

# DETEKCE ÚČINKŮ KOROZNÍHO PROCESU NA VÝZTUŽ ŽELEZOBETONOVÝCH MOSTŮ

Vysoké Učení Technické, Fakulta stavební, Ústav fyziky; Centrum dopravního výzkumu  
Žižkova 17, 616 62 Brno; Líšeňská 33a, 636 00 Brno  
Tel.: 0504 / 415522-23 Fax: 0504 / 412140  
E-mail: [stryk@cdv.cz](mailto:stryk@cdv.cz)

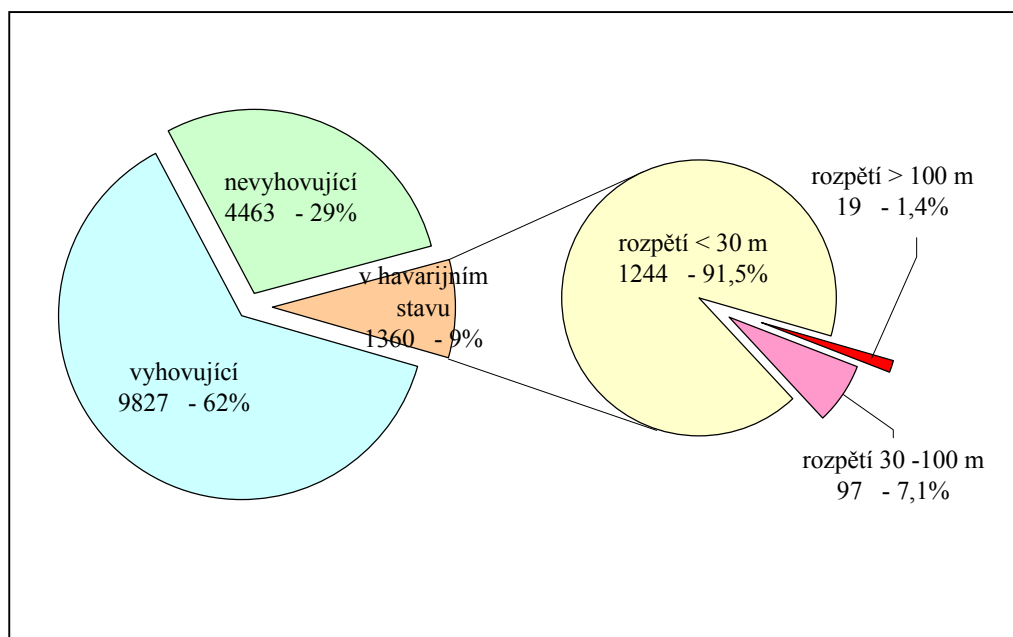
---

## 1. ÚVOD

Centrum dopravního výzkumu (CDV) je řešitelem projektu Ministerstva dopravy a spojů ČR (MDS ČR) s názvem „Stanovení metodiky monitorování výztuži železobetonových a předpjatých konstrukcí“. Na řešení se jako spoluřešitel rovněž podílí Ústav fyziky Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

Úkol směřuje k vypracování Technických podmínek MDS ČR, které budou metodu akustické emise (AE) kodifikovat jako metodu pro rutinní použití v systému hospodaření s mosty.

Z rozboru ústřední evidence mostů na pozemních komunikacích ČR vyplývá, že z celkového počtu 15 650 silničních mostů jich nevyhovuje nebo podmíněně vyhovuje (tedy skoro nevyhovuje) 5 823, což je více než jedna třetina (37 %).



Obr. 1: Aktuální stav mostů na pozemních komunikacích České republiky

Z uvedeného počtu je 1 360 mostů v chatrném (havarijním) stavu. Z těchto mostů je 19 o rozpětí větším než 100 m, 97 mostů o rozpětí 30 – 100 m atd. Stav těchto mostů zavinil jednak nedostatek finančních prostředků na jejich údržbu, ale také absence přijatelné, relativně rychlé a levné monitorovací metody, která by dokázala odhalit poruchy mostu již v časném stádiu a umožnila tak jednoduchý a finančně nenáročný způsob údržby.

Metoda založená na principu akustické emise se jeví jako velmi vhodná pro tento účel, neboť akustická emise velmi dobře postihuje vyvíjející se procesy, kterými trhliny v betonu či koroze výztuže bezesporu jsou.

## 2. POJEM „AKUSTICKÁ EMISE“

Při namáhání jakéhokoli tělesa či konstrukce vzniká akustická energie, která je emitována do okolí. Tento jev označujeme jako akustickou emisi (AE). Konstrukce mostů jsou při svém běžném provozu zatíženy dynamickými účinky způsobenými dopravou, větrem apod. Přitom konstrukce vydává zvuky, tzn. vzniká akustická emise. Výzkumný úkol se snaží postihnout charakteristické frekvence („nezdravý“ zvuk), které při svém namáhání vydává koroze narušená předpínací a možná i měkká výztuž v mostech, a současně určit míru a umístění korozní poruchy výztuže.

## 3. PRAKTICKÉ VYUŽITÍ

Společnost Pure Technologies, Ltd. (Kanada), má patentovanou monitorovací technologii, nazvanou SoundPrint, která je schopna zjistit a lokalizovat přetržení drátů, jednotlivých žil kabelů a lan používaných jako předpínací výztuž nebo jako nosná lana u visutých či zavěšených mostů.

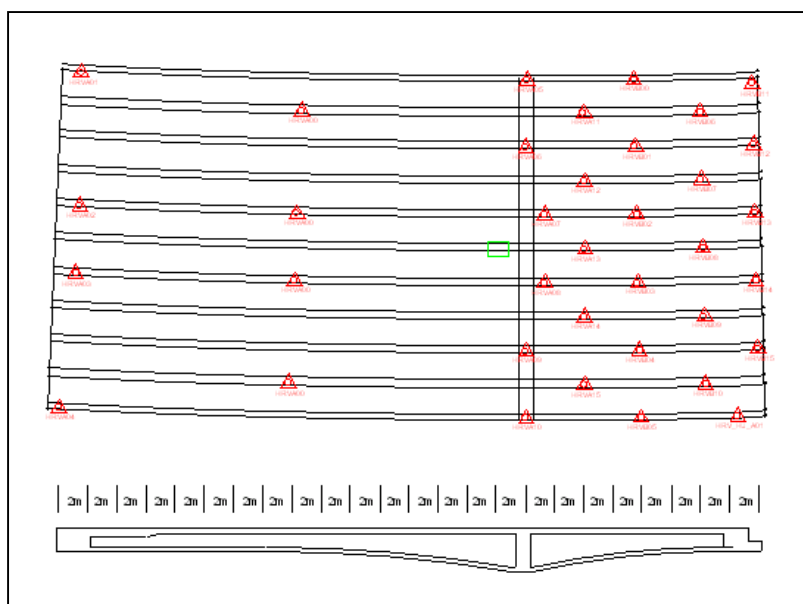
Měření spočívá v kontinuálním akustickém monitorování konstrukcí. K tomu se využívá metoda akustické emise, která vzniká při přetržení drátu. K měření se používá sada piezoelektrických snímačů (viz obr. 2), které se umísťují na zkoumanou konstrukci, např. na předpjatý nosník, na podhled mostu apod., viz obr. 3. Rozmístění snímačů na mostní konstrukci pak ukazuje obrázek 4.



Obr. 2: Piezoelektrický snímač používaný k akustickému monitorování mostů



Obr. 3: Umístění snímače na pohledu mostu



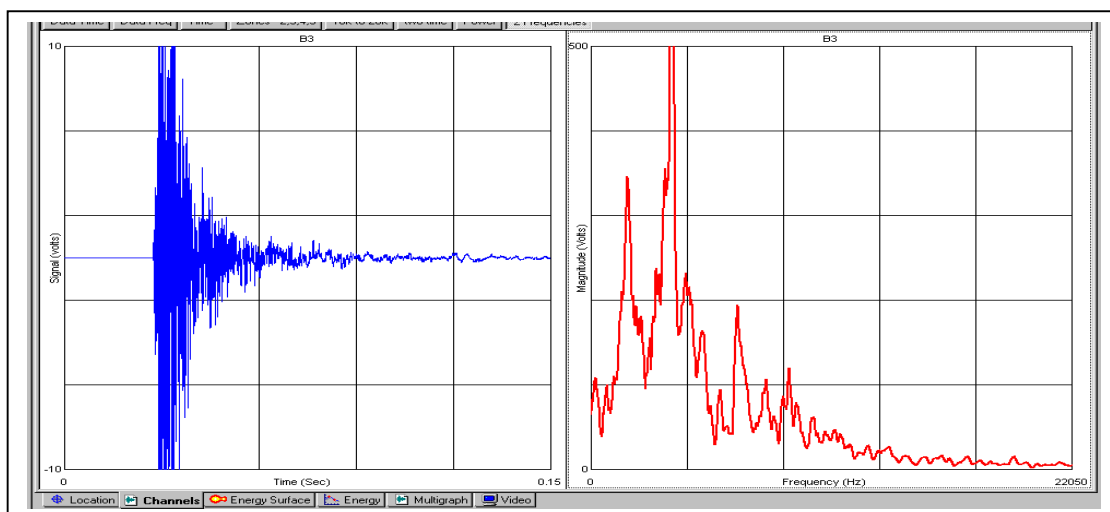
Obr. 4: Příklad rozmístění snímačů na sledovaném mostě (Huntingdon, Anglie)

Snímače jsou připojeny na systémovou jednotku, která shromažďuje data. Jednotka je zpravidla umístěna společně s řídicím počítačem nedaleko měřené konstrukce (mostu), viz obr. 5. Záznamy z jednotlivých senzorů se zobrazují na obrazovce počítače, viz obr. 6.

Počítač spolu s jednotkou provádí automaticky prvotní filtraci dat, kdy jsou ze snímaného signálu odstraněny akustické události nesouvisející přímo s měřeným jevem (šumy, zvuky způsobené jízdou vozidel, větrem apod.). Pomocí modemu napojeného telefonní nebo GSM linkou na Internet jsou pak filtrované informace dávkově (v určitých časových intervalech) přenášeny do vyhodnocovacího centra v kanadském Calgary. Tam se pomocí analytického softwaru provede zařazení každé události s výpočtem místa v konstrukci, kde k ní došlo. Výsledky jsou zákazníkům přístupné na webové stránce.



Obr. 5: Šestnácti-kanálová systémová jednotka s počítačem



Obr. 6: Záznam prasknutí drátu (časový průběh, frekvenční spektrum)

Výhodou systému je především to, že snímače nemusí být v přímém kontaktu s výztuží, která je často nedostupná. Data jsou získávána v reálném čase, což umožňuje v nutných případech prakticky okamžité zavedení nezbytných bezpečnostních opatření a následný zásah do konstrukce. Zařízení pracuje na místě bezobslužně, jen s občasnou kontrolou.

Rozmístění čidel na konstrukci musí být takové, aby jejich dosah pokryl celou zkoumanou oblast. V případě poruchy drátu stačí údaje ze tří snímačů ke stanovení místa, kde k defektu došlo. Vyhodnocovací software porovnává kombinace informací ze všech snímačů, které poruchu zaznamenaly, a určí místo porušení s přesností  $\pm 0,5$  m.

Příkladem použití výše popsané metody v Evropě je dodatečně předpjatý most v Huntingdonu (Anglie), viz obr. 7, 8. Huntingdonský most o šesti polích přemostňuje místní

komunikaci, parkoviště a železniční trať v místě nádraží a je po něm vedena komunikace dálničního typu. Od roku 1998 je zde firmou Pure Technologies prováděno měření pro Highway Agency (Ředitelství silnic).



Obr. 7: Testovaný most v Huntingdonu (Anglie) - pohled 1



Obr. 8: Testovaný most v Huntingdonu (Anglie) - pohled 2

#### 4. VLASTNÍ VÝZKUM

Výzkum probíhá a bude probíhat v laboratořích CDV za spolupráce odborníků z Ústavu fyziky FAST VUT. Cílem výzkumu je návrh a ověření metodiky pro přípravu a provádění měření poruch v ocelové výztuži železobetonových a předpjatých konstrukcí

metodou akustické emise. Vyhodnocení a závěry budou tvořit podklad pro návrh sledování, opravy a údržby mostů pozemních komunikací ze železového a předpjatého betonu.

Řešení probíhá v následujících krocích:

1. návrh a příprava laboratorních vzorků ze železového a z předpjatého betonu,
2. návrh, realizace a testování měřicí aparatury pro diagnostiku celistvosti povrchu a diagnostiku stavu ocelové výztuže, laboratorní měření vzorků s uměle zkorodovanou ocelovou výztuží a s nepoškozenou výztuží, srovnání spekter,
3. realizace poloprovozního monitorovacího systému vhodného pro ověřování metody AE, výroba ŽB a předpjatého zkušebního trámce, vyvolání koroze výztuže, laboratorní měření AE při zatěžování, odběr vzorků výztuží z tělesa, jejich korozní rozbor s vyhodnocením poruch trámce a výběr vlastností důležitých pro interpretaci výsledků metody monitoringu korozního oslabení AE, ověření metody určení polohy místa s korozním oslabením výztuže,
4. zkušební měření na vybraném objektu *in situ*,
5. zhodnocení provedených měření a optimalizace měřicího zařízení,
6. vytvoření databáze signálů AE pro různé nosníky s různými výztužemi a jejich kombinace a pro různé stupně korozního narušení a jejich statistické vyhodnocení,
7. syntéza zahraničních předpisů pro měření AE a pro diagnostické průzkumy a měření na konstrukcích, výběr vhodných metod pro ČR vč. vypracování metodiky vybraných zkušebních postupů, metodiky pro vyhodnocování naměřených dat (s využitím databáze signálů AE), určení kritérií pro rozhodování o nutnosti oprav mostních konstrukcí,
8. nedestructivní měření AE na nejméně třech určených konstrukcích mostů v provozu v ČR s určením míst poruch, resp. oslabení výztuží a s vyhodnocením,
9. návrh metodiky měření pomocí AE pro zjišťování stavu ocelové výztuže v exploatovaných železobetonových a předpjatých mostních konstrukcích,
10. realizace terénní měřicí aparatury a celého systému měření AE včetně programového vybavení, zavedení a praktické ověření vybraných měřicích postupů a předpisů pro průběžný monitoring koroze pomocí AE na mostech v ČR za provozu,
11. návrh a projednání textu Technických podmínek MDS ČR.

V současné době probíhají práce paralelně na prvních dvou bodech. Měření na ŽB trámcích (obr. 9) se provádí v zatěžovacím lisu viz obr. 10, pomocí kterého je simulováno dynamické namáhání tak, jak přibližně vzniká u konstrukcí v terénu. Provádí se kompletace měřicí sestavy, která seskládá ze 2 piezoelektrických snímačů (frekvenční rozsah od 2 kHz do 1 MHz), které jsou přes předzesilovače, zesilovače a filtry napojeny na 2-kanálovou měřicí kartu NI (National Instruments) PCI-5112. Karta umožňuje kontinuální záznam signálu s možností vzorkování rychlostí alespoň do 2 MHz. Získaný signál se ukládá a dále se s ním pracuje. Určuje se počet "balíků AE", tj. událostí, kdy amplituda kmitu přesahuje po určitou dobu nastavenou úroveň. Časový průběh jedné události je znázorněn na obr. 11. Vyhodnocení



jednotlivých událostí se provede pomocí klasických parametrů akustické emise jako jsou počet překmitů přes nastavenou úroveň, maximální amplituda, doba trvání události, akusticko emisní energie události apod.

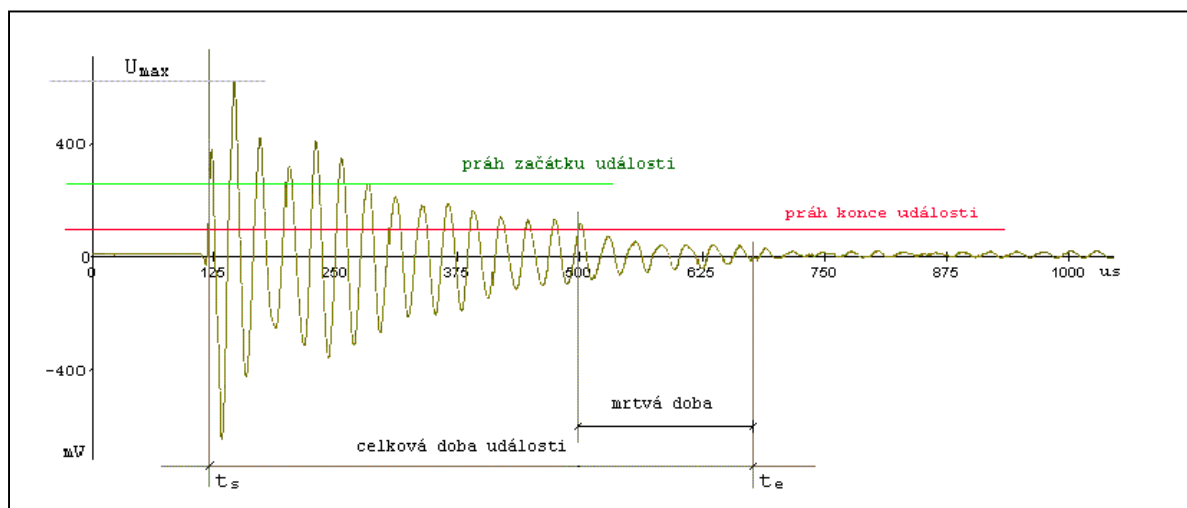
Součástí měřicí sestavy je také výkonný počítač s nainstalovaným vývojovým prostředím LabView 6.0, které umožňuje další možnosti zpracování sejmутého signálu.



Obr. 9: Zkušební vzorky (trámce 10x10x40 cm)



Obr. 10: Dynamické zatěžování zkušební vzorku v laboratoři CDV



Obr. 11: Časový průběh jedné události (balík AE)

## 5. ZÁVĚR

Velkou výhodou metody AE je to, že indikuje pouze takové defekty, které jsou při daném namáhání zařízení či konstrukce (mostu) aktivní a jsou tedy nestabilní a nebezpečné. Na rozdíl od běžných nedestruktivních diagnostických metod také poskytuje globální informaci o stavu kontrolovaného objektu. Na základě výsledků měření AE totiž lze detailní defektoskopické kontroly přednostně směřovat do míst detekovaných emisních zdrojů. Metoda AE se takto stává užitečným doplňkem běžných metod diagnostiky.

## 6. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Pospíšil K., Chobola Z. et al.: Stanovení metodiky monitorování výztuží železobetonových a předpjatých konstrukcí - zpráva o řešení projektu za rok 2001. CDV, Brno, leden 2002
- [2] Pospíšil K.: Koroze výztuže předpjatých a železobetonových mostů a její detekce. Inžinierske stavby, č.1, 2001, s.34-38, ISSN: 1335-0846

## 7. ANOTACE

Stav zabudované ocelové výztuže ovlivňuje řada různých faktorů. Mezi nejzávažnější negativně působící mechanismy patří koroze výztuže. Z rozboru ústřední evidence mostů na pozemních komunikacích ČR vyplývá, že více jak jedna třetina z celkového počtu mostů jich nevyhovuje. Tento stav je zapříčiněn především nedostatkem finančních prostředků na jejich údržbu. Právě proto je nalezení relativně rychlé a levné monitorovací metody, která by dokázala odhalit poruchy mostu již v časném stádiu velmi důležitým úkolem. Vhodnou metodou pro tento účel se jeví metoda akustické emise, neboť velmi dobře postihuje vyvíjející se procesy jako jsou koroze výztuže či vznik trhlin v betonu.



## **8. ABSTRACT**

An inbuilt rebar is under influence a lot of factors. The most negative influence is caused by rebar corrosion. Road Bridges Central Files of the Czech Republic shows that nearly one third of all bridges are in unsatisfactory status. This situation is caused by lack of financial resources for bridge maintenance. That is why a finding reliable fast and cheap monitoring method for bridge defects location in early stage is very important task. Acoustic emission method appears to be a suitable method for that reason because it expresses developing processes like rebar corrosion and concrete cracks.