídka provedená za účelem zjištění aktuálního stavu má všechny důležité prvky hlavní mostní prohlídky. Pro správce mostu se tak nabízí možnost "získat protihodnotou" za zvýšené namáhání jím spravovaných objektů alespoň plnohodnotný protokol mostní prohlídky s platností prohlídky hlavní. [4]

2.4 Přejezd břemene nadměrné hmotnosti jako diagnostická metoda

Jednorázový přejezd břemene nadměrné hmotnosti po mostě nelze považovat za zatěžovací zkoušku, nicméně správná interpretace naměřených hodnot může mít vysokou vypovídací schopnost. Porovnání naměřených hodnot deformací s hodnotami vypočtenými dá ukázkou o skutečném stavu konstrukce, toto porovnání však musí provádět zkušený statik, nejlépe ten, který most posuzoval před přejezdem nadměrného břemene. Ale i bez velké znalosti statiky lze z grafického průběhu deformací, měřených v příčném řezu v různých místech usuzovat např. na příčné roznášení konstrukce. Mnoho našich mostů budovaných v šedesátých letech bylo příčně předpjato. Při plné funkčnosti tohoto předpětí mohou tyto konstrukce představovat až tuhou desku, tedy deformace krajních a středních nosníků jsou (měly by být) prakticky srovnatelné. Při pohledu na grafický záznam měření deformací při přejezdu břemene předepsanou stopou lze ihned usuzovat na stav tohoto příčného předpětí. Jde tedy o diagnostickou metodu, která správce mostu nestojí nic a jejíž vypovídací schopnost je vysoká. Pokles příčného předpětí bývá nejčastěji způsoben korozí příčné předpínací výztuže v místech pod vanovou izolací. Oprava původních kabelů je vyloučená, u pohledově dostupných příčníků je nové příčné předpětí možné externími lany, které „přinutí“ krajní nosníky k aktivnějšímu spolupůsobení při přenosu nahodilého zatížení. Zvýšení únosnosti mostu je provedeno napříč NK, tedy bez zásahu do izolace a vozovkového souvrství, je možno i s minimálním omezením provozu. Ekonomickou výhodnost (smysl opravy) musí zhodnotit odborník.

Na grafickém záznamu (obr. 32) přejezdu břemene nadměrné hmotnosti jsou na svislé ose hodnoty průhybu, jehož hodnoty se značí kladně nahoru, přizvednutí konstrukce má záporné znaménko. Na ose vodorovné je čas, uváděný u delších měření jako reálný, při krátkodobějším měření se pro přehlednost zaznamenává čas v sekundách, většinou je startovací čas krátce před vjezdem soupravy na most.

Při přejezdu běžných břemen je průhyb mostní konstrukce pružný, tedy deformace jednotlivých prvků před a po přejezdu běžného břemene je srovnatelná (nulová). V případě zatížení konstrukce břemenem nadměrné hmotnosti se deformace (průhyb) skládá ze složky pružné a složky „trvalé“, kterou v grafickém záznamu představuje hodnota mezi deformační křivkou po přejezdu a vodorovnou osou. Pojem „trvalá“

deformace je uveden záměrně v závorce, neboť jeho hodnota s časem klesá. Stav po přejezdu lépe vystihuje pojem pružně zpožděná deformace. Další měření po přejezdu umožní sledovat rychlost návratu konstrukce k původnímu stavu.

Analýza deformačních křivek pak odhaluje skutečný stav jednotlivých prvků (nosníků), kdy některé prvky, které během přejezdu nedosáhly maximálních deformací mají po přejezdu větší „trvalé“ deformace, než pružně se chovající prvky sousední.

Další výhodou sledování chování konstrukce po přejezdu je skutečnost, že dá reálný obraz o běžném provozu, tedy o deformacích konstrukce vyvolaných běžným provozem. Především u krátkých mostů (s nerovnostmi vozovky, které zvyšují dynamické účinky) mohou být deformace způsobené rychle jedoucími nákladními auty srovnatelné s deformacemi vyvolanými dlouhou nadměrnou soupravou, jedoucí přes sledovaný most rychlostí 5 km/h.

Sledování deformací (včetně chování trhlin nebo sledování dalších, např. silových veličin) je velmi zajímavá (lze napsat i vzrušující) disciplína, která dokáže technikovi potvrdit dobré předpoklady a současně mnohdy překvapí skutečnostmi, které nečekal.
[4]

3 Vizuální analýza konkrétního mostu (Cerekvice nad Loučnou)

Most vybraný pro projekt zlepšení měření se nachází u obce Cerekvice nad Loučnou – evidenční číslo 35 - 095. Most byl postaven v roce 1975 z železobetonových předepjatých nosníků KA-61. Most je jednoplošný a skládá se z 12 těchto nosníků. Jeho délka je 18,8 m a šířka je 12,85 m. Bezpečnost konstrukce byla posouzena stavem IV-uspokojivý stav, použitelnost byla posouzena stavem II-podmíněně použitelné. Celková zatížitelnost mostu je 156 tun. Most je dosti sledován, protože ho čeká celková rekonstrukce spojená s opravou celé silnice 35 v okrese Svitavy. Most se nachází na značně vytížené dopravní tepně. Přejede ho 20 tisíc aut a kamionů denně. Přes most jezdí i hodně nadměrných přeprav, které značně přesahují stanovené zatížitelnosti mostu. Někdy i dvojnásobek povolené nosnosti. Na mostu je patrný vznik inkrustací (obr. 30) , které provází velké zavlhání celé konstrukce mostu. Pod mostem teče malý potůček s výškou hladiny 15 cm, rychlost tekoucí vody je 1 m/s.



Obrázek 30. Inkrustace a zatékání na mostní konstrukci

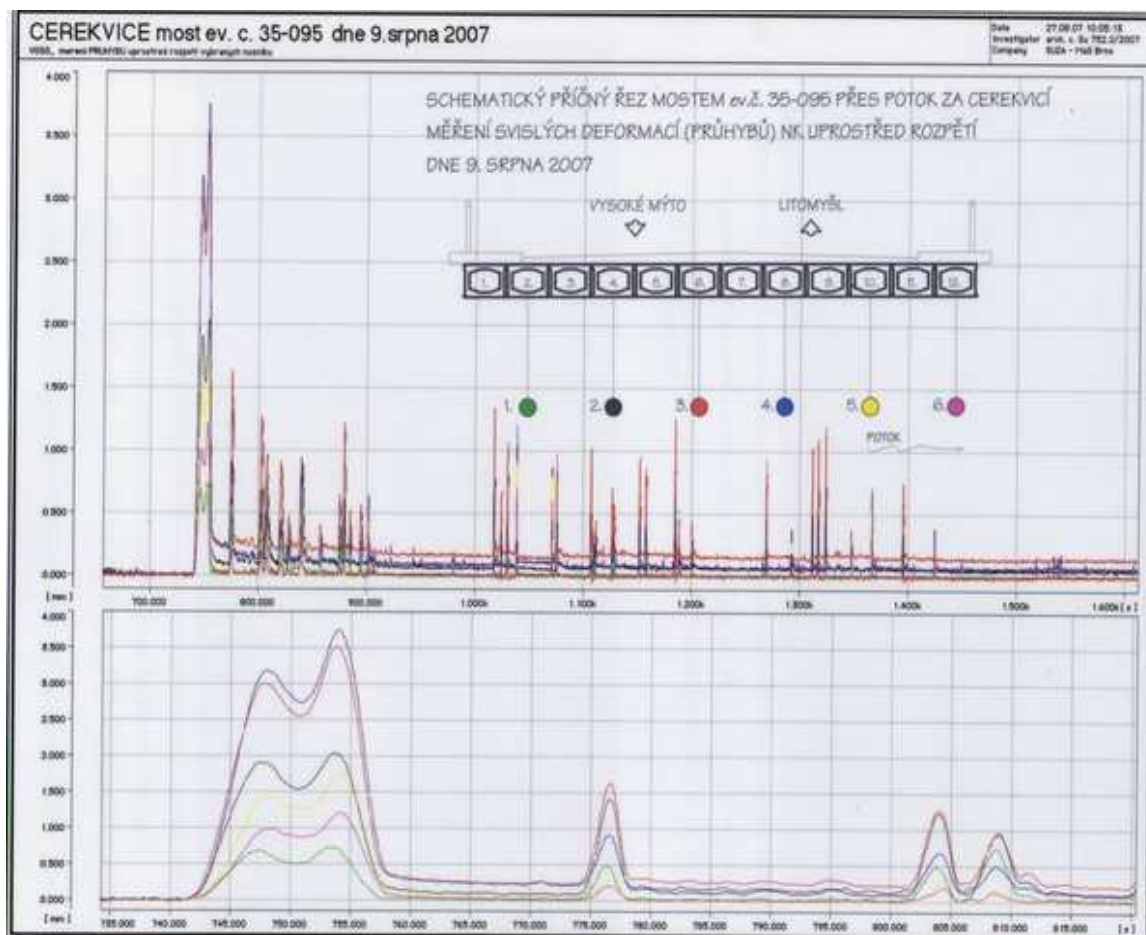


Obrázek 31. Celkový pohled na most Cerekvice nad Loučnou č. 35 - 095

3.1 Postup měření pomocí el. snímačů deformací

Svislé deformace (průhyby) jsou měřeny uprostřed rozpětí pokud možno alespoň na 6 nosnících. Deformace jsou měřeny přes měřicí adaptér UM8 (BMC Mnichov) se záznamem na PC. Rozsah měřicího zařízení je -20 až +38 mm, rozlišení záznamu je $\pm 0,05$ mm, frekvence se většinou nastavuje na 10 snímaných hodnot za sekundu. Doba záznamu bývá nastavena na 1 hodinu 23 minut. Před přejezdem byla na všech snímačích nastavená přibližná nula, umožňující snímání kladných i záporných hodnot. V PC pak byla nastavena pro každý signál samostatně nula digitální. Interpretace výsledků bývá provedena programovým systémem NextView.

V měřených místech byly s dostatečným předstihem před přejezdem soupravy spuštěny ze spodního líce nosníků měřicí dráty s přiměřeným závažím, které byly napojeny na elektrické snímače deformací, fixované v korytě potoka pod mostem. Naměřené signály přesně zachycují režim přejezdu včetně pružně zpožděných deformací, které jsou bezprostředně po přejezdu měřitelné a v grafu (obr. 32) jsou také zaznamenány. [5]



Obrázek 32. Znáznorněný průhyb v grafu

3.2 Přesný postup nachystání věcí pro měření mostů

- vizuální kontrola mostu, zjištění umístění stojánků s potenciometry, odhad hloubky vody, překážek,
- montáž pomocí sádry bodů spojených s drátem na nosnou konstrukci mostu (obr. 33),



Obrázek 33. Sádrové body na mostní konstrukci

- sestavení měřících stojánků s potenciometry (obr. 34),



Obrázek 34. Sestavený stojánek

- spojení zavěšení z mostu se závažím a stojánkem (obr. 35),



Obrázek 35. Kompletace se závěsem z mostu

- připojení kompletních stojánků k PC pomocí datových kabelů (obr. 36),



Obrázek 36. Propojený PC s el.snímači

- vizuální kontrola všech spojů a vyzkoušení spuštění programu,
- na nečisto pustit měření se záznamem a dotykem na ocelové závěsy zjistit, že vše funguje bez problémů, na displeji se zobrazí proměnlivé hodnoty po každém dotyku na určitý el. snímač,
- spuštění programu min.15 min před přejezdem těžké přepravy.

4 Lokalizace a analýza vzniku nepřesnosti při měření

Během letité praxe s měřením se vždy vyskytnou problémy, které komplikují a zhoršují průběh měření a zkreslují jeho věrohodnost. Zjistilo se, že veliký vliv na přesnost měření mají velké výkyvy teplot, oslunění některých částí ocelových závěsů z mostu, měření mimo svislou osu, velký vítr a další drobnosti, které napomáhají k nepřesným výsledkům. Pro zjištění povětrnostních podmínek se začala měřit teplota a vlhkost, která se zaznamenává do digitálního teploměru.

Další velké problémy také nastávají, když se měří mimo svislou osu závěsu z mostu. Někdy nejde stojánek postavit doprostřed mostu přímo pod závěs z mostu, tak se v minulosti postavil např. až 4 m od středu mostu a od spuštěného závěsu, tak vznikala velká nepřesnost měření.

4.1 Vliv druhu materiálu závěsů na přesnost měření

Částečné oslunění závěsů způsobí na záznamu přídatné deformace, jejíž velikost je závislá na procentuálním osluněním jednotlivých drátů, které je po šířce mostu na jednotlivých závěsech různé. Výše zmíněné přídatné deformace jsou způsobené teplotní změnou části závěsu a velikost deformace je závislá jak na délce původního závěsu, tak na tepelné roztažnosti látky, kterou tvoří závěs. Řešení spočívá v použití materiálu s malou tepelnou roztažností.

Tepelná délková roztažnost se dá spočítat dle vzorce: $l = l_0 \times (1 + \alpha \times \Delta T)$ (1)

,kde l_0 - původní délka,

α - součinitel tepelné roztažnosti (viz Tabulka 2),

ΔT - změna teploty.

Tabulka 2. Součinitelé teplotní roztažnosti α u různých materiálů

Látka	$\frac{\alpha}{10^{-6} / ^\circ\text{C}}$	Látka	$\frac{\alpha}{10^{-6} / ^\circ\text{C}}$
Olovo	51	Ocel	11
Hliník	29	Sklo(pyrex)	3,2
Mosaz	19	Diamant	1,2
Měď	17	Invar	0,7
Beton	12	Tavený křemen	0,5

Pro naše účely je vhodná ocel, skelná vlákna a v některých případech i invar. Výzkum byl prováděn na mostě u Cerekvice nad Loučnou. Byly použity závěsy z materiálu:

- ocelový drát nerezový kruhový EN 10218-2 s pevností 1100 MPa , $\varnothing$ 0,5 mm,
- tažený ocelový drát žíhaný ČSN 4264105 s pevností 750 MPa, $\varnothing$ 0,5 mm,
- vlákno Dyneema s příměsí skelných vláken a kevlaru, $\varnothing$ 0,5 mm,
- invar nebyl z finančních důvodů použit - na každé měření by bylo potřeba 20 m invarového drátu, drát není také tak tvárný, aby se otočil okolo kladky (obr. 37) montované na potenciometru.



Obrázek 37. Kladka na potenciometru

Výzkum vlivu materiálu při změně teploty na přesnost měření na konkrétním mostě v Cerekvici nad Loučnou

Most a jeho stav byl již popsán dříve, na mostě bylo postaveno 6 měřících stojánků s el.snímači, závěsy byly z různých materiálů (ocelový drát žíhaný, nerezový drát a vlákno Dyneema s příměsí skelných vláken a kevlaru. Průběh teploty a vlhkosti byl zaznamenám do grafu (viz Příloha 2). Průběh měření průhybů byl zaznamenám do grafu (viz Příloha 1). Postavení stojánku v řadě za sebou v polovině rozpětí mostní konstrukce (obr. 38). Datové kabely zavěšeny tak, aby voda nezpůsobovala vibrace stojánků. Nadměrná přeprava jela rychlostí 5 km/h (obr. 39), středem mostu pro objektivnost zatížení. Po přejetí přepravy se nechalo puštěné měření 30 minut pro objektivní výsledky.



Obrázek 38. Postavení stojánků pod mostem



Obrázek 39. Přejezd přepravy po středu mostu rychlostí 5km/h

4.2 Měření mimo svislou osu

Problém nastává při měření mimo svislou osu závěsu z mostu. Někdy nejde dát přesně do poloviny rozpětí mostní konstrukce měřicí stojánky, ať už vlivem velké hloubky vody nebo velkého proudu. Tento problém lze řešit tak, že se stojánky dají mimo svislou osu někdy až do vzdálenosti 4 m od ní. To ale způsobuje velké nepřesnosti měření, které jsou znatelné v grafu a vymykají se logickému výsledku po přejetí nadměrné přepravy.

Výzkum vlivu měření mimo svislou osu byl proveden ve firmě Mostní a silniční s. r. o.

Pro výzkum byly připraveny 3 kompletní měřicí stojánky s el.snímači +1 el. snímač byl připevněn na pevnou desku, na které byly připevněny všechny závěsy z ocelových drátů. Na desce byl namontován mechanismus (obr. 40), který spouštěl všechny závěsy o stejnou délku s digitální posuvkou na kontrolu délky. Všechny snímače byly v jedné linii a v určených délkách od sebe (obr. 41). Snímače byly zapojeny do PC (obr. 42), kde se zaznamenalo v grafu (viz Příloha 3) rozdílné posunutí v závislosti na délce od svislé osy měření.



Obrázek 40. Posunovací mechanismus



Obrázek 41. Rozmístění stojánků



Obrázek 42. Zapojení do PC

5 Vyhodnocení a analýza výsledků

U prvního výzkumu bylo dosaženo negativního výsledku. Materiál do kterého byly vkládány naděje, že bude mít lepší vlastnosti při měření než klasický žíhaný ocelový drát, praktický výzkum vyvrátil.

U druhého pokusu bylo dosaženo pozitivních výsledků. Výzkum prokázal a objasnil důvod nepřesností vznikajících při měření mimo svislou osu.

5.1 Vliv druhu materiálu závěsů při změně teploty na přesnost měření

U prvního výzkumu při zkoumání vhodnosti materiálu s malou tepelnou roztažností bylo rozmístěno pod most v Cerekvici nad Loučnou 6 stojánek s el. snímači. Na každý el.snímač byl připojen závěs z jiného materiálu (viz Tabulka 3).

Tabulka 3. Rozdělení materiálu závěsů na snímače

Materiál závěsu	Číslo snímače	Barva v grafu(viz Příloha1)
Ocelový drát nerezový, pevnost 1100MPa	Snímač 1.	Fialová
Vlákno Dyneema	Snímač 2.	Modrá
Vlákno Dyneema	Snímač 3.	Černá
Ocelový drát žíhaný, pevnost 750 MPa	Snímač 4.	Zelená
Vlákno Dyneema	Snímač 5.	Červená
Ocelový drát žíhaný, pevnost 750 MPa	Snímač 6.	Žlutá

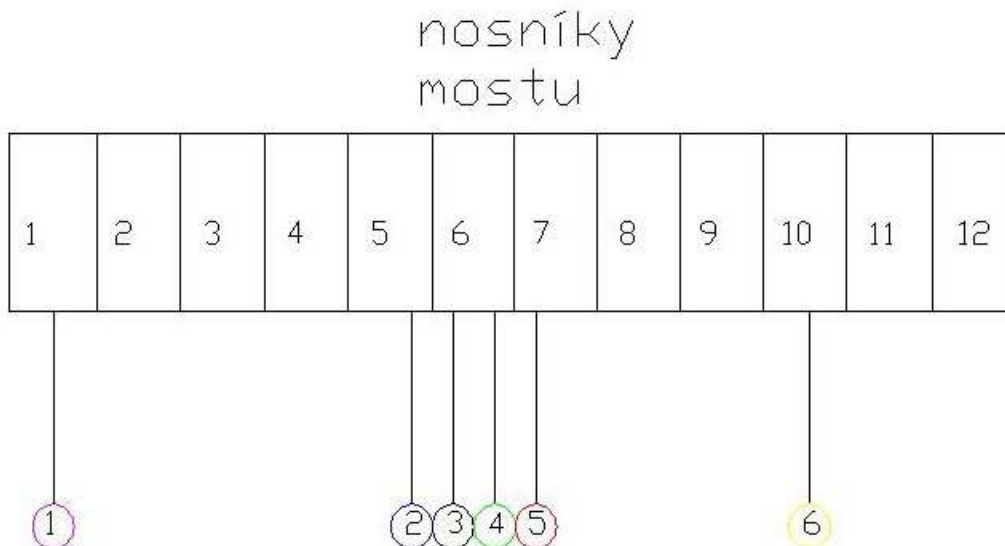
Dle grafu (viz Příloha 1) se určil max. průhyb na jednotlivých snímačích (viz Tabulka 4).

Tabulka 4. Maximální průhyby zaznamenané na snímačích

Číslo snímače	Průhyb naměřený při max.zatížení při přejezdu nadrozměrné přepravy (mm)
Snímač 1.	0,80
Snímač 2.	3,15
Snímač 3.	4,00
Snímač 4.	3,90
Snímač 5.	4,50
Snímač 6.	1,90

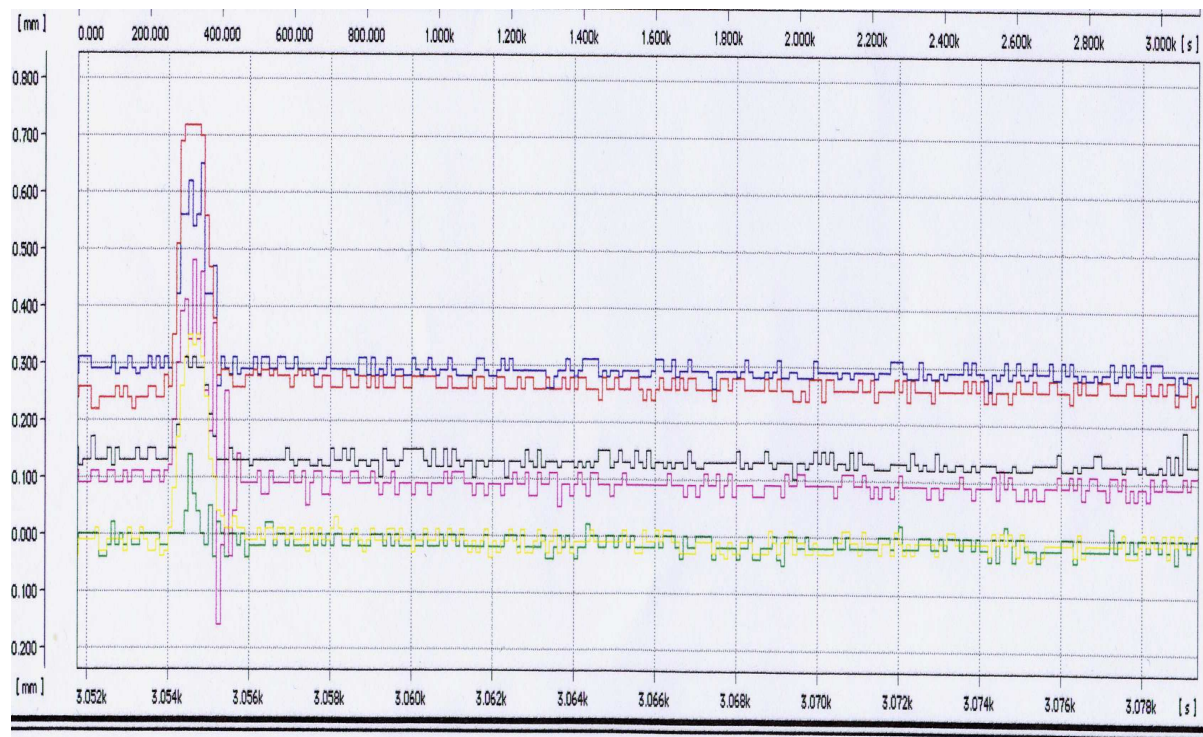
Průhyb na snímačích 2, 3, 4, 5 je největší, protože jsou umístěny v prostředku mostu a nadměrná přeprava jela také středem mostu.

Rozmístění snímačů pod mostem dle nosníku (obr. 43)



Obrázek 43. Rozmístění snímačů na mostní konstrukci - rozdělení dle barev

Během průběhu měření se rapidně snížila teplota a to z 10 °C na 3 °C (viz Příloha 2). Díky tomu se projeví určité vlastnosti materiálu. Pro objektivnost se udělal výřez (obr. 44) konce měření z (viz Příloha 1) , aby se lépe vysledovalo, které závěsy se nevrátily do původního stavu před přejezdem nadrozměrné přepravy. Přípustná odchylka od původního stavu je určena 5% z maximálního průhybu.

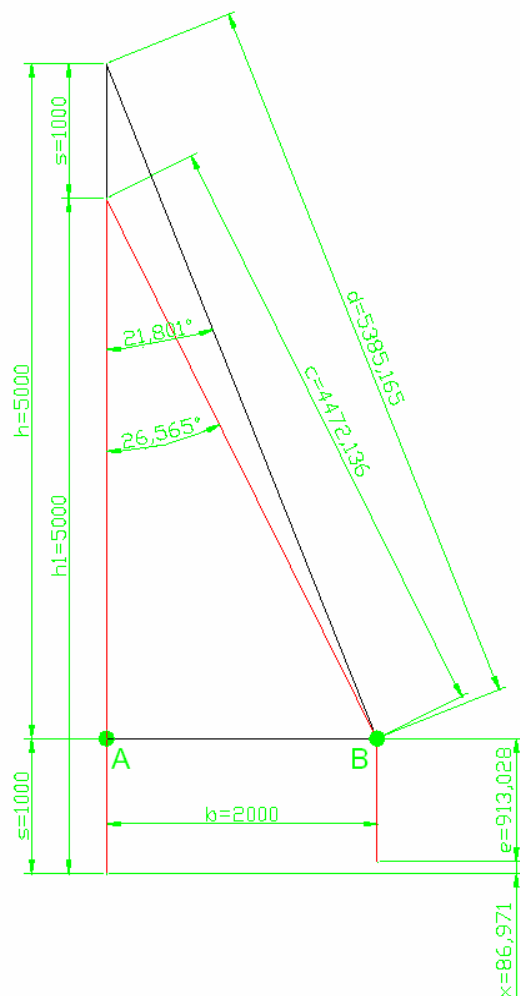


Obrázek 44. Výřez z grafu - zvětšený konec měření

Na (obr. 44) je zřetelně vidět, že vlákna Dyneema (2 - modrá, 3 - černá, 5 – červená) se bohužel nevrátila do rozumného rozmezí 5%, ocelové a nerezové závěsy se v rámci rozmezí patřičně vrací. Ideální by bylo, kdyby se všechny závěsy vrátily do původního stavu tj. na nulový průhyb.

5.2 Vliv na přesnost měření mimo svislou osu závěsu

U druhého výzkumu, který byl proveden ve firmě Mostní a silniční s.r.o. se vyhodnocovalo jaký má vliv na přesnost měření mimo svislou osu závěsu. Nastínění vysvětlení na jednoduchém obrázku (obr. 45).



Obrázek 45. Vysvětlení proč je měření mimo osu zavádějící

Veličiny z obrázku:

$h = 5000$ mm - celková délka závěsu,

$h1 = 5000$ mm – celková délka po zatížení v bodě A - (červená barva),

$s = 1000$ mm - celkový průhyb mostu,

$b = 2000$ mm - odchylka od svislé osy,

$d = 5385,165$ mm - délka přepony před zatížením,

$c = 4472,136$ mm - délka přepony po zatížení - (červená barva),

$\alpha = 21,801$ - úhel od svislé osy před zatížením,

$\beta = 26,565$ - úhel od svislé osy po zatížení,

$e = 913,028$ mm naměřený průhyb v bodě B - (červená barva),

$x = 86,971$ - rozdíl v průhybech v bodech A a B (korekce).

Na obrázku je vidět rozdíl naměřených hodnot v bodě A a v bodě B. Hodnoty jsou nasimulovány, aby byl patrný rozdíl v měření mimo svislou osu. Rozdíl v naměřených průhybech když se most prohne o 1000 mm je v bodě A naměřen průhyb 1000 mm a v bodě B, který je posunut o 2000 mm mimo svislou osu je průhyb 913,028 mm, což je o 86, 971 mm méně než v bodě A.

Praktický výzkum byl proveden a potvrdil teoretické výpočty. Výsledky jsou zaznamenány (viz Tabulka 5) a v grafu (viz Příloha 3).

Tabulka 5. Zjištění chyby při měření mimo svislou osu

Číslo snímače	Vzdálenost od svislé osy (mm)	Naměřené hodnoty (mm)	Vypočítaná korekce X dle programu (viz Příloha 4)	Skutečný průhyb (mm)
1	0	0,62	0	0,55
2	1030	0,46	0,11	
3	1970	0,48	0,13	
4	2890	0,21	0,35	
1	0	1,07	0	1,15
2	1030	0,8	0,29	
3	1970	0,7	0,56	
4	2890	0,3	0,73	
1	0	3,16	0	3,12
2	1030	2,36	0,79	
3	1970	1,73	1,54	
4	2890	1,07	2,00	
1	0	4,14	0	4,04
2	1030	3,09	1,03	
3	1970	2,2	2,00	
4	2890	1,45	2,60	
1	0	5,14	0	5,03
2	1030	3,02	1,28	
3	1970	2,64	2,48	
4	2890	1,8	3,21	

Číslo snímače	Vzdálenost od svislé osy (mm)	Naměřené hodnoty (mm)	Vypočítaná korekce X dle programu (viz Příloha 4)	Skutečný průhyb (mm)
1	0	6,14	0	6,06
2	1030	4,62	1,54	
3	1970	3,14	2,99	
4	2890	2,16	3,87	
1	0	7,12	0	7,06
2	1030	5,36	1,79	
3	1970	3,62	3,48	
4	2890	2,53	4,51	
1	0	8,16	0	8,01
2	1030	6,07	2,04	
3	1970	4,11	3,95	
4	2890	2,89	5,12	
1	0	9,28	0	9,13
2	1030	6,91	2,32	
3	1970	4,62	4,51	
4	2890	3,30	5,83	
1	0	10,25	0	10,06
2	1030	7,64	2,56	
3	1970	5,12	4,97	
4	2890	3,64	6,43	
1	0	20,04	0	20,02
2	1030	15,19	5,13	
3	1970	10,16	9,93	
4	2890	7,32	12,83	

Z tabulky je jasné, že záleží na vzdálenosti měření od svislé osy závěsu.

6 Nápravná opatření a doporučení

6.1 Vliv druhu materiálu závěsů na přesnost měření

Výzkumem bylo zjištěno, že na přesnost měření při změně teploty záleží na zvoleném materiálu závěsu spuštěného z mostu. Námi zkoušený nový materiál Dyneema s příměsí skelných vláken a kevlaru nedopadl v testech podle očekávání.

Doporučení:

Pokračujícím výzkumem s různými druhy materiálu lze pokračovat nadále. Vhodný materiál by se měl skládat ze skelných vláken a jeho příměsí, neboť sklo má velmi malou roztažnost vlivem změn teplot. Invarový drát je také velice vhodný materiál, ale kvůli jeho nevhodným ohybovým vlastnostem a velmi drahým pořizovacím nákladům nebyl pro náš výzkum vhodný. Řešení spočívá také ve spojení invarového drátu a drátu ocelového, který se dá lehčeji omotat kolem kladky na el.snímači. Dalším opatřením je nadále stále měřit výkyvy teplot, vlhkost a nadále i nově rychlost a směr větru pomocí anemometru a výsledky vkládat do zprávy o přejezdu nadrozměrné přepravy.

6.2 Vliv na přesnost měření mimo svislou osu závěsu

Výzkumem bylo zjištěno, že na přesnost měření má veliký vliv postavení měřících stojánek mimo svislou osu. Praktický i teoretický výzkum dopadl pozitivně v obou případech.

Doporučení:

Při měření dávat vždy měřící stojánky přímo pod sádrový bod, na kterém visí ocelový závěs. Když nastane situace a měřící stojánky nelze dát přímo pod sádrový bod se spuštěným závěsem, lze měřit i mimo osu. V tomto případě je nutno zaznamenat vzdálenost od svislé osy (b), délku závěsu k el.snímač (d), průhyb (e) a lze dopočítat vzniklou chybu měření, vlivem změny úhlu (viz obr. 45) před a po deformaci mostní konstrukce, která se přičte k naměřenému průhybu. Celý výpočet je znázorněn v programu jež je naznačen v (viz Příloha 4).

Vliv odchylky měření deformace NK od svislé osy, by se dal zatřídit do 3 oblastí, které nemají jasně viditelné hranice (viz Příloha 5).

I. oblast – vzniklá chyba je zanedbatelná až neměřitelná (viz Příloha 4) vzdálenost od svislé osy znázorněna zeleně. Není nutná korekce.

II. oblast – vzniklá chyba je měřitelná a při zvětšení vzdálenosti od svislé osy strmě narůstá – strmost závisí na délce závěsu a na velikosti skutečné deformace. Korekce je nutná a přesnost měření se snižuje.

III. oblast – v této oblasti klesá strmost křivky při změně vzdálenosti (úhel alfa viz (obr. 45) nemůže překročit 90°), korekce může přerůst naměřenou hodnotu o několika násobek vlastní hodnoty.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zlepšit přesnost měření průhybu mostů. Během měření analyzovat příčiny nepřesnosti a nejvíce zasahující okolnosti v průběhu měření. Poté zlepšit průběh a přesnost celého procesu měření a navrhnout opatření k nápravě a zvýšení přesnosti.

Při analýze výsledků měření byla prostudována firemní dokumentace, přes grafy měření průhybů a grafy teplot a vlhkosti za poslední 4 roky měření. To pomohlo k vyjasnění problémů u určitých měření a také ulehčilo aplikovat nápravná opatření. Zmapování celého průběhu měření proběhlo bez jakýchkoliv problémů a samotné měření nijak neomezovalo, spíše naopak. Všichni zaměstnanci i majitel firmy byli ochotni spolupracovat a připomínky některých z nich pomohly objasnit některé nesrovnalosti v průběhu měření. Na individuální výzkum byla propůjčena měřicí sada s PC. Výsledky zkoumání jednoznačně prokázaly, že na přesnost měření má velký vliv materiál použitého závěsu z různých materiálů a také měření mimo svislou osu.

Výsledky analýzy ukazují, že nepřesnost měření není záležitostí pouze jednoho faktoru, ale dotýká se ho více faktorů. Bylo zjištěno, že nejzávažnější problémy vznikají s nedodržením přesného sestavení měřícího zařízení podle udaného postupu. Nejzávažnější částí je použití špatného typu materiálu na závěs z mostu, který se roztahuje nebo naopak se smršťuje při výkyvech teplot. Další závažné chyby vznikají při kompletaci ocelových závěsů, které se kompletují se stojánky, na kterých jsou el.snímače (potenciometry) a jejich postavení mimo svislou osu měření. Pro zlepšení přesnosti vlivem změn teplot by stačilo nalézt vhodný materiál, který má malou tepelnou roztažnost jako např. Invar, ale s lepšími ohybovými vlastnostmi. Problém s postavením stojánek mimo svislou osu lze řešit tak, že nejprve se zavěsí na ocelový závěs závaží a závěs se nechá srovnat. Teprve potom se postaví k ocelovému drátu měřící stojánek, který se srovná pomocí libely. Jiným řešením by mohla být také změna technologie měření, například pomocí laserových snímačů.

Dále by se mělo pokračovat v pravidelném sledování procesu měření a pozorování vlivu doporučených změn.

Shrnutí nejzávažnějších příčin nepřesností měření:

- nedodržení daného postupu sestavení měřicího zařízení,
- vliv změn teplot na průběh měření,
- měření mimo osu závěsu,
- atd.

Výsledky z výzkumu měření mimo svislou osu se podařilo aplikovat ve firmě a ta je nadále používá při zkvalitnění měření. Výsledky z výzkumu vhodného druhu materiálu pro měření byly přijaty formou doporučení. Možnost pokračování v zpřesnění měření by mohlo být aplikování některých opravných opatření a sledování působení na přesnost měření.

Výsledky dosažené v této práci slouží ke zlepšení celého měřicího procesu a tím i dosažení kvalitních výsledků, ale mohou být i inspirací pro další řešení problémů při procesu měření.

Seznam použitých zdrojů

- [1] JOSEF, DUŠAN. *Naše mosty historické a současné*. 1984. vyd. Praha : Nadas, 1984. 226 s. ISBN 31-003-84.
- [2] TRIVIS [online]. 2006. Praha : 2005 , 20.4.2008 [cit. 2008-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.trivis.info/view.php?cislocclanku=2006120301>>.
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ. *Mosty 2007 : 12.Mezinárodní symposium*. Praha : SEKURKON s.r.o, 2007. 409 s. ISBN 978-80-86604-30-5.
- [4] *Školení mostmistrů 2005 : Studijní podklady*. Brno : Divyp, 2005. 113 s.
- [5] SUZA, IGOR. *Záznam ze sledování svislých deformací mostu : ev.č.35-095*. Brno : [s.n.], 2006. 12 s.
- [6] HALLIDAY, DAVID, RESNICK, ROBERT, WALKER, JEARL. *Fyzika : Mechanika-Termodynamika*. Petr Dub a Jan Obdržálek; Petr Dub a Jan Obdržálek; Miloslava Hrušková; K.Bhatia. Brno : VUTIAM, 2003. 348 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [7] HALLIDAY, DAVID, RESNICK, ROBERT, WALKER, JEARL. *Fyzika : Mechanika*. Petr Dub a Jan Obdržálek; Petr Dub a Jan Obdržálek; Miloslava Hrušková; K.Bhatia. Brno : VUTIAM, 2003. 329 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [8] HALLIDAY, DAVID, RESNICK, ROBERT, WALKER, JEARL. *Fyzika :Elektromagnetické vlny-Optika-Relativita*. Petr Dub a Jan Obdržálek; Petr Dub a Jan Obdržálek; Miloslava Hrušková; K.Bhatia. Brno : VUTIAM, 2003. 329 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [9] PERNÍKÁŘ, JIŘÍ, TYKAL, MIROSLAV. *Strojírenská metrologie II*. 1. vyd. Brno :Akademické nakladatelství CERM,s.r.o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
- [10] STRÁSKÝ, JIŘÍ. *Betonové mosty*. 1. vyd. Praha : ŠEL, spol. s.r.o, 2001. 104 s. ISBN 80 86426-05-X.
- [11] NAVRÁTIL, JAROSLAV. *Předepjaté betonové konstrukce*. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM,s.r.o., 2008. 186 s. ISBN 978-80-7204-56-7.

- [12] JOSEF, DUŠAN. *Encyklopedie mostů : V Čechách, na Moravě a ve Slezku*. 1. vyd. Praha : Libri, 2002. 551 s. ISBN 80-7277-095-0.
- [13] LANDA, LUBOR, KLEISNER, ZDENĚK, ZVARA, JOZEF. *Betonové mosty*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1988. 583 s. ISBN 04-707-88.
- [14] LÍDL, VÁCLAV, JANDA, TOMÁŠ. *Stavby, kterým doba nepřála*. 1. vyd. Praha : Print design s.r.o., 2006. 118 s.
- [15] KYŠ, KAMIL. *Poruchy stavebních konstrukcí : Příčiny a odstraňování*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1988. 248 s. ISBN 04-708-88.
- [16] PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie: Část metrologie*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2001. 151 s. ISBN 80--214--1997—0.
- [17] ČECH ,J.,PERNIKÁŘ, J.,PODANÝ,K., *Strojírenská metrologie*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2005. 176 s. ISBN 80-214-3070-2.
- [18] CHUDÝ,V.,PALENČÁR,R.,KUREKOVÁ,E.,HALAJ,M., *Maranie technických veličín*, Vydavateľstvo STU v Bratislave,1999. 688 s., ISBN 80-227-1275-2.
- [19] KRSEK,A., OSANNA,P.,KURIC,I.,PROSTREDNÍK,D., *Stojárská metrológia a riadenie kvality*,Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1998. 289 s., ISBN 80-227-1025-3.

Seznam použitých zkratk a symbolů

atd. – A tak dále

cca. – Circa (přibližně)

č. – Číslo

ČR – Česká republika

ČSN – Česká technická norma

EIB – Evropská investiční banka

el. – Elektrický

ev. – Eventuelně

EU – Evropská unie

KA-61 – Prefabrikovaný nosník

Klen. – Klenba

např. – Například

MDČR – Ministerstvo dopravy České republiky

MFČR – Ministerstvo financí České republiky

NK – Nosná konstrukce

odst. – Odstavec

PC – Personal computer

resp. – respektive

ŘSD – Ředitelství silnic a dálnic

SFDI – Státní fond dopravní infrastruktury

Sb. – Sbírka

tj. – To je

UM8 – Měřicí adaptér

Seznam příloh

Příloha 1: Záznam měření průhybů v Cerekvici nad Loučnou

Příloha 2: Průběh teploty a vlhkosti během měření v Cerekvici nad Loučnou

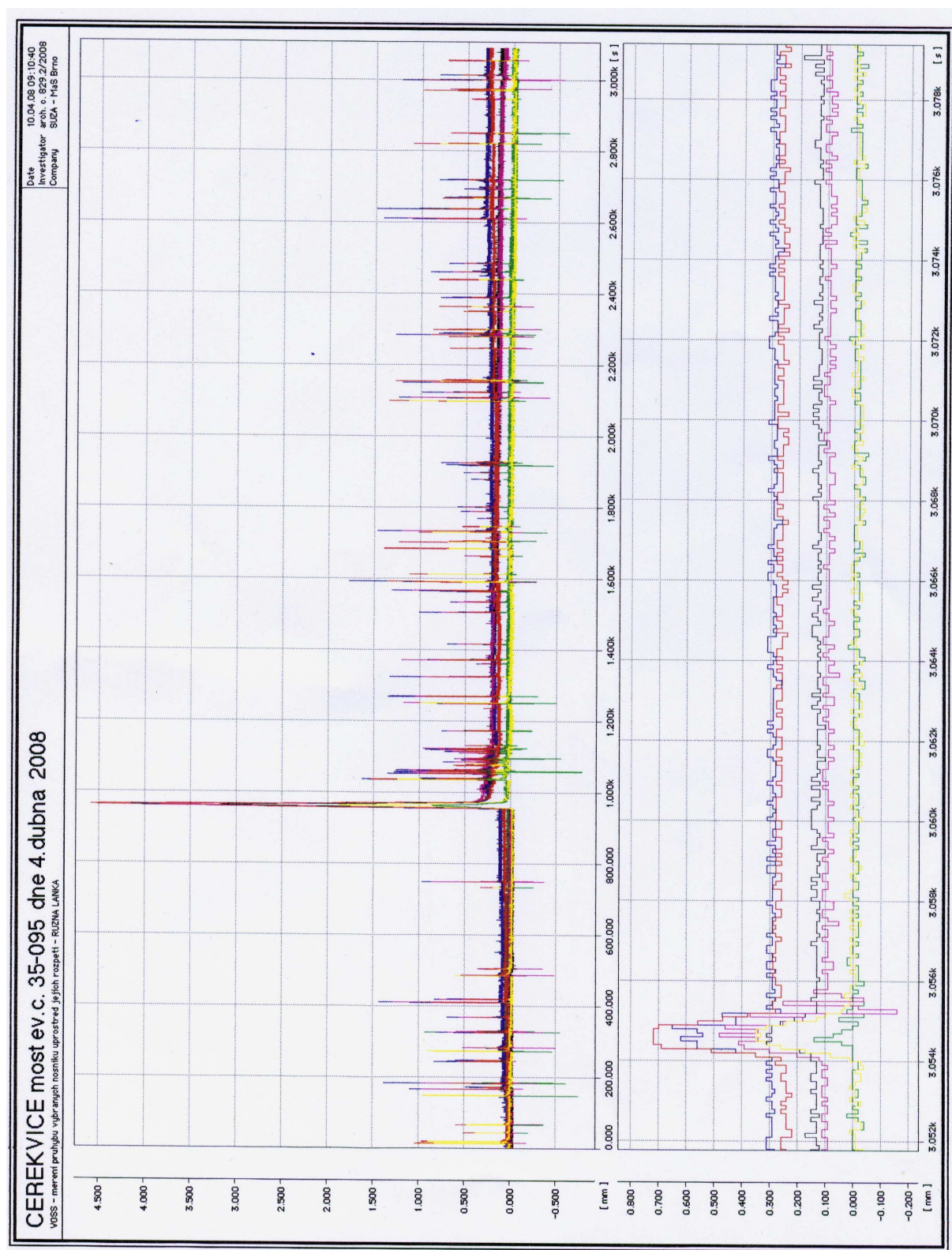
Příloha 3: Měření mimo svislou osu prováděné ve firmě

Příloha 4: Program na přepočet korekcí na měření mimo svislou osu

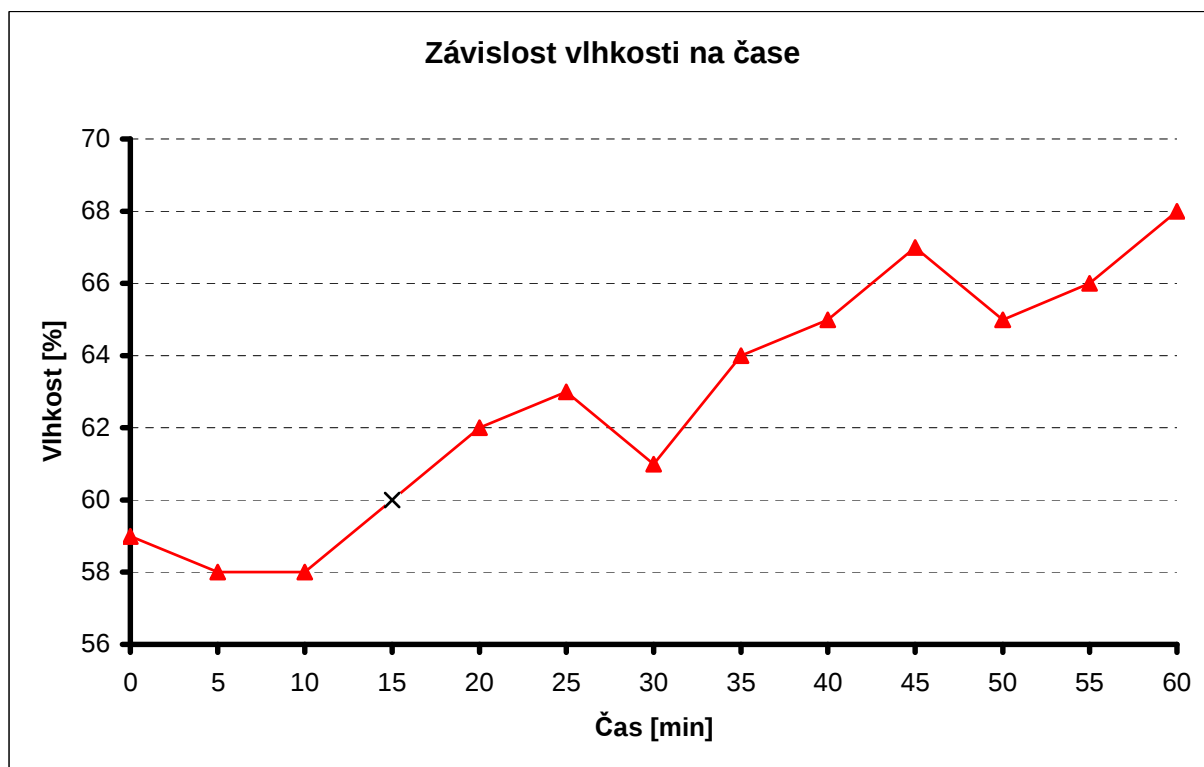
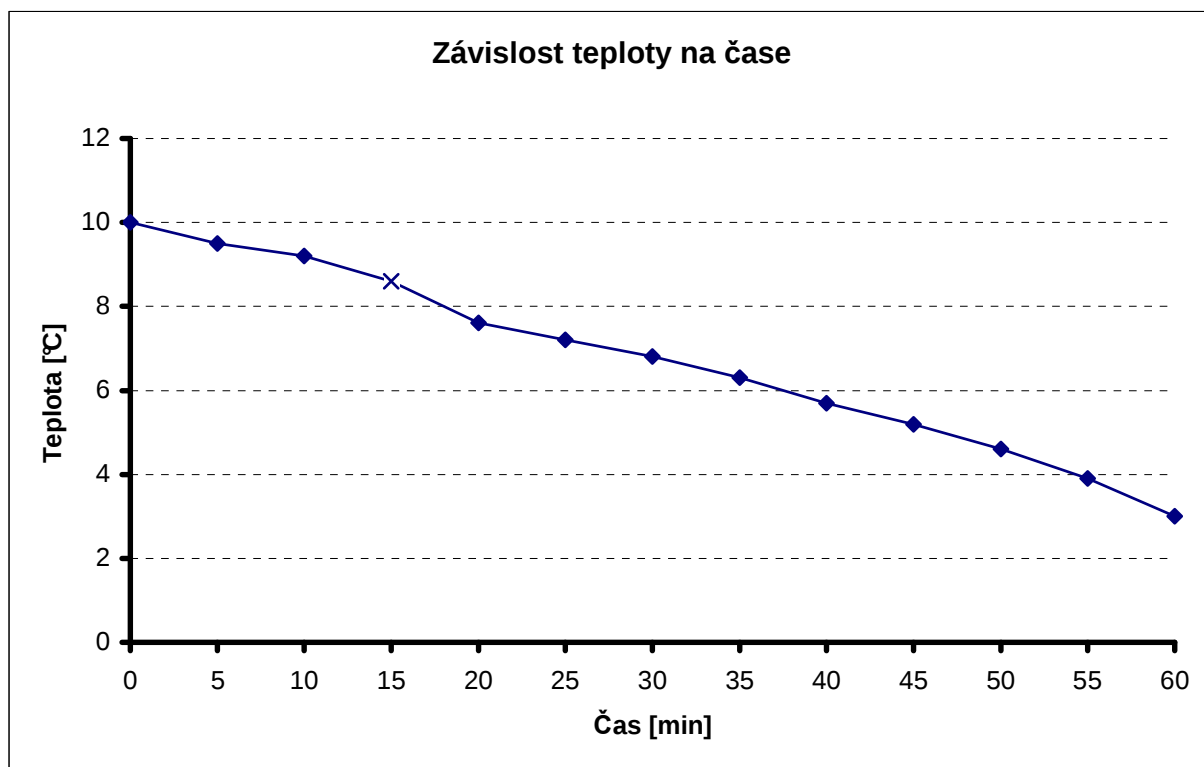
Příloha 5: Závislost chyby měření na vzdálenosti od svislé osy

Přílohy

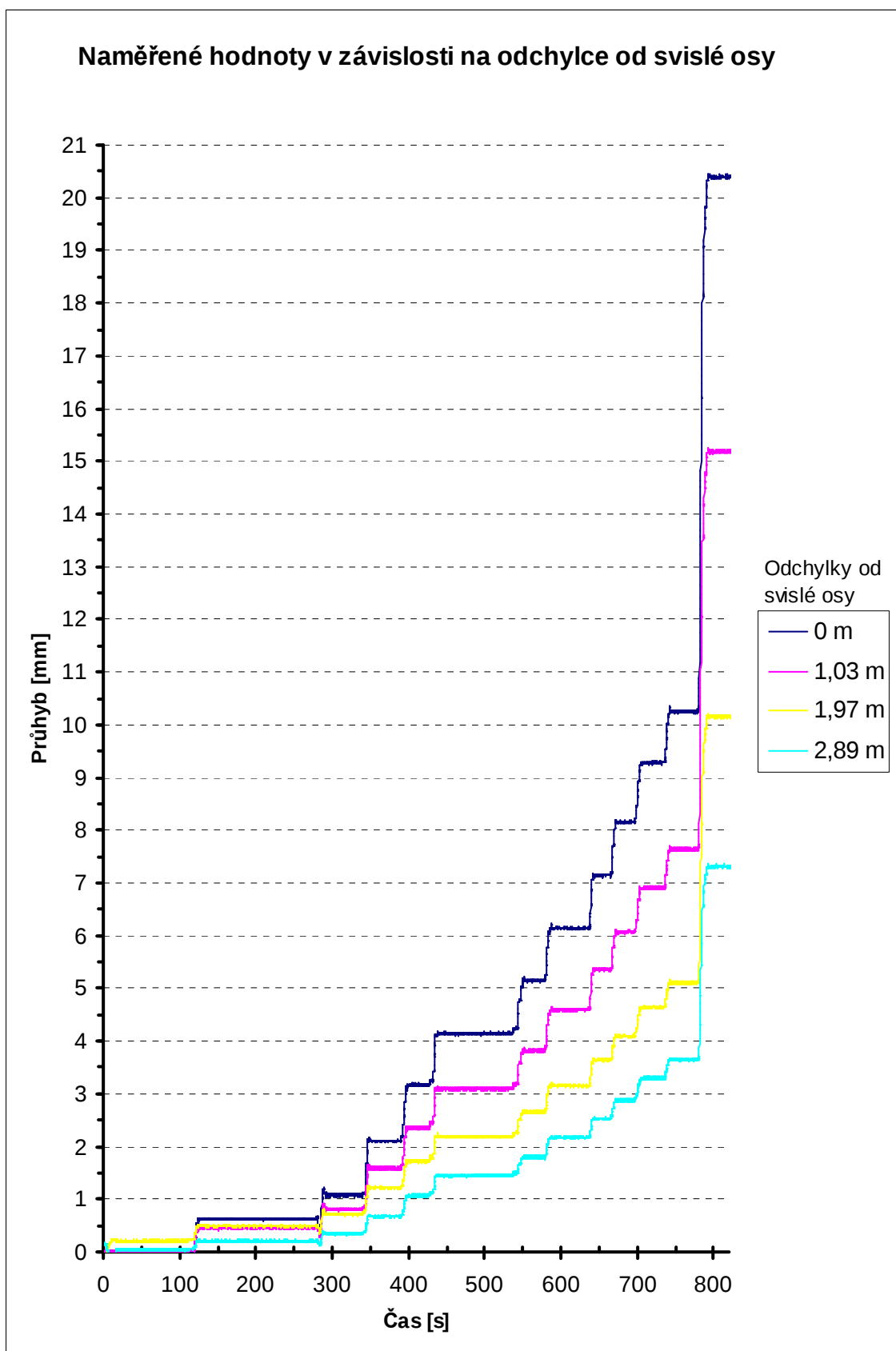
Příloha 1: Záznam měření průhybů v Cerekvici nad Loučnou



Příloha 2: Průběh teploty a vlhkosti během měření v Cerekvici nad Loučnou



Příloha 3: Měření mimo svislou osu prováděné ve firmě



Příloha 4: Program na přepočet korekcí na měření mimo svislou osu

odchylna od svislé osy [m] (b)	přepona [m] (d)	úhel odklonu [rad]	úhel odklonu [°] (alfa)	zdeformo- vaná přepona [m] (c)	úhel odklonu [rad]	úhel odklonu [°] (beta)	rozdíl [m]	chyba [m]	chyba měření [mm] (x)
0	5	0	0	4,96	0	0	0,04	0	0
0,1	5,001	0,019997	1,145763	4,961008	0,020159	1,155	0,039992	8,06E-06	0,008062
0,2	5,003998	0,039979	2,29061	4,964031	0,040301	2,309063	0,039968	3,22E-05	0,032219
0,3	5,008992	0,059928	3,43363	4,969064	0,06041	3,461254	0,039928	7,24E-05	0,072384
0,4	5,015974	0,07983	4,573921	4,976103	0,080471	4,610649	0,039872	0,000128	0,128411
0,5	5,024938	0,099669	5,710593	4,985138	0,100467	5,756338	0,0398	0,0002	0,200101
0,6	5,035871	0,119429	6,842773	4,996159	0,120383	6,897428	0,039713	0,000287	0,2872
0,7	5,048762	0,139096	7,96961	5,009152	0,140203	8,033046	0,039611	0,000389	0,3894
0,8	5,063596	0,158655	9,090277	5,024102	0,159913	9,162347	0,039494	0,000506	0,506349
0,9	5,080354	0,178093	10,20397	5,040992	0,179499	10,28451	0,039362	0,000638	0,637648
1	5,09902	0,197396	11,30993	5,059802	0,198946	11,39876	0,039217	0,000783	0,782854
1,1	5,11957	0,21655	12,40742	5,080512	0,218242	12,50434	0,039059	0,000941	0,941491
1,2	5,141984	0,235545	13,49573	5,103097	0,237374	13,60054	0,038887	0,001113	1,113046
1,3	5,166237	0,254368	14,57422	5,127534	0,256331	14,68669	0,038703	0,001297	1,296979
1,4	5,192302	0,273009	15,64225	5,153795	0,275101	15,76215	0,038507	0,001493	1,492724
1,5	5,220153	0,291457	16,69924	5,181853	0,293675	16,82633	0,0383	0,0017	1,699696

délka
závěsu=5m

skutečný
průhyb=
=0,04m

Příloha 5: Závislost chyby měření na vzdálenosti od svislé osy

