



Metody sledování deformací mostů při přejezdech nadměrných břemen

Autoři: Ing. Igor Suza, Ing. Dominik Suza, Adam Mikulík
Organizace: Mostní a silniční, s.r.o., Havlíčkova 72, 602 00 Brno
Kontakt: gsm: 603.268.286 fax: 543.238.103
e-pošta: igor.suza@mostni-silnicni.cz

Přejezd nadměru po mostě trvá několik vteřin. Jen zcela výjimečně minut. Příprava měření trvá několik hodin. Běžná nadměrná souprava přejezde z místa naložení (výroba, nebo přístav) do svého cíle za několik dní. Příprava běžné přepravy, která představuje prohlídku, výběr trasy, posouzení a mimořádné prohlídky mostů včetně statiky a ev. diagnostického průzkumu, jednání se správcem a „povolovači“ zabere týdny i měsíce. Příprava a zajištění přepravy supertěžkých nákladů může trvat rok i déle. A přes ten „naš“ most jede nadměrná souprava jen několik vteřin. Je to hodně nebo málo?

Zkusme se podívat, co lze za těch několik vteřin zjistit.

Rozsah a způsob měření deformací (nejčastěji průhybů) mostů se volí dle typu a dostupnosti konstrukce a dle reálných požadavků statika, který konstrukci posuzoval. Je vhodné také respektovat požadavky správce, který konstrukci zná, má s ní určité úmysly (především rekonstrukčního charakteru), ale často nemívá dostatek prostředků k rozsáhlému diagnostickému průzkumu. Správná volba metody měření deformací mu může pomoci. Jednorázový přejezd břemene s nadměrnou hmotností po mostě dokáže při správné interpretaci výsledků měření upozornit na zásadní poruchy konstrukce, nebo naopak prověřit a potvrdit její předpokládaný stav.

METODY SLEDOVÁNÍ DEFORMACÍ MOSTŮ

Základní metody měření deformací mostů.

Deformace nosné konstrukce lze sledovat buď z horního nebo spodního líce nosné konstrukce. Při sledování deformací z horního líce NK, kdy se měří většinou na vozovce nebo přilehlém chodníku, se používají především **optické metody**. K nejběžnějším patří geodetické a laserové. Principiálně jsou stejné, jen u laserové metody je zřetelněji viditelná srovnávací rovina, neznámá to však, že je tato metoda přesnější.

Standardně se nivelační přístroj umístí mimo most (výjimečně na mezilehlou podpěru vícepolového objektu). V měřeném místě (nejčastěji uprostřed rozpětí a co nejbližší stopy projíždějící soupravy) se instaluje nivelační lať. I při pomalé jízdě soupravy dochází k částečnému rozkmitání konstrukce, které se zvětšuje se vzdáleností od vozovky a následně výrazně komplikuje měření z výše fixovaného stavu. U jednopolových mostů se zaznamenává jen maximální hodnota průhybu, u vícepolových nebo něčím zajímavých konstrukcí lze právě měřené hodnoty zaznamenávat pomocí běžných záznamových přístrojů.

Kvalitnější geodetická nebo laserová zařízení umožňují instalaci záznamového zařízení spojeného s notebookem, pomocí kterého lze získaná data ukládat přímo.

Geodetické metody 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 záměru a především malý počet měřených míst. Zjistit příčnou tuhost mostu je prakticky nemožné.

V případě měření vícepolového mostu, kdy stativ s nivelačním přístrojem stojí na mezilehlé podpěře, je nutné (zvláště u rámových konstrukcí) zohlednit naklání konstrukce

nad podpěrou během přejezdu soupravy. Toto naklánění - úhlově ve vteřinách dokáže výrazně ovlivnit (znehodnotit) výsledky měření.

Závěrem k optickým metodám lze konstatovat, že pokud mostmistr není vybaven nivelačním přístrojem s velkým přiblížením, ale má jen běžně dostupný stavební „nivelák s přiblížením 17-20x, tak je schopen orientačně měřit se záměrou maximálně do 20-25 m, tedy mosty s rozpětím do 30-40m. Stanovení skutečných trvalých deformací je však vyloučené.

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, vysokozdvizné 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, hmoždinka a háček 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). 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.

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 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 (a asi nepřekonaný) Metra-Frič. 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.

El. **snímače deformací** (potenciometrické, 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 až 20 krát za sekundu. Při měření konstrukcí, které jsou „měkké“ a vyžaduje se i orientační zjištění dynamické odezvy lze měřit i 100x za sekundu. Skutečné dynamické měření se provádí pomocí akcelerometrů, instalovaných v přesně vypočtených místech (uzlech).

Velmi přesné měření lze realizovat také pomocí tenzometrických snímačů. Jejich instalace je však poměrně náročná a pro měření „běžných“ nadměrů po „běžných“ mostech se nevyužívají. 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 umožňuje krátkodobé i dlouhodobé (řádově v letech) měření změn šířek trhlin. Patentovaný princip přístroje spočívá 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 se 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 také 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 extrémních teplotách, které odhalí skutečné chování trhliny, která může pracovat např. jako dilatační.

Během měření je vhodné kontinuálně zaznamenávat teplotu konstrukce (pomocí sondy instalované ve vrtu), teplotu vzduchu, klimatické a vnější podmínky (vítr, oslunění 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. Osluněné, nebo častěji lokálně osluněné závěsy, kdy navíc je délka oslunění každého závěsu jiná přinášejí komplikace, především při vyhodnocení návratu nosné konstrukce do výchozího stavu.

Přejezd břemene nadměrné hmotnosti jako diagnostická metoda

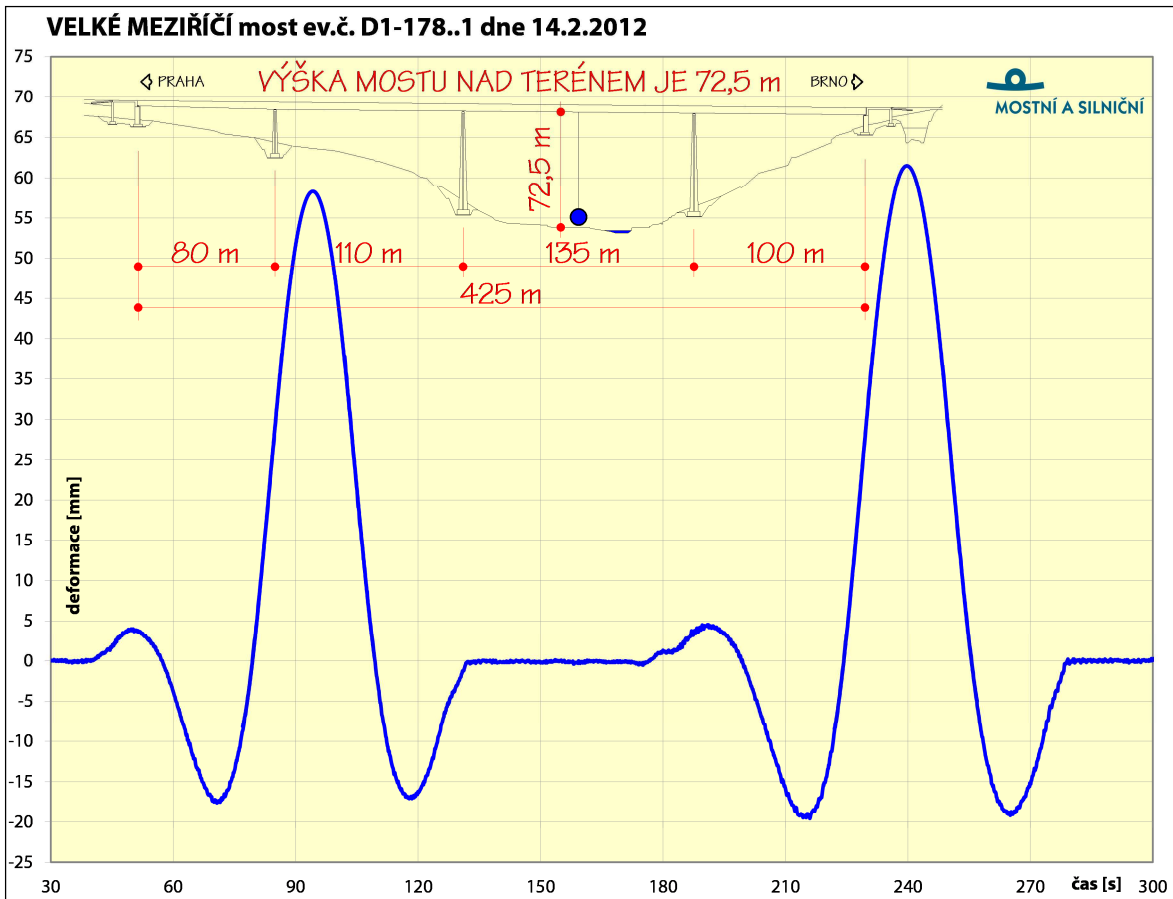
Jednorázový přejezd břemene nadměrné hmotnosti po mostě nelze považovat za zatěžovací zkoušku, nicméně správná interpretace naměřených hodnot může mít vysokou vypovídací schopnost. Porovnání naměřených hodnot deformací s hodnotami vypočtenými dá ukázkou o skutečném stavu konstrukce, toto porovnání však 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 rozložení 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 prakticky ihned posoudit stav tohoto příčného předpětí. Jde tedy o diagnostickou metodu, která správce mostu nestojí nic a jejíž vypovídací schopnost je vysoká.

Na grafickém záznamu 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.

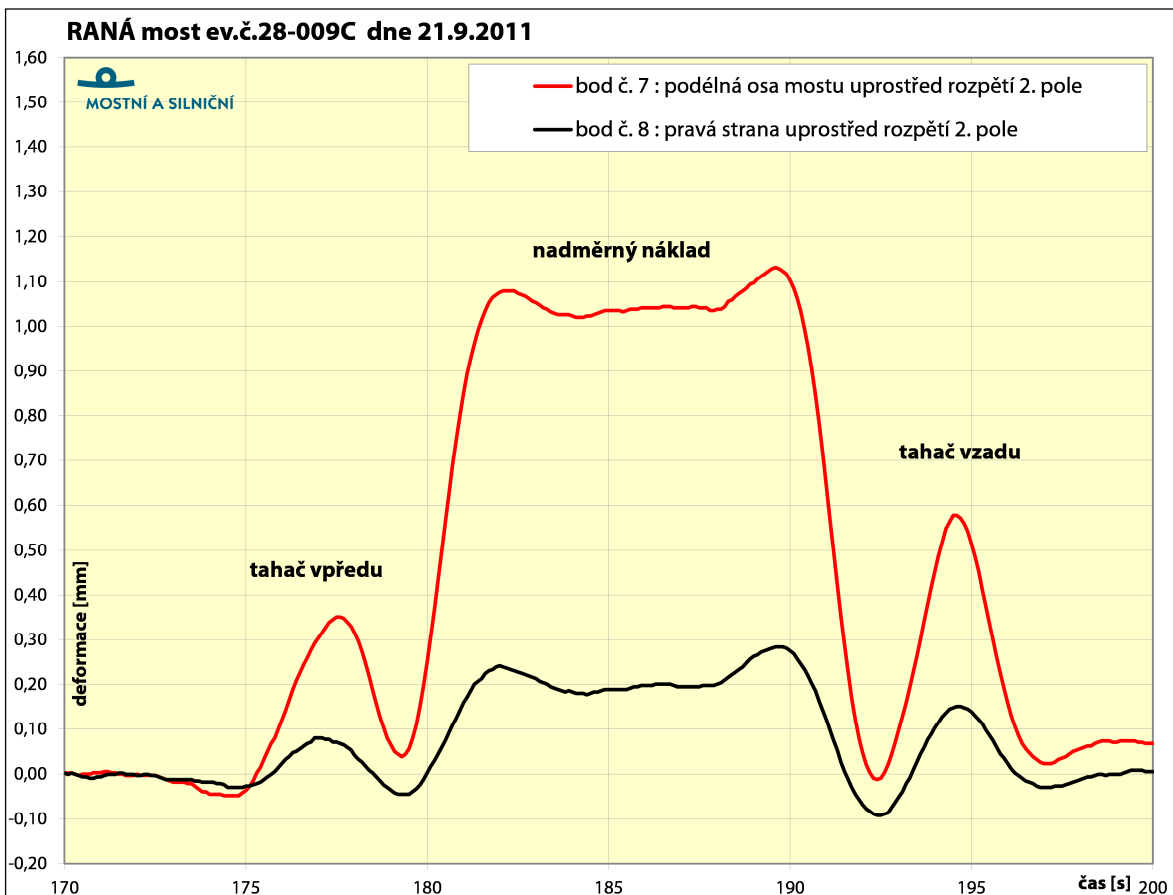
Při přejezdu běžných břemen je průhyb mostní konstrukce pružný, tedy deformace jednotlivých prvků před a po přejezdu běžného břemene je srovnatelná (nulová). V případě zatížení konstrukce břemenem nadměrné hmotnosti se deformace (průhyb) skládá ze složky pružné a složky „trvalé“, kterou v grafickém záznamu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

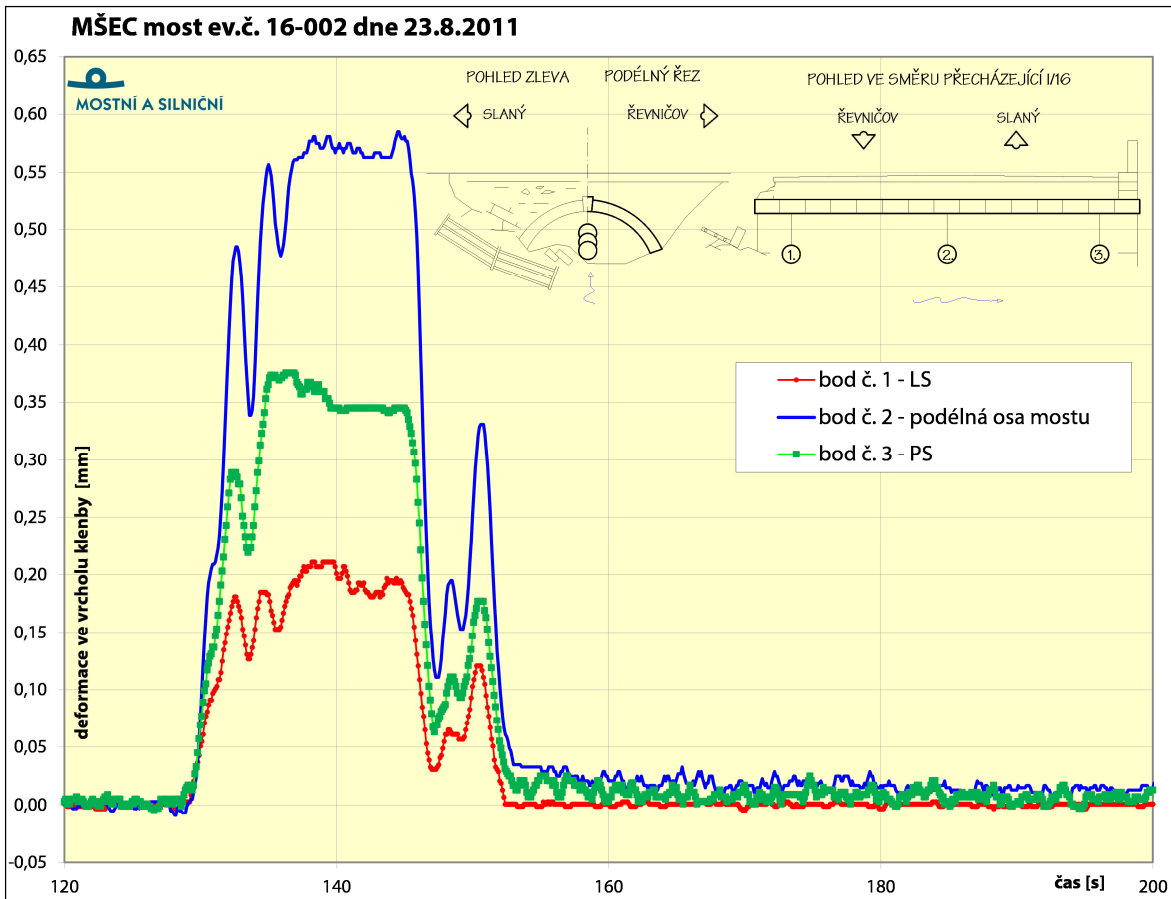
Další výhodou sledování chování konstrukce po přejezdu je skutečnost, že dá reálný obraz o běžném provozu, tedy o deformacích konstrukce vyvolaných běžným provozem. Především u krátkých mostů (s nerovnostmi vozovky, které zvyšují dynamické účinky) mohou být deformace způsobené rychle jedoucími nákladními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



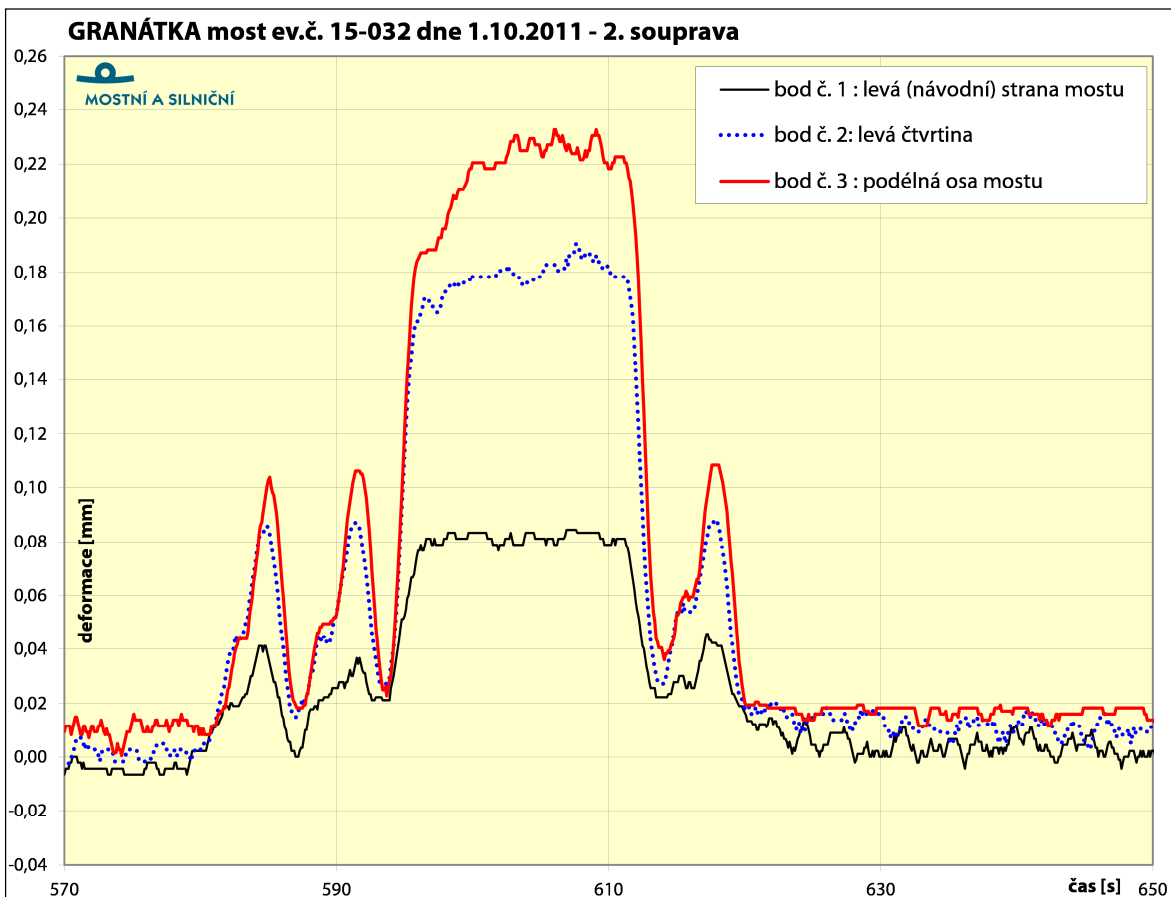
Obr. 1 Záznam el. metody pro velké deformace – most Vysočina.



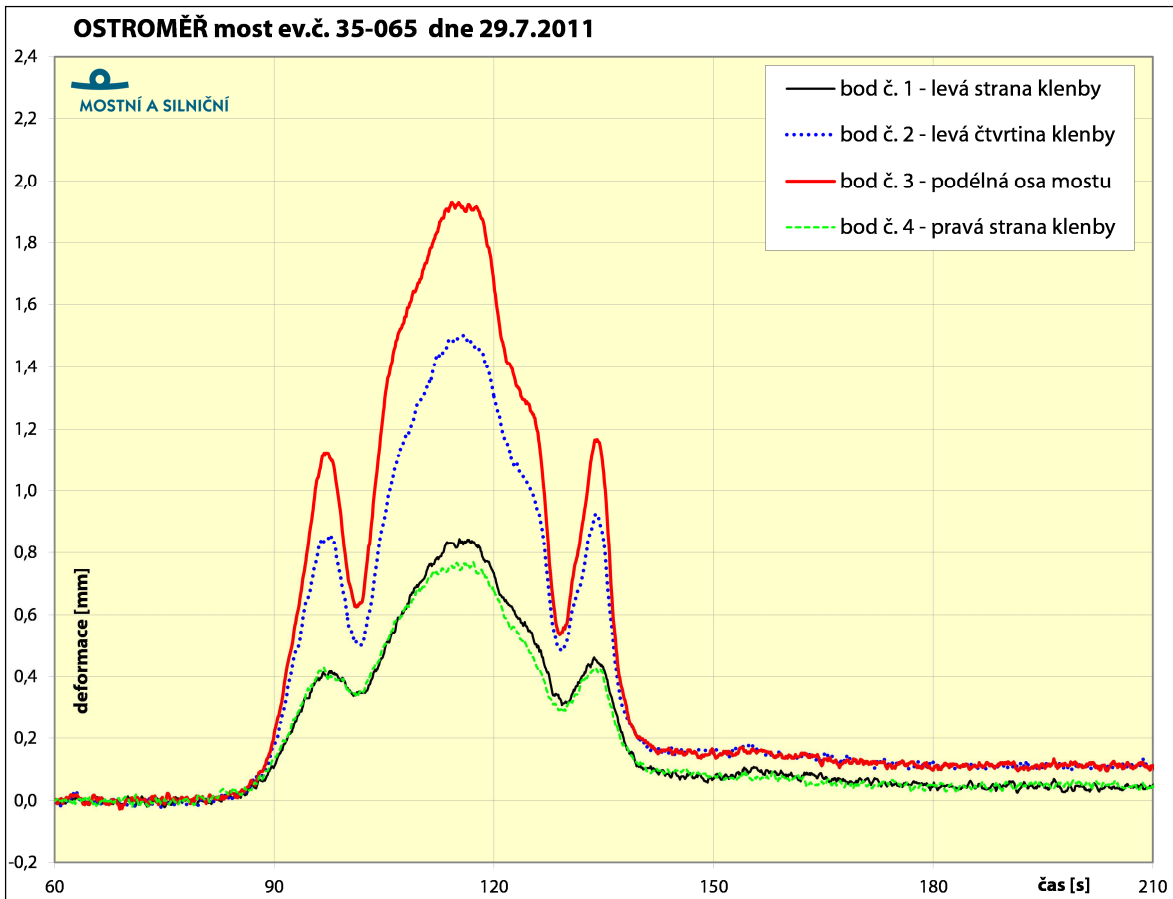
Obr. 2 Přejezd nadměrného nákladu – rozložení tlaků soupravy včetně tahačů.



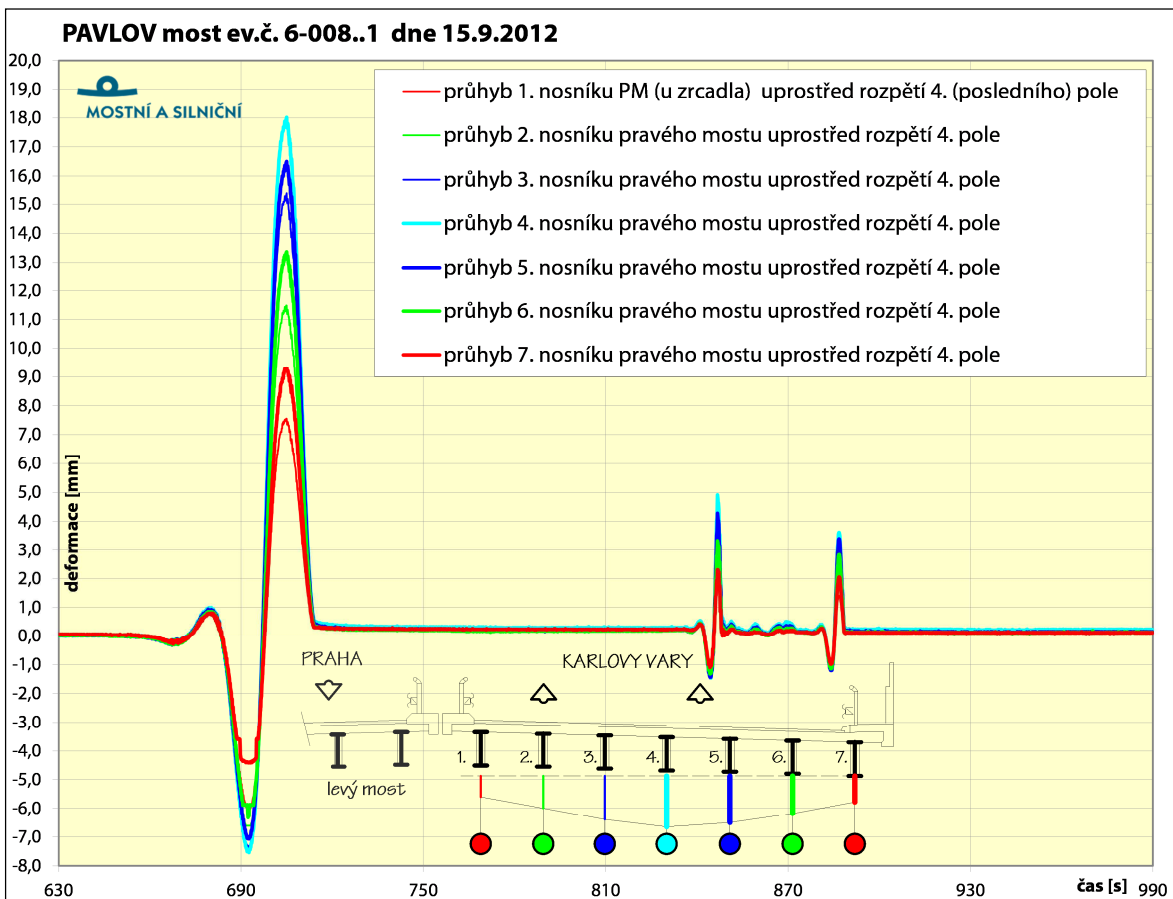
Obr. 3 Přejezd nadměrného nákladu – analýza v rozsahu do 1mm.



Obr. 4 Přejezd nadměrného nákladu – analýza v rozsahu do 0,3mm.



Obr. 5 Přejezd nadměrného nákladu – průběh deformací klenby.



Obr. 6 Přejezd nadměrného nákladu – kompletní příčný roznos NK mostu.