

**DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM MOSTŮ PK
POSTUPY MONITOROVÁNÍ A VYHODNOCENÍ KOROZE
VÝZTUŽÍ V BETONU METODOU AKUSTICKÉ EMISE**

**Schváleno MD - OI pod č.j. 90/07-910-IPK/1
ze dne 19.1. 2007, s účinností od 1. února 2007**

**Centrum dopravního výzkumu
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební**

leden 2007

Obsah

1 Úvod	1
2 Základní pojmy	2
3 Metoda akustické emise	3
4 Parametry měřicí aparatury	3
4.1 Snímač AE.....	3
4.2 Předzesilovač.....	4
4.3 Kabel	4
4.4 Zesilovač s filtry.....	4
4.5 Vyhodnocovací jednotka.....	4
4.6 DAQ zařízení.....	5
4.7 Vyhodnocovací software.....	5
5 Způsoby zpracování signálu.....	5
6 Příprava	6
6.1 Vztah objednatel - zhotovitel	6
6.2 Povolení a oprávnění.....	7
6.3 Kvalifikace a certifikace pracovníků.....	7
6.4 Ověřování a kalibrace měřicí aparatury a jejích komponent.....	7
6.5 Potřebná dokumentace a informace o stavbě	8
6.6 Podpůrné technické vybavení.....	9
7 Podmínky pro měření	9
8 Měření	10
8.1 Výběr metody, způsoby zatěžování	10
8.2 Instalace měřicí aparatury	11
8.3 Průběh měření	12
8.4 Bezpečnost práce.....	13
9 Vyhodnocení měření	13
10 Vyhodnocení stavu konstrukce	15
11 Doplnkové informace.....	16
12 Technické předpisy a normy	16
13 Literatura	18

Přílohy:

Příloha 1 Příklad aparatury pro měření metodou AE

Příloha 2 Praktické příklady měření metodou AE

1 ÚVOD

Tyto Technické podmínky (dále jen TP) se zabývají popisem metodiky monitorování stavu výztuží železobetonových a předpjatých konstrukcí metodou akustické emise (dále jen AE), se zaměřením na nosné konstrukce betonových mostů pozemních komunikací.

Technické podmínky platí pro monitorování betonových konstrukcí monolitických i montovaných z prefabrikovaných dílců.

Technické podmínky lze v přiměřeném rozsahu použít také pro stanovení strukturální integrity železobetonových a předpjatých konstrukcí metodou AE.

Použití metody akustické emise v oblasti diagnostického průzkumu železobetonových a předpjatých konstrukcí je poměrně novou záležitostí, která dosud neměla oporu v žádném českém ani zahraničním předpisu.

Normy platné pro AE se převážně zabývají terminologií, popisem přístrojů, jejich pracovních charakteristik, všeobecnými zásadami užívání metody AE, případně aplikacemi této metody na jednodušších konstrukcích, převážně z homogenních materiálů.

Metodika uvedená v TP byla vypracována na základě nových zahraničních poznatků z této oblasti a zkušeností z průběhu řešení VaV projektu MD č. 803/120/108: „Stanovení metodiky monitorování výztuží železobetonových a předpjatých konstrukcí“.

TP popisují požadavky na měřicí aparaturu, metodiku měření a zpracování naměřených dat, interpretaci výsledků a požadavky na vyhodnocení.

2 ZÁKLADNÍ POJMY

Níže uvedené pojmy jsou pouze základní, pro zbývající platí definice uvedené v ČSN EN 1330-1, ČSN EN 1330-2 a ČSN EN 1330-9, ČSN 73 1370 a dalších, viz kapitola 12.

akustická emise – fyzikální jev vznikající v materiálech náhlým uvolněním elastické energie nebo při některém procesu ve formě přechodových elastických vln

aktivita akustické emise – výskyt signálů v důsledku akustické emise

zdroj akustické emise – fyzikální zdroj jedné nebo více událostí akustické emise

aktivní zdroj AE – zdroj akustické emise, který při zvyšujícím se nebo konstantním zatížení vykazuje aktivitu AE

kriticky aktivní zdroj AE – zdroj akustické emise, který při zvyšujícím se nebo konstantním zatížení vykazuje nárůst aktivity AE

intenzita zdroje AE – udává se jedním nebo několika parametry AE

intenzivní zdroj AE – aktivní zdroj akustické emise, jehož intenzita trvale překračuje průměrnou intenzitu všech aktivních zdrojů

kriticky intenzivní zdroj AE – intenzivní zdroj akustické emise, jehož intenzita trvale roste při zvyšujícím se nebo konstantním zatížení

zónová lokalizace – konstrukce se rozdělí do zón a akustické emise z každé zóny je snímána jedním snímačem AE, bez dalšího upřesnění polohy zdroje AE

zkouška metodou AE – sledování nebo zkoušení objektu během zatížení pomocí zařízení pro měření akustické emise, zaměřené na zjištění stavu objektu, případně zdrojů akustické emise, jako jsou rostoucí vady, atd.

signál AE – elektrický signál na snímači akustické emise vyvolaný akustickou emisí

šum pozadí – signály vyvolané jinými příčinami než akustickou emisí nebo emisními zdroji, které nejsou pro účely zkoušení závažné

práh detekce AE – úroveň napětí, která musí být překročena, aby mohl být emisní signál detekován a zpracován

snímač AE – měnič, který převádí elastické vlny, které se šíří zkoumaným objektem na elektrický signál

kanál AE – jeden snímač akustické emise a příslušné přístrojové vybavení pro detekci a měření signálů AE

vlnovod AE – zařízení umožňující přenos elastických vln ze zkoušeného objektu do snímače AE

kalibrační zařízení pro měření AE – elektronický generátor vlnění nebo jiné zařízení, které může vytvořit opakovatelný signál na emisním snímači pro kontrolu a ověření funkce měřicího přístroje

Hsu-Nielsenův zdroj – zařízení pro simulaci emisní události, využívající lomu vhodně upevněné grafitové tuhy

decibelová stupnice akustické emise – logaritmická stupnice v dB, odvozená z napětí, kde referenční napětí U_r je $1 \mu V$ vztažené na vstup předzesilovače, $dB_{AE} = 20 \log (U / U_r)$

3 METODA AKUSTICKÉ EMISE

Působící zatížení nebo vliv agresivního prostředí mohou vyvolat v konstrukci vnitřní změny, jako jsou růst trhliny, lokální plastické deformace, korozní nebo fázové změny. Tyto změny jsou všeobecně doprovázeny emisí elastických vln, které obsahují informace o vnitřním chování materiálu. Vlny mohou být snímány vhodným snímačem akustické emise, který detekuje kombinaci podélných, příčných, povrchových, případně deskových typů vln přicházejících z několika směrů a převádí výchylky na povrchu materiálu na elektrický signál. Signály se zpracovávají odpovídajícím přístrojovým vybavením pro detekci, charakterizaci a lokalizaci zdrojů AE.

Metoda akustické emise je nedestruktivní diagnostická metoda. Zkouška metodou AE, která má za účel vyhodnocení stavu výztuže betonového mostu, se provádí v rámci diagnostického průzkumu mostu.

Diagnostický průzkum mostu zpravidla navazuje na hlavní nebo mimořádnou prohlídku mostu; slouží ke stanovení příčin vad a poruch, jejich vývoje, opatření k jejich odstranění a určení podkladů pro dokumentaci opravy.

V zásadě existují dvě základní možnosti využití metody akustické emise při hodnocení stavu výztuží mostních konstrukcí. První možností je dlouhodobé monitorování konstrukce nebo její vybrané části polem snímačů akustické emise. Druhou možností je vyšetření konstrukce metodou AE (jednorázové měření, které je periodicky opakováno v určitých intervalech).

4 PARAMETRY MĚŘICÍ APARATURY

Systém akustické emise zahrnuje komponenty nutné pro:

- 1) detekování signálu (snímače AE),
- 2) úpravu signálu (předzesilovače, kabely, zesilovače, DAQ zařízení),
- 3) analýzu a zpracování výsledků (vyhodnocovací jednotka, vyhodnocovací software).

4.1 Snímač AE

Nejčastěji používaným snímačem pro detekci akustické emise je piezoelektrický snímač, který umožňuje efektivní přeměnu elastických vln na elektrický signál, nejčastěji v rozmezí frekvencí od 20 kHz do 1 MHz. Velikost, tvar a zapouzdření snímacího prvku snímače ovlivňuje jeho citlivost, směrovost, frekvenční odezvu, citlivost na různé druhy vln a jeho pracovní teplotu.

Úroveň šumu mezi jednotlivými snímači použitými při jednom měření by se neměla lišit o více jak 3 dB.

Piezoelektrické snímače akustické emise jsou buď rezonanční s maximem v určitém frekvenčním rozsahu, nebo širokopásmové s plochou frekvenční charakteristikou.

Širokopásmové snímače se používají zřídka z důvodu nízké citlivosti a zvýšenému šumu pozadí, nebo se použijí zkušebně jako první a na základě výsledků se zvolí vhodný snímač rezonančního typu.

Výběr snímače závisí na typu zkoušené konstrukce a podmínkách zkoušky.

Při speciálních aplikacích se snímač AE připevňuje na vlnovod akustické emise.

4.2 Předzesilovač

Předzesilovač slouží k napětovému předzesílení signálu a pro jeho přenos dlouhým kabelem k měřicímu zařízení.

Běžný předzesilovač má vysokou vstupní impedanci, zesílení obvykle 20, 40 nebo 60 dB a výstupní impedanci 50 Ω .

Stejnoseměrné napájení předzesilovače bývá zajištěno stejným kabelem, který slouží pro výstup signálu.

V některých případech, zejména při dlouhodobém monitorování konstrukcí, může být předzesilovač integrální součástí snímače akustické emise. Pokud je předzesilovač samostatným prvkem, je spojen se snímačem speciálním kabelem délky maximálně 1 metr.

4.3 Kabel

Kabel slouží k propojení předzesilovače a měřicího zařízení (vyhodnocovací jednotky) pro zpracování a analýzu signálů AE. Obvykle se používá stíněný koaxiální kabel s impedancí 50 Ω , délky dle potřeby, až několik set metrů.

4.4 Zesilovač s filtry

Zesilovač slouží pro dodatečné zesílení signálu a analogovou filtraci pro odstranění nežádoucích nízko nebo vysokofrekvenčních signálů.

Vstupní obvody zesilovače obvykle zajišťují stejnosměrné napájení předzesilovače.

U sériově vyráběných měřicích zařízení bývají zesilovače s filtry integrální součástí těchto zařízení.

4.5 Vyhodnocovací jednotka

Jádro celého systému tvoří vyhodnocovací jednotka, která se liší pro následující 2 systémy:

- systém měřicí primární charakteristiky signálu (vybrané parametry – viz kapitola 5),
- systém pro snímání tvaru signálu.

První systém zaznamenává sledované parametry v průběhu měření a po jeho ukončení se provádí vyhodnocení těchto parametrů (většinou má omezené možnosti v oblasti frekvenční analýzy signálu).

Druhý systém zaznamenává celkovou charakteristiku signálu, kterou získá digitalizací a uložením tvaru signálu, který překročí prahovou úroveň amplitudy, nebo uložením celého signálu (v případě krátkých měření).

Důležitými vlastnostmi systémů pro snímání tvaru signálu je jeho dynamický rozsah, šířka pásma, rychlost vzorkování, typ a kapacita ukládání a rychlost přenosu dat na paměťové médium.

4.6 DAQ zařízení

Většinou je tvořeno multifunkční kartou, jejímž hlavním účelem je sejmутí tvaru signálů z jednotlivých kanálů nastavenou vzorkovací frekvencí a jejich uložení do počítače (data acquisition). Tyto karty jsou většinou napojeny na PCI slot počítače nebo tvoří komponentu vyhodnocovací jednotky.

4.7 Vyhodnocovací software

Koupený nebo speciálně sestavený software pro zpracování a vyhodnocení naměřených dat (parametry AE, celková charakteristika signálu) a vizualizaci výsledků (grafy, tabulky, protokoly).

5 ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

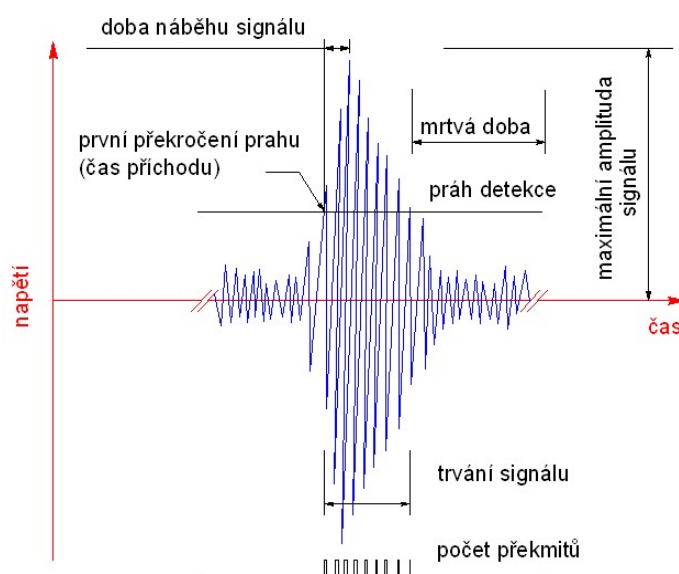
Sejmutý signál může mít charakter spojitý či nespojitý.

Systémy pro měření spojitého signálu se používají v případech, kdy není požadována identifikace a charakterizace jednotlivých emisních událostí (např. při zjišťování netěsností), což však nesplňuje požadavky kladené na měření betonových mostních konstrukcí.

Pro účely tohoto měření se používají systémy pro měření nespojitého signálu, které identifikují a charakterizují jednotlivé události AE na základě časové prodlevy, při které signál nepřekročí práh detekce (navolená hodnota napětí), viz obr. 1, nebo se provádí digitalizace a uložení tvaru sejmutého signálu, se kterým se pracuje až následně.

K oddělení jednotlivých událostí AE, které se nacházejí velmi blízko sebe, se zavádí tzv. mrtvá doba. Pokud od posledního překročení prahu detekce po tuto dobu nedojde k dalšímu překročení tohoto prahu, je probíhající událost ukončena a při následujícím překročení prahu začíná nová událost.

Může být použito i jiné kritérium pro separaci jednotlivých událostí AE.



Obr. 1: Charakteristika nespojitého signálu AE a jeho parametry

Charakteristiky každého nespojitého signálu mohou, v závislosti na typu systému a jeho použití, zahrnovat některé z následujících parametrů:

1) Parametry nutné pro identifikaci události AE v čase:

- čas příchodu – čas, kdy nespojitý signál AE poprvé protne práh detekce,
- trvání signálu – časový interval mezi prvním a posledním překročením prahu detekce signálem akustické emise.

2) Parametry popisující událost AE:

- počet překmitů – počet kmitů, které překročí práh detekce během trvání signálu,
- maximální amplituda signálu – maximální absolutní hodnota amplitudy v době trvání signálu,
- doba náběhu signálu – časový interval mezi prvním překročením prahu detekce a maximální amplitudou signálu,
- energie signálu – druhá mocnina amplitudy signálu integrované po dobu měření signálu,
- průměrná frekvence signálu,
- efektivní hodnota signálu (RMS),
- střední hodnota signálu (ASL) atd.

Navíc mohou být v průběhu času sledovány a registrovány další externí parametry, jako jsou teplota vzduchu, tlak vzduchu, síla větru, deformace konstrukce, zatížení, záběry z kamery, apod.

Tyto parametry mohou být vzorkovány v okamžiku příchodu události AE nebo v určených časových intervalech.

V případě, že je k dispozici záznam celkové charakteristiky signálu, je možno stanovit frekvenční spektrum nespojitého signálu AE nebo provést časově-frekvenční analýzu vybraných částí signálu.

6 PŘÍPRAVA

6.1 Vztah objednatel - zhotovitel

Zkouška metodou AE, která má za účel vyhodnocení stavu výztuže betonového mostu, se provádí na základě výsledků hlavní či mimořádné prohlídky mostu uskutečněné dle ČSN 73 6221. Pouze výjimečně, na základě doporučení správce mostu, se může zkouška metodou AE provést přímo v rámci hlavní nebo mimořádné prohlídky.

Intervaly pro provádění hlavní prohlídky trvalých betonových mostů jsou 2 až 6 let, v závislosti na klasifikačním stupni stavu mostu, dle ČSN 73 6221.

Mimořádná prohlídka se provádí při projevech příznaků nebezpečného oslabení korozí, při nadměrné deformaci jednotlivých částí konstrukce mostu, při nenadálém výskytu trhlin apod.

Objednatelem zkoušky metodou AE je správce mostu, který zastupuje zájmy vlastníka (státu nebo obce).

Smlouva mezi objednatelem a dodavatelem má specifikovat:

- účel zkoušky,
- rozsah zkoušky,
- použitou metodu – monitorování, vyšetření,
- zkušební postup – parametry, doba trvání atd.,
- charakter AE dat a dalších sledovaných veličin,
- kritéria pro interpretaci, klasifikaci a vyhodnocení zkoušky,
- vypracování příslušné dokumentace.

6.2 Povolení a oprávnění

Zkoušku mostu metodou AE může provádět fyzická nebo právnická osoba, která má pro příslušné zkoušky akreditaci a/nebo oprávnění od ústředního orgánu státní správy ve věcech dopravy - viz část II/2 a II/3 metodického pokynu Systém jakosti v oboru pozemních komunikací (SJ-PK), úplné znění Věstník dopravy 14-15/2005.

Pokud je nutno z důvodu instalace systému AE nebo měření metodou AE uzavřít nebo omezit provoz na mostě, musí to být v dostatečném předstihu projednáno s příslušnými orgány státní správy (především se správcem mostu a správci dotčených komunikací).

6.3 Kvalifikace a certifikace pracovníků

Požadavky pro udělení certifikátu pro zkoušení akustickou emisí uvádí norma ČSN EN 473. Metoda akustické emise je zde označena symbolem AT. Osoba certifikovaná v souladu s touto normou je klasifikována jedním ze tří stupňů, v závislosti na příslušné kvalifikaci.

Osoba odpovědná za provedení diagnostického průzkumu mostní konstrukce, nebo její vybrané části, metodou akustické emise má být certifikována ve stupni 3, osoby provádějící měření mají být certifikovány alespoň ve stupni 1.

Diagnostický průzkum betonových mostů a betonových částí mostů může provádět pouze fyzická nebo právnická osoba, která disponuje takovým personálním obsazením a přístrojovým vybavením, které umožňuje vlastními silami fyzicky provést nejméně 50 % rozsahu veškerých zkoušek a měření na konstrukci, viz bod 31.P2.2 kapitoly 31 TKP.

6.4 Ověřování a kalibrace měřicí aparatury a jejích komponent

Kalibrace snímačů AE se provádí na specializovaném, k tomu účelu zřízeném pracovišti, které splňuje všechny stanovené podmínky nebo u výrobců snímačů AE, kteří zpravidla tento servis zajišťují.

Metody pro kalibraci snímačů jsou definovány v ASTM E1106 a ASTM E1781 nebo jsou dány jejich výrobcem.

Intervaly pro kalibraci jsou většinou dány výrobcem, ale mohou být přiměřeně zkráceny v závislosti na stavu snímačů AE a frekvenci jejich používání.

Ověřování citlivosti snímačů se musí provádět mnohem častěji než jejich kalibrace, definuje je ČSN EN 13477-2, ASTM F2174 a ASTM E76.

Rutinní ověřování vlastností měřicího systému AE s jedním nebo několika kanály se provádí dle ČSN EN 13477-2.

Provádí se:

- ověření citlivosti snímačů, které je nutné pro vytvoření srovnatelných skupin snímačů AE používaných v rámci jednoho měření,
- ověření charakteristiky předzesilovače (pokud není integrální součástí snímače akustické emise),
- ověření systému zpracování signálu, které zahrnuje:
 - o ověření prahu detekce,
 - o ověření naměřených parametrů nespojitého signálu AE: amplituda, trvání signálu, počet překmitů, energie (mezní úchyly pro ověřování parametrů signálu AE jsou uvedeny v tabulce 1 ČSN EN 13477-2),
 - o ověření rychlosti detekce signálů AE systémem (tato rychlost je značně závislá na počtu kanálů, trvání signálu, diskriminačních časech, rychlosti zpracování dat a komunikaci s periferiemi systému),
 - o ověření časového rozdílu mezi dobou příchodu signálu AE na vybrané snímače AE.

Ověřování charakteristik měření se doporučuje provést po nákupu, při změnách sestavy nebo po použití za mimořádných podmínek (nízké teploty apod.).

Další metody pro ověřování celého systému měření metodou AE jsou popsány v ASTM E2374 a ASTM E750.

Lze použít i jiný, dostatečně spolehlivý, způsob ověřování vlastností měřicího systému AE.

6.5 Potřebná dokumentace a informace o stavbě

Před vlastní zkouškou metodou AE se zajistí podklady tak, aby se získaly veškeré existující údaje o mostním objektu. Zdrojem bývá archivní vložka objektu u správce, archivy okresní, projekčních a investorských organizací.

Jsou-li k dispozici, je vhodné zajistit zejména tyto dokumenty:

- mostní list,
- projektová dokumentace,
- dokumentace skutečného provedení stavby,
- výsledky předchozích měření metodou AE na mostním objektu,
- záznamy z dosud provedených prohlídek, diagnostických průzkumů a zatěžovacích zkoušek mostů,
- dokumentace elektrických a geofyzikálních opatření provedených proti korozním vlivům stejnosměrných bludných proudů cizích elektrických polí,
- historie zatížení konstrukce mostu a plány do budoucna (nadměrné náklady atd.),
- údaje o použitých materiálech,
- projekt diagnostiky a údržby mostu (pokud byl projektantem vypracován jako součást projektové dokumentace mostu),
- záznamy o případných změnách, opravách nebo rekonstrukcích,
- další dokumentace stávajícího stavu apod.

6.6 Podpůrné technické vybavení

Instalace systému pro měření metodou AE (rozmístění snímačů, uchycování kabelů), ve většině případů, vyžaduje použití výsuvné plošiny.

Měřicí aparatura AE se standardně umísťuje do měřicího vozidla, které je upraveno pro bezpečnou přepravu aparatury na místo měření a v případě vyšetření metodou AE slouží také jako kontrolní místo pro AE sledování.

Pro účely zatížení konstrukce mostu se používá vhodné zatěžovací vozidlo. V případě statického zatížení a dynamického zatížení bez rázu mohou být použita vozidla pro stanovení zatížitelnosti dle TP 149, v případě dynamického zatížení s rázem se používá naložený nákladní automobil, který přejíždí přes práh, podrobněji kapitola 8.1.

V některých případech je potřeba zajistit zdroj elektrické energie.

V případě dlouhodobého monitorování metodou AE se zajistí v blízkosti mostu uzamykatelná místnost, případně buňka, kde se umístí centrální část aparatury. Odtud se budou průběžně přebírat výsledky nebo budou tyto výsledky odesílány (např. prostřednictvím internetu) do vyhodnocovacího střediska zhotovitele.

7 PODMÍNKY PRO MĚŘENÍ

V dostatečném termínu před měřením je účelné provést vizuální prohlídku mostu s cílem:

- zjistit, zda je v souladu dokumentace skutečného provedení a skutečný stav mostu,
- ověřit reálný výskyt trhlin, výluhů, korozivního poškození, zjistit polohu a technický stav ložisek a kloubů, mostních závěrů apod.,
- provést průzkum stavby z hlediska šumů pozadí, které by mohly znehodnotit měření metodou AE,
- stanovit míru spolupůsobení jednotlivých částí konstrukce (nosníky, deska, ložiska, příčníky, atd.), pokud bude konstrukce mostu buzena dynamicky,
- ověřit přístupnost podhledu mostu pro instalaci snímačů AE,
- ověřit kvalitu povrchu betonu v místech předpokládaného upevnění snímačů,
- upřesnit požadavky na podpůrné technické vybavení.

V ideálním případě se měření naplánuje na stejnou dobu, kdy se provádí jiný diagnostický průzkum, provádí statická nebo dynamická zatěžovací zkouška nebo je z nějakých důvodů uzavřen provoz na mostě.

U mostů, jejichž technické provedení nebo vybavení je mimořádně náročné, je vhodné zajistit spolupráci specializovaných pracovišť (výzkumné ústavy, vysoké školy apod.), a to nejen při návrhu diagnostického průzkumu, ale i při sledování mostu a provádění navrženého diagnostického průzkumu.

Připraví se zkušební postup, který musí obsahovat všechny náležitosti potřebné ke zdárnému provedení zkoušky metodou AE, dle ČSN EN 13554, bodu 10.

Měření metodou AE se nemá provádět při teplotách nižších než 5°C, pokud nejsou přijata speciální opatření (např. v případě dlouhodobého monitorování).

8 MĚŘENÍ

Všeobecné zásady požadované při zkoušení akustickou emisí konstrukcí, komponentů a různých materiálů při zatížení definuje ČSN EN 13554 a ASTM E569.

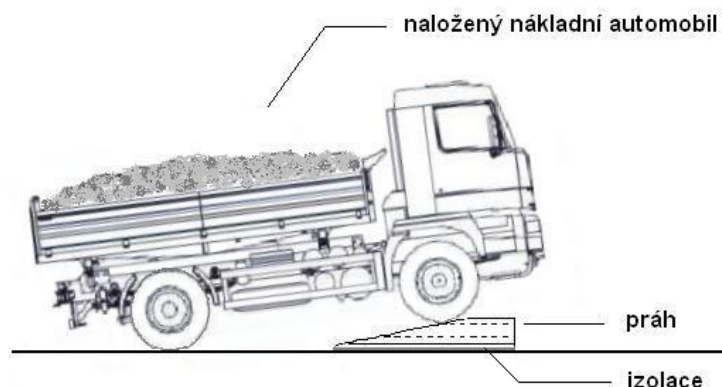
Měření metodou AE na mostních konstrukcích probíhá podle předem zpracovaného zkušebního postupu.

8.1 Výběr metody, způsoby zatěžování

Dle dohody se zadavatelem se provádí buď vyšetření, nebo monitorování konstrukce mostu nebo jeho vybrané části metodou AE.

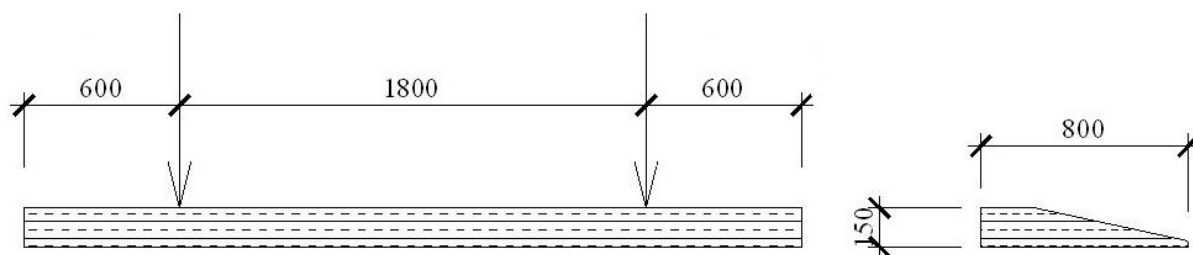
V případě vyšetření konstrukce mostu metodou AE existují v zásadě tři základní způsoby zatěžování konstrukce:

- statické – zatěžovací vozidlo nebo vozidla o hmotnosti nepřevyšující výhradní zatížitelnost mostu se umístí doprostřed rozpětí mostního pole,
- dynamické bez rázu – zatěžovací vozidlo nebo vozidla o hmotnosti nepřevyšující výhradní zatížitelnost mostu, která přejíždí přes most rychlostí 0,5 km/h,
- dynamické s rázem – naložený nákladní automobil konstantní hmotnosti, přejíždějící konstantní rychlostí přes práh konstantní výšky, který je umístěn na vozovce, viz obr. 2.



Obr. 2: Dynamické zatěžování s rázem

Doporučené rozměry dřevěného prahu jsou uvedeny na obr. 3. Použití prahu tvaru válcové úseče definované v ČSN 73 6209 se nedoporučuje, protože nezajistí vybuzení potřebné odezvy konstrukce.



Obr. 3: Zatěžovací schéma - rozměry prahu v mm

Dynamické zatěžování nesmí svými účinky ohrožit spolehlivost celé konstrukce, nesmí způsobit lokální poškození a musí vybudit dostatečně velkou odezvu konstrukce.

V případě monitorování metodou AE je konstrukce mostu zatěžována provozem, který na něm probíhá. Dostatečná odezva konstrukce je vyvolána především nákladní dopravou.

8.2 Instalace měřicí aparatury

Stanovení počtu, typu a rozmístění snímačů AE se provede na základě znalosti fyzikálních vlastností materiálu, zkoumané konstrukce a typu měřicího systému a v závislosti na požadované přesnosti a podrobnosti zkoušky, viz tab. 1.

FAKTOR	ZOHLEDNIT	DETAILY
Výběr snímače AE	<ul style="list-style-type: none"> - vlastnosti materiálu - geometrie konstrukce - útlum signálu - citlivost snímače AE - frekvenční rozsah snímače AE 	
Rozmístění snímačů AE	<ul style="list-style-type: none"> - cíl analýzy - okrajové podmínky 	<ul style="list-style-type: none"> - počet senzorů - max. vzdálenost 2m - vizuální kontrola
Upevnění snímačů AE	<ul style="list-style-type: none"> - vazební prostředky - pomocné prostředky 	<ul style="list-style-type: none"> - trvalé – lepidlo - dočasné – pasty, vazelína, vosk, atd. - svorky, úchyty
Ověření osazených snímačů AE	<ul style="list-style-type: none"> - funkčnost - citlivost 	<ul style="list-style-type: none"> - např. Schmidtův tvrdoměr - Hsu-Nielsenův zdroj
Vlivy prostředí	<ul style="list-style-type: none"> - vítr - déšť - teplota - rušení 	<ul style="list-style-type: none"> - intenzita a směr - vlhkost - provoz, vedení, atd.

Tab. 1: Faktory, které je potřeba zohlednit při instalaci aparatury AE

Před osazením snímačů se doporučuje provést měření rychlosti šíření signálů AE, útlumu a šumu pozadí, pokud nejsou známy.

Snímače AE musí být připevněny k podhledu mostu přes akustickou vazbu. Mohou být použity různé vazební prostředky, ale musí být kompatibilní se zkoušeným materiálem.

Povrch objektu pod snímačem musí být čistý a rovný, aby byl zajištěn dostatečný a reprodukovatelný přenos vln AE.

Zejména pokud jde o monitorování metodou AE, musí být kabely řádně fixovány, aby nedocházelo k jejich poškozování, nekývaly se při poryvech větru apod.

V případě monitorování metodou AE se umístění snímačů nemění, avšak je nutná jejich pravidelná kontrola, stejně tak i kontrola celé měřicí aparatury, která je zpravidla umístěna v uzamykatelné buňce poblíž mostu.

V případě vyšetření konstrukce metodou AE se po provedení měření na jedné části konstrukce, např. mostním nosníku, přemísťují snímače na další část mostu tak dlouho, dokud není proměřena celá vyšetřovaná oblast. Poté se celá aparatura demontuje a odveze.

Mimo instalace snímačů AE a zapojení aparatury pro měření metodou AE se nainstalují další snímače a zařízení pro měření externích parametrů, pokud jsou součástí měření.

8.3 Průběh měření

Systém AE musí minimálně zajistit sběr a uložení relevantních parametrů, nezbytných pro vyhodnocení zkoušky.

Po zapojení a spuštění aparatury AE se provede ověření funkčnosti a chování celého systému pomocí Hsu-Nielsenova zdroje nebo podobnou metodou.

Zdroje šumu musí být odstraněny nebo musí být přijata opatření, která zajistí, že nebude snížena účinnost zkoušky AE.

Provede se kontrola citlivosti lokalizace zdrojů AE, a to zejména v případech, kdy není dostatečná zónová lokalizace a používá se výpočet polohy zdrojů AE pomocí lokalizačních algoritmů.

Na základě provedených měření rychlosti šíření signálů AE, útlumu, šumu pozadí a zkušeností z předchozích měření se provede nastavení aparatury, které obnáší nastavení zesílení, šířky pásma, prahu detekce, mrtvé doby, rychlosti vzorkování apod.

Ve většině případů se toto nastavení provádí shodně pro všechny kanály AE.

Provede se kontrola funkčnosti zařízení pro měření externích parametrů.

Následuje vlastní měření.

V případě monitorování metodou AE, kde zatížením je vlastní provoz na mostě a sledování trvá delší dobu (např. půl roku), se provádí on-line zpracování signálu. Zaznamenávají se parametry událostí AE nebo jejich průběhy pro následné zpracování, viz kap. 10.

V případě vyšetření metodou AE se provádí záznam průběhu celého signálu nebo parametrů AE po celou dobu zatěžování, a to jedním nebo více ze tří způsobů uvedených v kap. 8.1.

Pokud se provádí statické i dynamické zatěžování, pak statická zkouška předchází dynamickou.

V závislosti na aplikaci se doporučuje v reálném čase zobrazovat histogramy, grafy, tabulky, lokalizační mapy, aby byla zajištěna kontrola zkoušené konstrukce v reálném čase. Pokud nejsou výsledky měření jednoznačné, doporučuje se pro danou oblast provést další měření s hustším polem snímačů.

V průběhu zatěžování se zaznamenávají externí parametry.

Ověření aparatury se provádí ve stanovených časových intervalech dle zkušebního postupu nebo v případě funkční poruchy.

8.4 Bezpečnost práce

Pracovníci jsou povinni dodržovat při práci všeobecná pravidla bezpečné práce a používat předepsané ochranné pomůcky. Při práci za provozu, a to i částečného, musí používat výstražné pracovní oděvy a vesty, či jiné k tomuto účelu určené pomůcky. Všechna nákladní vozidla a stavební mechanizmy musí mít při práci za provozu v činnosti předepsané výstražné majáky. Všichni pracovníci musí být prokazatelně seznámeni se všeobecnými pravidly bezpečné práce, hygieny při práci a s bezpečnostními předpisy pro práci na pozemních komunikacích, a to i v případě omezeného provozu.

Obsluhy strojů a zařízení musí být prokazatelně seznámeny s jejich činností, obsluhou i údržbou a musí mít příslušné oprávnění k jejich obsluze tam, kde je předepsáno. Bezpodmínečně musí být dodržovány návody k jejich obsluze a bezpečnostní pokyny pro práci s nimi.

9 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

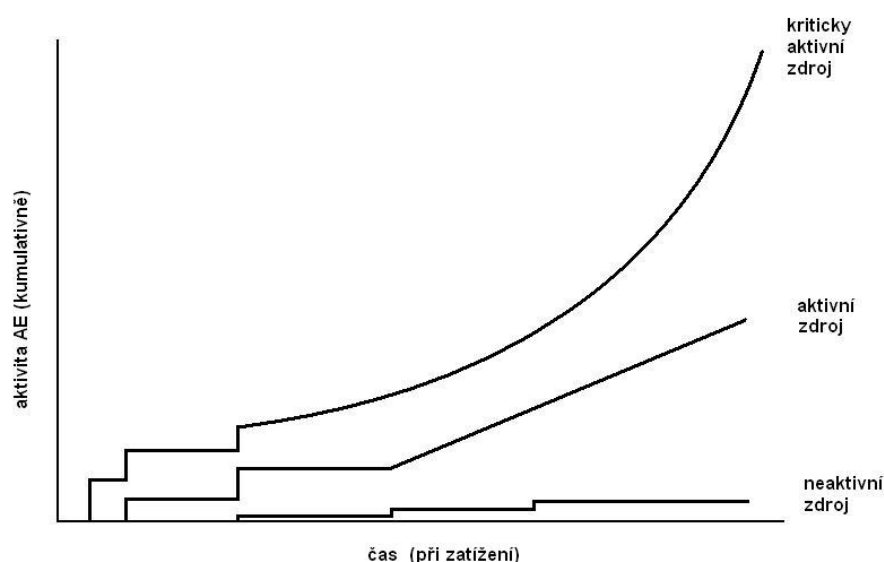
Základní funkcí AE systému je detekovat, lokalizovat a klasifikovat zdroje akustické emise.

Analýza a zpracování výsledků má splňovat náležitosti uvedené v ČSN EN 13477-1 a ČSN EN 13554.

Klasifikace zdroje AE se provádí s ohledem na jeho akustickou aktivitu a intenzitu.

Akustická aktivita zdroje AE se obvykle měří počtem zaznamenaných nespojitých událostí AE.

Jednotlivé typy zdrojů AE jsou uvedeny na obr. 4.

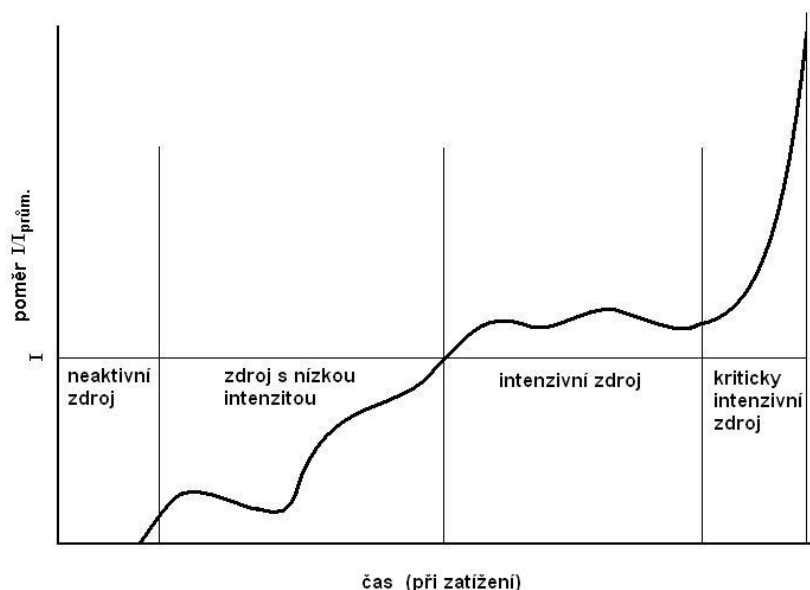


Obr. 4: Schématické znázornění jednotlivých typů zdrojů AE (převzato z ASTM E569)

Intenzita zdroje AE se nejčastěji vyjadřuje prostřednictvím energie zaznamenaných událostí AE, počtem překmitů, amplitudou a dalšími parametry, viz kap. 5.

Zdroj AE se považuje za kriticky intenzivní, když je aktivní a jeho intenzita I trvale překračuje průměrnou intenzitu všech aktivních zdrojů $I_{\text{prům.}}$.

Jednotlivé fáze vzniku kriticky intenzivního zdroje AE jsou uvedeny na obr. 5.



Obr. 5: Fáze vzniku kriticky intenzivního zdroje AE vyjádřené poměrem $I/I_{\text{prům.}}$ (převzato z ASTM E569)

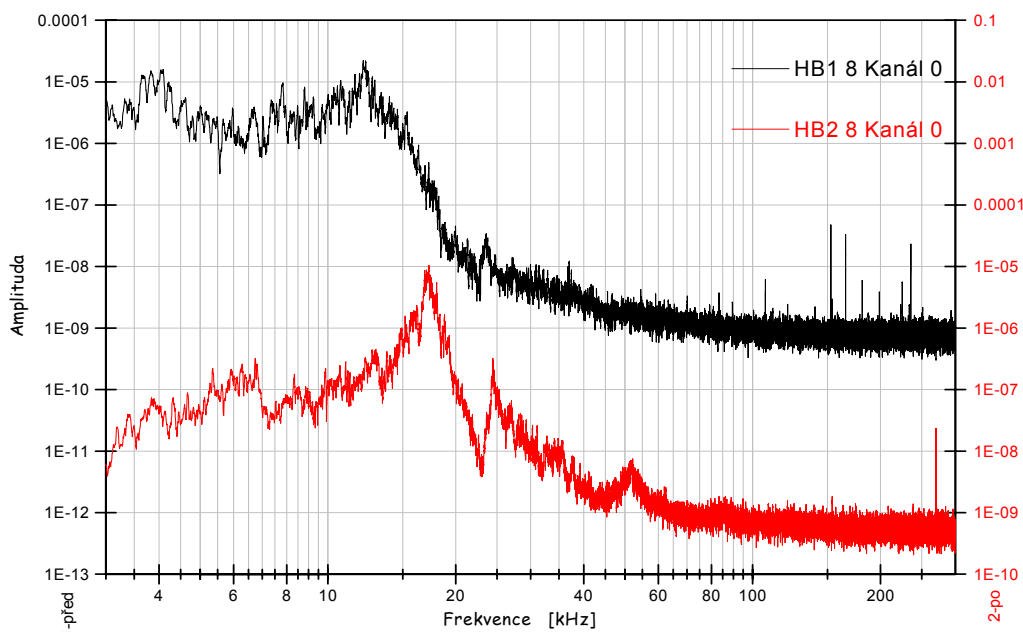
Pokud je, mimo sledování aktivity a intenzity zdrojů, použit algoritmus pro lokalizaci zdrojů AE, lze do klasifikace zahrnout další hledisko a vyhodnocovat tak velikost oblastí detekovaných zdrojů.

Lokalizace jednotlivých zdrojů je prováděna analýzou času příchodu signálu na jednotlivé snímače AE v průběhu nebo po skončení zatěžování.

Lokalizace zdrojů AE závisí na typu aplikace. Může být lineární, plošná nebo zónová a v některých případech prostorová.

Při měření lineárních prvků jako jsou mostní nosníky většinou postačí zónová lokalizace, viz obr. 7, která nevyžaduje znalost rychlosti šíření akustického signálu sledovanou částí konstrukce.

V případě vyšetření metodou AE, zejména pokud jde o měření, při němž je použito dynamické zatížení s rázem, se vyhodnocují frekvenční spektra zaznamenaného nespojitého signálu (převážně prostřednictvím Fourierovy transformace), viz obr. 6, nebo se provádí časově-frekvenční analýza vybraných částí signálu (prostřednictvím krátkodobé Fourierovy transformace, vlnkové transformace apod.).



Obr. 6: Srovnání frekvenčních spekter z měření nosníku na stejném místě s časovým odstupem

Všechny výše uvedené informace, včetně zaznamenaných externích parametrů, tvoří datový soubor AE, který se uloží do databáze.

Databáze slouží pro vyhodnocení aktuálního stavu konstrukce. Z porovnání aktuálních výsledků měření s výsledky předchozími, lze posoudit strukturální změny v konstrukci a odhadnout jejich příčinu.

V případě monitorování metodou AE je vyhodnocení měření složitější, protože se provádí filtrace založená na analýze tvaru vlny, frekvenčních spekter, zaznamenaných externích parametrů a jiných faktorů, aby byly vyloučeny všechny události AE, které nesouvisí se stavem vyšetřované konstrukce.

10 VYHODNOCENÍ STAVU KONSTRUKCE

Procedura vyhodnocení datových souborů AE má specifikovat kriticky aktivní a kriticky intenzivní zdroje a nebezpečné frekvence z hlediska výskytu koroze výztuže.

Interpretace výsledků měření obvykle vyžaduje využití odpovídající databáze experimentálních výsledků získaných při měření stejné či obdobné mostní konstrukce, výsledků destruktivních zatěžovacích zkoušek mostních nosníků stejného typu jako jsou použity ve vyšetřované konstrukci, výsledků laboratorních zkoušek apod.

Konečné rozhodnutí o klasifikaci zdrojů AE provádí osoba odpovědná za provedení zkoušky metodou AE, viz kap. 6.3.

Vysoce pokročilé aplikace AE mají vlastní uživatelské rozhraní, které detekuje zdroje AE, lokalizuje je a automaticky kategorizuje (tzv. on-line analýza).

Tyto aplikace mohou mít vazbu na kontrolní nebo výstražný systém (např. v případě monitorování metodou AE lze zachytit prasknutí drátů lana předpínací výztuže).

Protokol o provedení zkoušky metodou AE, který se předává zadavateli, musí mít náležitosti dle ČSN EN 13554, bodu 11.

Všechny výsledky mají být shrnuty vhodným způsobem v podobě grafů a tabulek, zahrnujících lokalizaci a klasifikaci jednotlivých zdrojů s příslušným komentářem, viz obr. 7.

Doporučuje se provádět opakované měření mostních konstrukcí metodou AE, které umožňuje mnohem lépe zachytit vývoj koroze výztuže sledovaných prvků mostní konstrukce.

Pokud nejsou výsledky měření v nějakém ohledu jednoznačné, doporučuje se provést měření jinou nedestruktivní metodou uvedenou v příloze 1 TP 72, případně provést kontrolní destruktivní sondy na těch místech konstrukce, kterých se tyto nejasnosti týkají.



Obr. 7: Schéma vyhodnocení stavu nosníku z hlediska koroze

11 DOPLŇKOVÉ INFORMACE

Druhy betonářské výztuže používané od roku 1923, včetně jejich charakteristik, jsou uvedeny v ČSN 73 6220, tabulce B.3.

Druhy předpínací výztuže a její dovolená namáhání se uvažují podle ČSN 73 6207.

Požadavky na materiál mostních konstrukcí z předpjatého betonu jsou uvedeny v ČSN 73 6207.

Zásady a metody týkající se závad betonu a koroze betonářské výztuže jsou uvedeny v TP 120, tabulce 2 a 3.

Metody postupu stanovení agresivity prostředí z hlediska korozních vlivů elektrických polí stanovuje norma ČSN 03 8372.

Přehled metod diagnostického průzkumu je uveden v TP 72, příloze 1.

12 TECHNICKÉ PŘEDPISY A NORMY

ČSN EN 1330-1 (01 5005) Nedestruktivní zkoušení – Terminologie - Část 1: Všeobecné termíny

ČSN EN 1330-2 (01 5005) Nedestruktivní zkoušení – Terminologie - Část 2: Společné termíny pro metody nedestruktivního zkoušení

ČSN EN 1330-9 (01 5005)	Nedestruktivní zkoušení – Terminologie - Termíny používané při zkoušení akustickou emisí
ČSN EN 13477-1 (01 7090)	Nedestruktivní zkoušení – Akustická emise - Charakterizace přístrojů - Část 1: Popis přístrojů
ČSN EN 13477-2 (01 7090)	Nedestruktivní zkoušení – Akustická emise - Charakterizace přístrojů - Část 2: Ověřování pracovní charakteristiky
ČSN EN 13554 (01 5081)	Nedestruktivní zkoušení – Akustická emise - Všeobecné zásady
ČSN EN 1330-10 (01 5005)	Nedestruktivní zkoušení – Terminologie - Termíny používané při vizuální kontrole
ČSN 73 6200	Mostní názvosloví
ČSN 73 6206	Navrhování betonových a železobetonových mostních konstrukcí
ČSN 73 6207	Navrhování mostních konstrukcí z předpjatého betonu
ČSN 73 2401	Provádění a kontrola konstrukcí z předpjatého betonu
ČSN 73 1333	Zkoušení soudržnosti předpínací výztuže s betonem
ČSN 73 1370	Nedestruktivní zkoušení betonu
ČSN EN 473 (01 5004)	Nedestruktivní zkoušení - Kvalifikace a certifikace pracovníků nedestruktivního zkoušení - Všeobecné zásady
ČSN 73 1371	Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu
ČSN 73 1372	Rezonančná metóda skúšania betónu
ČSN 73 6221	Prohlídky mostů pozemních komunikací
ČSN 73 6203	Zatížení mostů
ČSN 73 6220	Zatížitelnost a evidence mostů pozemních komunikací
ČSN 73 2030	Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí – Společná ustanovení
ČSN 73 6209	Zatěžovací zkoušky mostů
ČSN 73 2044	Dynamické zkoušky stavebních konstrukcí
ČSN 03 8372	Zásady ochrany proti korozi nelineových zařízení uložených v zemi nebo ve vodě
Kapitola 18 TKP	Beton pro konstrukce
Kapitola 31 TKP	Opravy betonových konstrukcí
Systém jakosti v oboru pozemních komunikací (SJ-PK) - metodický pokyn, úplné znění Věstník dopravy 14-15/2005	
Zásady pro vypracování projektu diagnostiky a údržby betonových mostů	
Dokumentace elektrických a geofyzikálních měření betonových mostů PK, metodický pokyn	
TP 124	Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací
TP 149	Zatížitelnost mostů pozemních komunikací

TP 72	Diagnostický průzkum mostů pozemních komunikací
TP 120	Údržba, opravy a rekonstrukce betonových mostů PK
ASTM E976-00	Standard Guide for Determining the Reproducibility of Acoustic Emission Sensor Response
ASTM F2174-02	Standard Practice for Verifying Acoustic Emission Sensor Response
ASTM E1106-86(2002)e1	Standard Method for Primary Calibration of Acoustic Emission Sensors
ASTM E1781-98(2003)e1	Standard Practice for Secondary Calibration of Acoustic Emission Sensors
ASTM E2374-04	Acoustic Emission System Performance Verification
ASTM E750-04	Standard Practice for Characterizing Acoustic Emission Instrumentation
ASTM E650-97(2002)e1	Standard Guide for Mounting Piezoelectric Acoustic Emission Sensors
ASTM E569-02	Standard Practice for Acoustic Emission Monitoring of Structures During Controlled Stimulation

13 LITERATURA

Golaski L., Gebiski P., Ono K. Diagnostics of Reinforced Concrete Structures by AE. In *25th European Conference on Acoustic Emission Testing. Volume I*. Brno : ČNDT, 2002, pp. 207 – 215.

Shigeishi M., Colombo S., Broughton K.J., Rutledge H., Batchelor A.J., Forde M.C. Acoustic Emission to Assess and Monitor the Integrity of Bridges. In *Construction and Building Materials*. Feb 2001, v15, i1, pp.35-49.

Elliott J., Diouron T., Stubler J. Continuous Remote Acoustic Health Monitoring of Tensioned Elements in Structures. In *The First fib Congress, Concrete Structures in the 21st Century*. Osaka, , 2002, pp.101-106.

Paulson P. O., Wit M. The Use of Acoustic Monitoring to Manage Concrete Structures. In *Nondestructive Testing in Civil Engineering*. DGZfP: BAM, 2003, s. BB 85-CD.

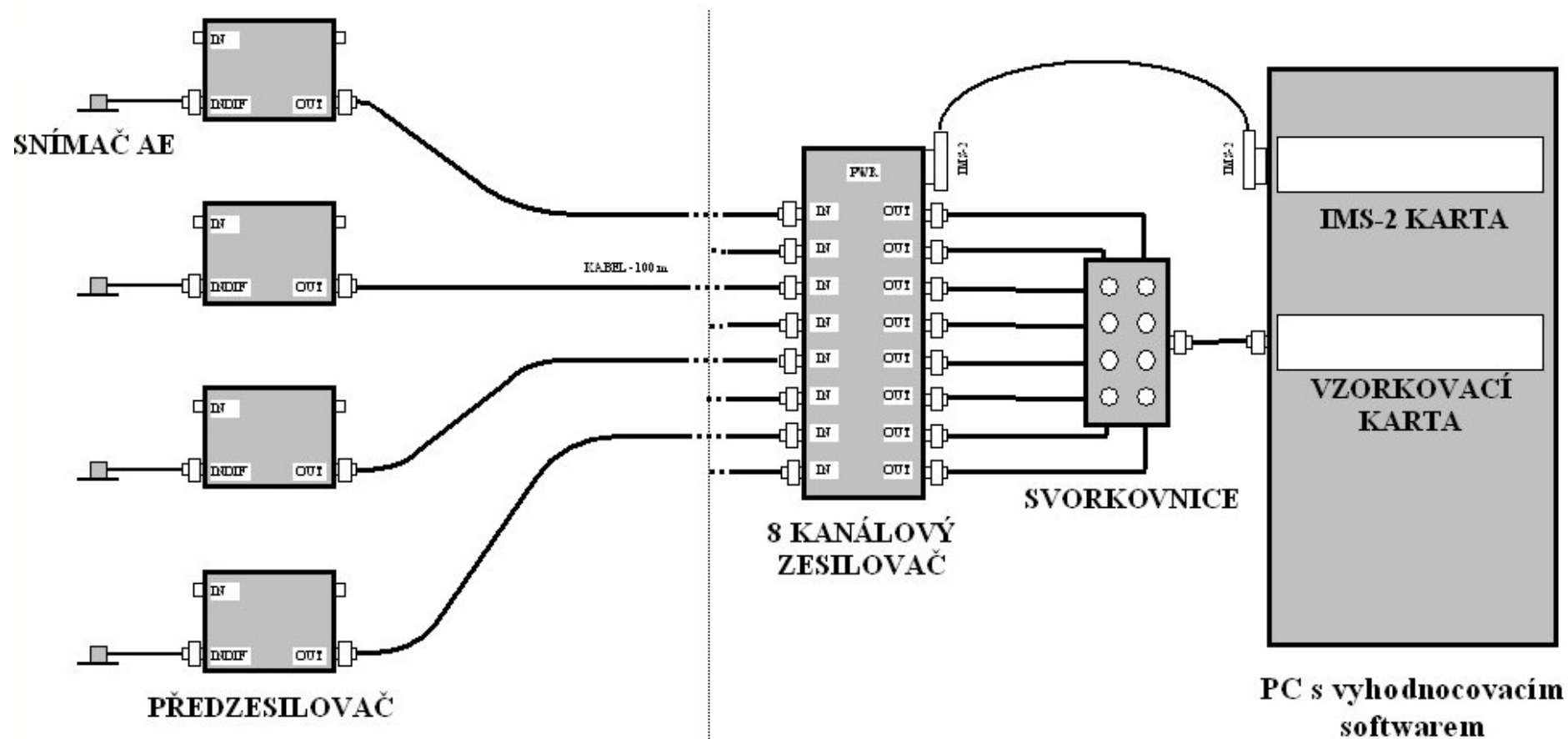
Schechinger B., Vogel T. A Deeper Understanding of Acoustic Emission Wave Propagation in Reinforced Concrete. In *Nondestructive Testing in Civil Engineering*. DGZfP: BAM, 2003, s. BB 85-CD.

Colombo S., Main I.G., Forde M.C., Halliday J. AE on Bridges: Experiments on Concrete Beams. In *25th European Conference on Acoustic Emission Testing. Volume I*. Brno:ČNDT, 2002, pp. 127 – 134.

Muravin G., Makarova H. Diagnostika Procesov Korrozii Matalla v Betone. In *Defektoskopija*, No. 10/1991, pp. 22-29.

Příloha 1 Příklad aparatury pro měření metodou AE

Příloha 1: Příklad aparatury pro měření metodou AE



Příloha 2 Praktické příklady měření metodou AE

Příloha 2: Praktické příklady měření metodou AE

1. Vyšetření části mostu tvořeného nosníky I-73,
2. Měření předpjatých nosníků (strunobeton),
3. Monitorování předpjatého mostu.

1 VYŠETŘENÍ ČÁSTI MOSTU TVOŘENÉHO NOSNÍKY I-73

Popis měření

vyšetřovaná konstrukce:

most o třech polích, nosná konstrukce tvořena jedenácti předpjatými nosníky I-73, jež jsou uloženy na ocelových válcových ložiscích, most postaven v roce 1968

podklady:

- mostní list,
- dokumentace skutečného provedení stavby,
- záznamy z dosud provedených prohlídek mostu.

účel zkoušky:

součást řešení VaV projektu MD č. 803/120/108, kontrolní měření - posouzení vlivu zvednutí mostu, při zachování stávajících nosníků I-73

datum zkoušky:

14.7. 2003 měření před započítím rekonstrukce mostu
27.9. 2003 měření po ukončení rekonstrukce mostu

rozsah zkoušky:

měření 9 nosníků I-73 krajního pole; 3,5 metru od podpěry

použitá metoda AE:

vyšetření vybrané části konstrukce

přípravná fáze:

prohlídka místa měření provedena dne: 26.6. 2003

průzkum stavby z hlediska šumů pozadí:

NE, na základě prohlídky místa měření se nepředpokládala zvýšená hladina šumu pozadí

míra spolupůsobení jednotlivých částí konstrukce:

jednotlivé nosníky byly při horní a spodní přírubě propojeny betonovou deskou šířky 0,4 metru; bez příčníků

kvalitu povrchu betonu v místech předpokládaného upevnění snímačů:

nebylo zapotřebí žádné speciální úpravy, pouze očištění od prachu

požadavky na podpůrné technické vybavení:

elektrocentrála - zdroj elektrického napětí

žebřík - přístupnost podhledu mostu pro instalaci snímačů AE

zkušební postup:

použité zařízení:

CDV 4-kanálová aparatura pro měření parametrů AE (širokopásmové snímače s frekvenčním rozsahem do 1 MHz, předzesilovače PA15, zesilovač AMP31AE, vzorkovací karta NI PCI 6115)

kalibrace snímačů:	15.8. 2002, u výrobce
ověření citlivosti snímačů:	12.6. 2003, dle ASTM E 976-00
ověření charakteristiky předzesilovače:	-
ověření systému zpracování signálu:	13.6. 2003, dle ČSN EN 13477-2

způsob zatěžování konstrukce:

- dynamické s rázem
 - o použití zatěžovacího prahu dle oddílu 8.1 TP,
 - o naložený nákladní automobil značky Liaz - hmotnost 17 tun

instalace měřicí aparatury:

- na každém nosníku byly umístěny dva snímače AE aparatury (30 cm od sebe), viz zatěžovací schéma
- vazební prostředek – vosk
- ověření funkčnosti a chování celého systému po každém osazení snímačů AE bylo provedeno pomocí Hsu-Nielsenova zdroje
- snímače a zařízení pro měření externích parametrů se neinstalovaly

vlastní měření:

- signály AE byly vyvolány pojezdem naloženého nákladního automobilu Liaz přes práh, viz zatěžovací schéma
- při každém přejezdu byl proveden záznam celkové charakteristiky AE signálu v přibližné délce 10 sekund
- pro jednu pozici prahu byly provedeny tři přejezdy
- nastavení aparatury bylo jednotné pro všechna měření, rozsah: ± 1 V, zesílení 60 dB (40 dB předzesilovač, 20 dB zesilovač na vstupu)

charakter AE dat a dalších sledovaných veličin:

parametry událostí AE počítané z časového průběhu signálu: nebyly vyhodnocovány

frekvenční analýza:

frekvenční spektrum bylo počítáno pomocí Fourierovy transformace z přibližně 0,15 sekundy dlouhého časového průběhu odpovídajícího dopadu zadní nápravy zatěžovacího vozidla

časově-frekvenční analýza: se neprováděla

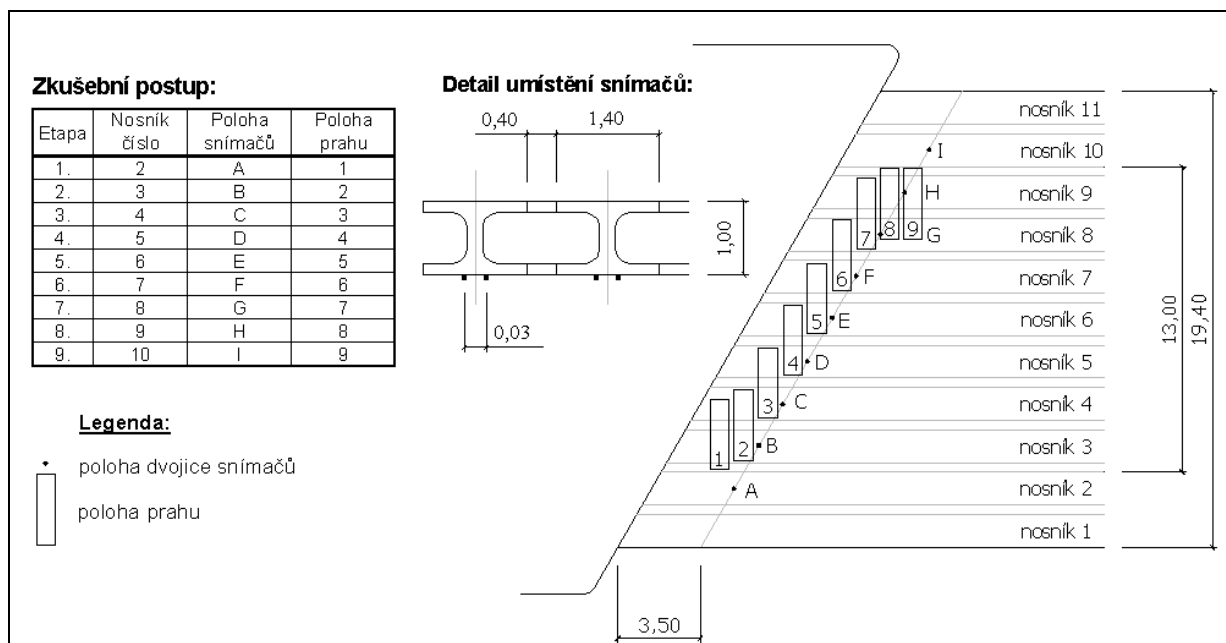
lokalizace zdrojů AE: se neprováděla

další sledované veličiny: nebyly sledovány

kritéria pro interpretaci, klasifikaci a vyhodnocení zkoušky:

provádělo se porovnání frekvenčních spekter odpovídajících signálům sejmutým na nosnících I-73 před rekonstrukcí a po rekonstrukci

zatěžovací schéma:



Příklady z vyhodnocení měření

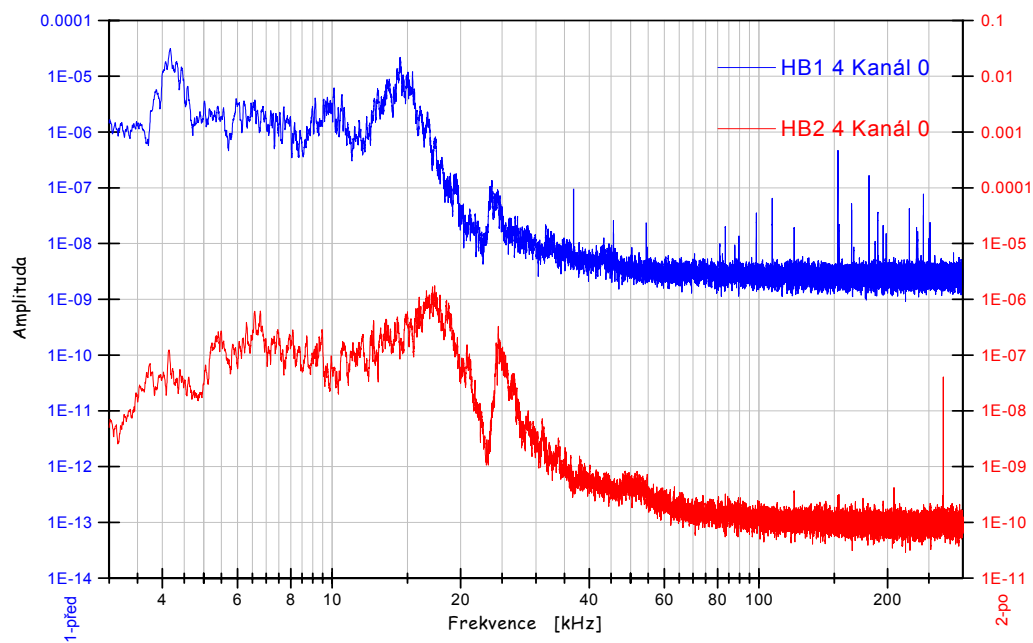
Dále uvedené vyhodnocení vychází z dat naměřených na pěti nosnících (č. 4 - 8) před a po rekonstrukci a na závěr je uvedeno srovnání měření provedeného na nosníku č. 4 pomocí 8 bitové a 12 bitové vzorkovací karty.

U všech nosníků došlo k mírnému posunu dominantní frekvenční složky na 17 kHz a k většímu zvýraznění již dříve zastoupené frekvenční složky 25 kHz. Výjimku tvoří nosník 5, v jehož případě jsou obě tyto složky identické se srovnatelnými absolutními hodnotami. V některých případech se zvýraznila frekvenční oblast kolem 50 a 80 kHz, zejména je to patrné u nosníků 6 a 8.

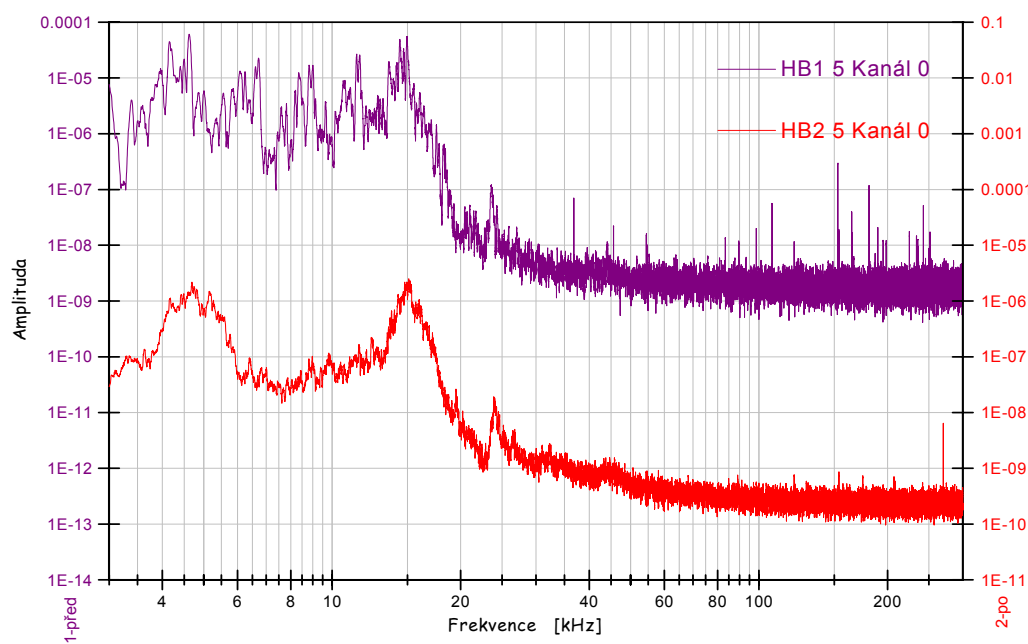
To odpovídá zvýšené propagaci trhlinek v betonu vzniklé při zvedání a manipulaci s nosníky.

Závěr:

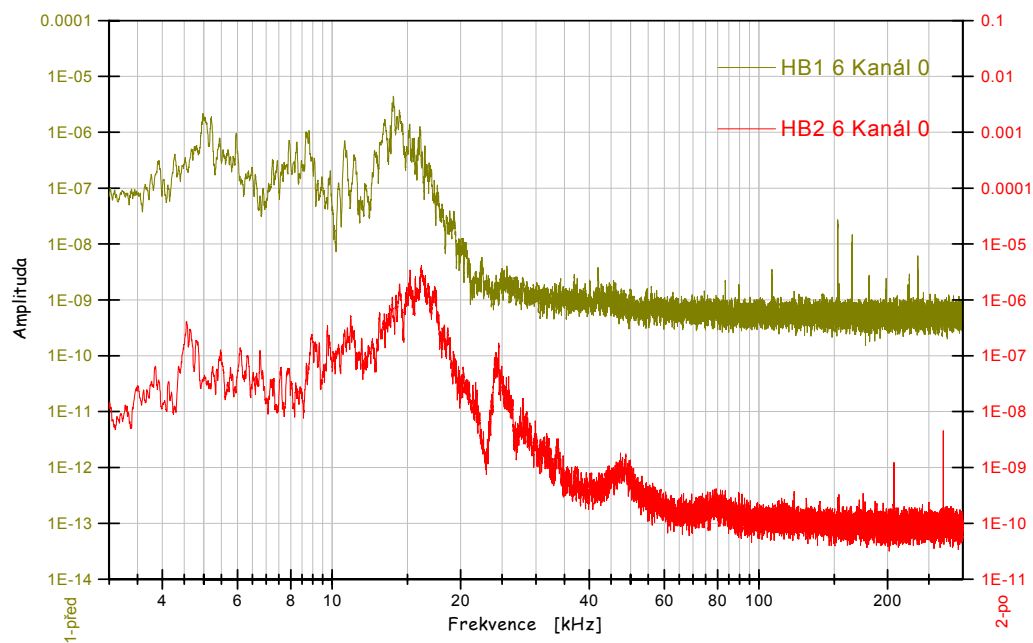
Ve frekvenčních spektrech se následkem zvedání nosníků neprojeví výrazné změny, které by poukazovaly na závažné porušení nosníků I-73 vzniklých následkem jejich manipulace.



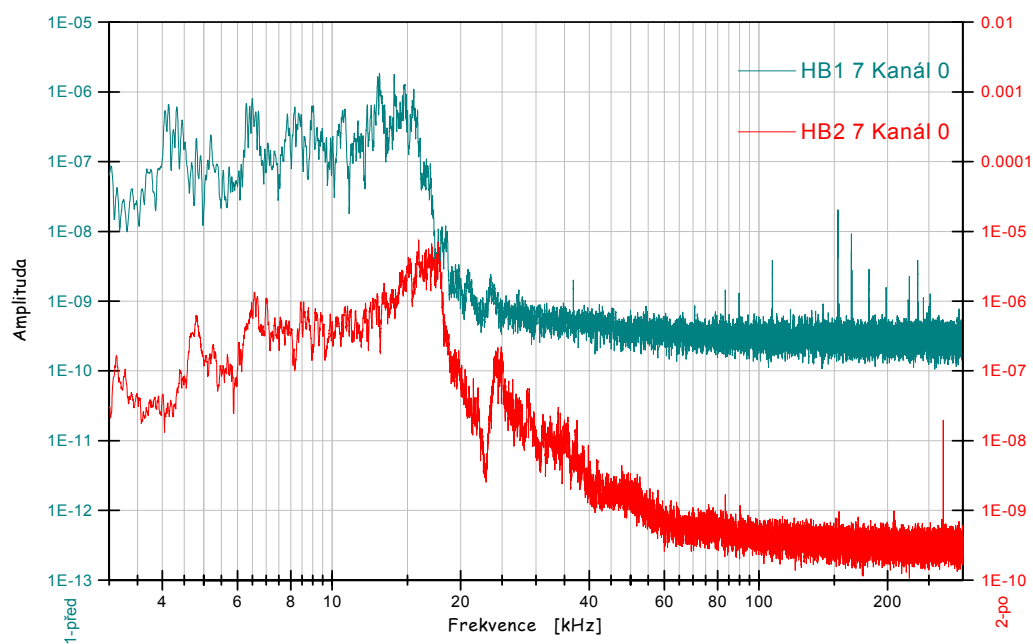
nosník 4 srovnání (před a po rekonstrukci)



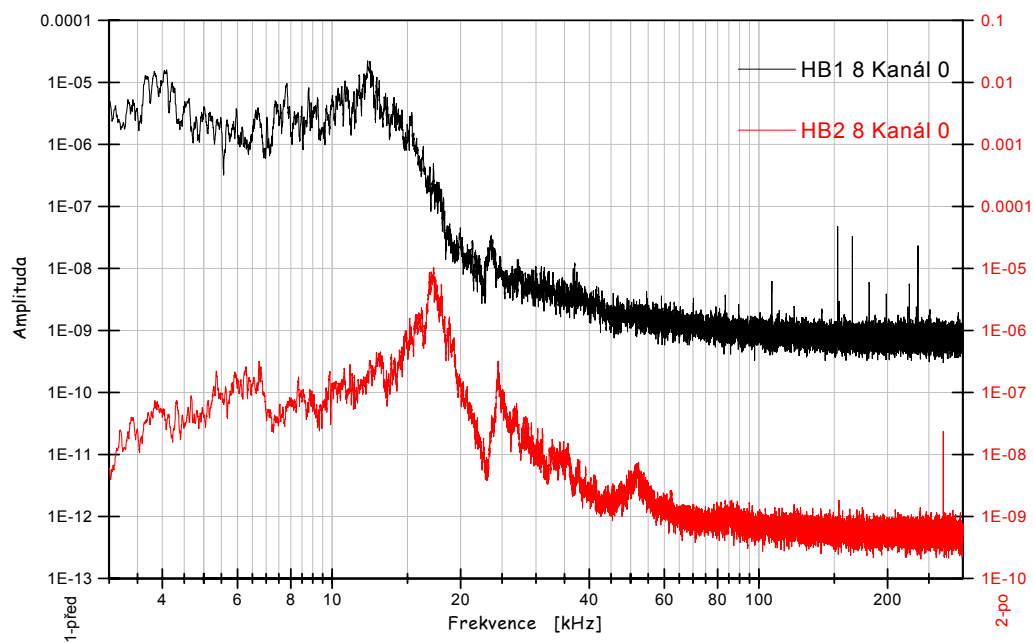
nosník 5 srovnání (před a po rekonstrukci)



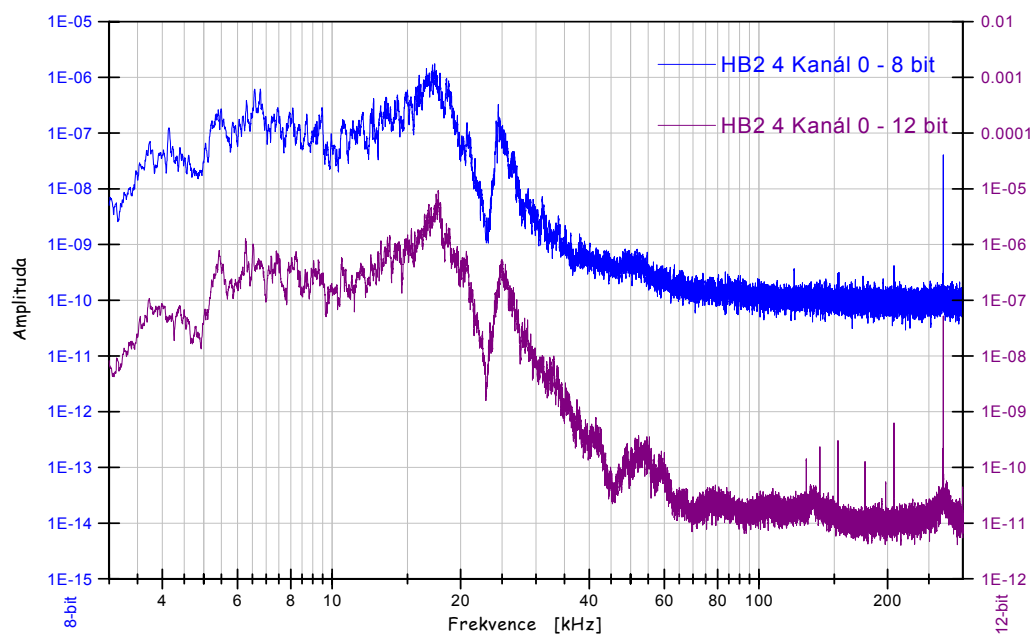
nosník 6 srovnání (před a po rekonstrukci)



nosník 7 srovnání (před a po rekonstrukci)



nosník 8 srovnání (před a po rekonstrukci)



nosník 4 po rekonstrukci, (srovnání měření 8-bit, 12-bit kartou)

2 MĚŘENÍ PŘEDPJATÝCH NOSNÍKŮ (STRUNOBETON)

Zkrácený popis měření

vyšetřovaná konstrukce:

8 předpjatých nosníků délky 2,6 m, vyztužených deseti pruty předpínací výztuže průměru 6 mm; 3 předpjaté nosníky s nezkorodovanou výztuží a 5 prahců s různým počtem zkorodovaných prutů výztuže

účel zkoušky:

laboratorní měření; demonstrace rozdílů zaznamenaných měření metodou akustické emise v souvislosti s rozdílným počtem zkorodovaných prutů výztuže

zkušební postup:

použité zařízení: CDV 4-kanálová aparatura pro měření parametrů AE

způsob zatěžování konstrukce: v lisu pro stanovení statické únosnosti

instalace měřicí aparatury:

- na každém nosníku byly umístěny dva snímače AE aparatury, viz schéma rozmístění zkorodované výztuže
- vazební prostředek - vosk
- ověření funkčnosti a chování celého systému po každém osazení snímačů AE bylo provedeno pomocí Hsu-Nielsenova zdroje

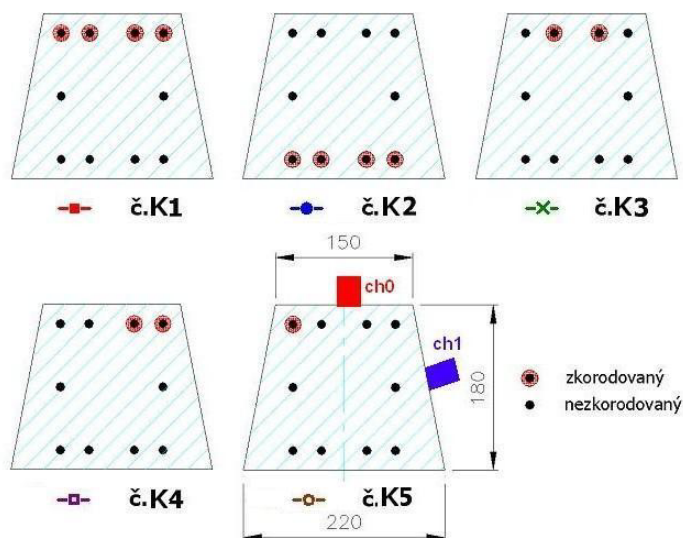


Schéma rozmístění zkorodované výztuže

vlastní měření:

- záznam signálů akustické emise byl pořízen v průběhu zatěžování (v intervalu 80 – 130 kN), v délce 2,5 minut
- nastavení aparatury bylo jednotné pro všechna měření, rozsah: $\pm 1V$, zesílení 40 dB (předzesilovač)

charakter AE dat a dalších sledovaných veličin:

parametry událostí AE počítané z časového průběhu signálu:

- počet překmitů

- maximální amplituda signálu
- energie signálu
- průměrná frekvence signálu
- efektivní hodnota signálu
- střední hodnota signálu

frekvenční analýza: se neprováděla

časově-frekvenční analýza: se neprováděla

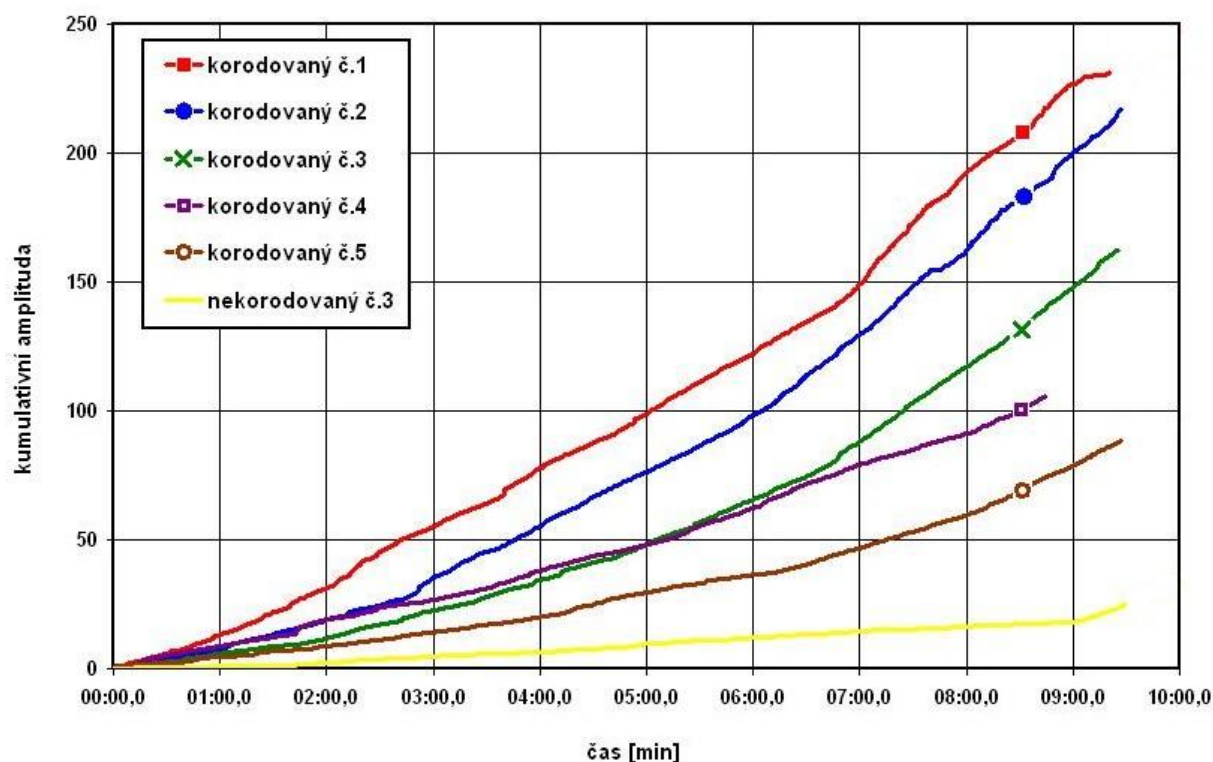
lokalizace zdrojů AE: se neprováděla

kritéria pro interpretaci, klasifikaci a vyhodnocení zkoušky:

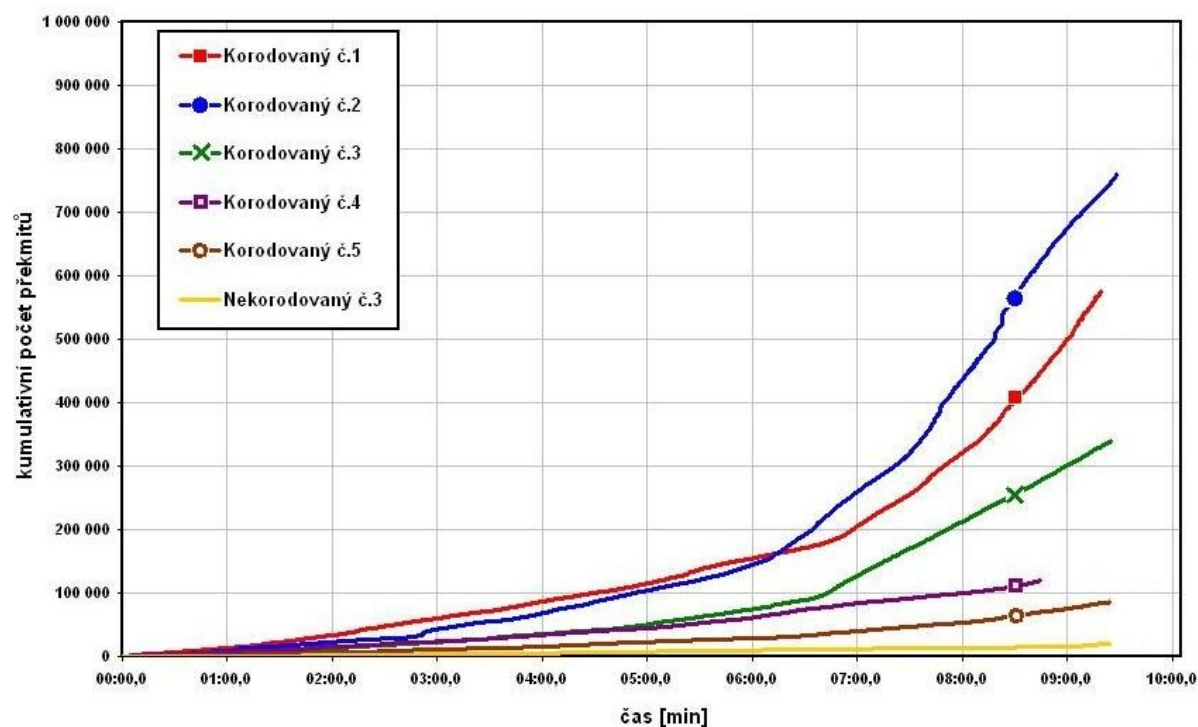
provádělo se porovnání kumulativního průběhu parametrů událostí AE zaznamenaných v průběhu zatěžování na jednotlivých nosnících

Vyhodnocení měření

Následující obrázky zobrazují časovou závislost kumulativních křivek maximálních amplitud emisních událostí a kumulativní počty překmitů událostí AE zaznamenaných na jednotlivých nosnících na kanále 1. Zde se nejvíce projeví rozdíly způsobené odlišným počtem zkorodovaných prutů výztuže.



kumulativní křivka maximálních amplitud jednotlivých událostí AE



kumulativní počet překmitů jednotlivých událostí AE

Závěr:

Z výsledků měření je patrné, že nosníky se zkorodovanou výztuží vykazují vyšší akustickou odezvu než nosníky obsahující výztuž nekorodovanou. S rostoucím počtem zkorodovaných prutů narůstá počet překmitů a rovněž se zvyšuje velikost maximálních amplitud, přičemž poloha koroze oslabených prutů vzhledem k umístění snímačů se na těchto parametrech příliš neprojevuje (souvisí s malým průřezem nosníků).

3 MONITOROVÁNÍ PŘEDPJATÉHO MOSTU

Metodu dlouhodobého monitorování předpjatých mostů metodou akustické emise provádí kanadská firma Pure technologies. Ta má patentovanou monitorovací technologii Sound Print, která je schopna detekovat a lokalizovat přetržení drátu předpínacího lana. Systém je založen na monitorování celé nebo vybrané části konstrukce mostu polem snímačů AE, které jsou napojeny do 32 kanálových vyhodnocovacích jednotek. Získané signály jsou zpracovány a prezentovány on-line na webových stránkách. Poskytovatelem této technologie v Evropě je společnost Advitam.

Jako výstup monitorování slouží tabulka s uvedením polohy a parametrů všech zaznamenaných událostí AE, které byly vyhodnoceny jako přetržení drátu předpínacího lana.

Příklad přehledu parametrů zaznamenaných událostí akustické emise:

Číslo snímače AE	Počet událostí AE		Maximální amplituda signálu <i>/dB</i>	Energie signálu	Trvání signálu <i>/μs</i>	Doba náběhu signálu <i>/μs</i>	Počet překmitů
2	1		42	1	32	10	2
4	6	3	50	27	1958	368	56

Pozn.: na snímači číslo 2 byla zaznamenána pouze jedna událost AE, na snímači číslo 4 bylo zaznamenáno celkem 6 událostí AE, detaily jsou uvedeny k události číslo 3.

Vypracování technických podmínek

Název: Diagnostický průzkum mostů PK postupy monitorování a vyhodnocení koroze výztuží v betonu metodou akustické emise

Vydavatel: Ministerstvo dopravy
Odbor infrastruktury

Zpracovatel: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.
Doc. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., MBA
Ing. Josef Stryk

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav fyziky
Prof. RNDr. Zdeněk Chobola, CSc.
Doc. Ing. Marta Kořenská, CSc.
Doc. Ing. Luboš Pazdera, CSc.

Počet stran: 40

Náklad: 100 ks

Distribuce: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.
Líšeňská 33a, 636 00 Brno

Tel.: +420 548 423 711

Fax: +420 548 423 712

E-mail: karel.pospisil@cdv.cz

www.cdv.cz