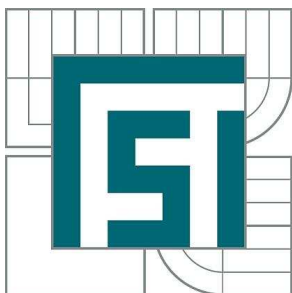


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU PRO OVĚŘOVÁNÍ PARAMETRŮ SNÍMAČŮ AKUSTICKÉ EMISE

DESIGN OF THE MOUNTING DEVICE FOR VERIFICATION OF PARAMETERS OF ACOUSTIC
EMISSION SENSORS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VLASTIMIL CHARVÁT

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PAVEL MAZAL, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vlastimil Charvát

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukce přípravku pro ověřování parametrů snímačů akustické emise

v anglickém jazyce:

Design of the mounting device for verification of parameters of acoustic emission sensors

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh přípravku pro mechanické upnutí různých typů snímačů AE definovanou přítláčnou silou. Přípravek musí umožnit sejmutí signálu AE ze zkoušeného snímače v průběhu zkoušky tzv. PEN testem a softwarové porovnání s předdefinovaným etalonem.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma diplomové práce: průvodní zpráva, technická dokumentace, protokol o měření signálu AE.

Typ práce: konstrukční

Účel práce: pro V-V a tvůrčí činnost ÚK.

Seznam odborné literatury:

KOPEC, Bernard. Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2008. 610 s. ISBN 978-80-7204-591-4.

KREIDL, Marcel, ŠMÍD, Radislav. Technická diagnostika : senzory - metody - analýza signálu. 1. vyd. Praha : Technická literatura BEN, 2006. 410 s. ISBN 80-7300-158-6.

KLYUEV, Vladimir, ZUSMAN, George. Nondestructive Testing and Diagnostics : Handbook. 1st edition. Houston : Metrix Instr.Co., 2004. 656 s.

MOORE, Patrick O.: NNDT Handbook – Acoustic Emission Testing : 3rd Edition Columbus USA, ASNT, 2005. 440 s. ISBN 1-57117-106-1.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Pavel Mazal, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.11.2010

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí několika variant přípravku pro ověřování parametrů snímačů akustické emise, výběrem optimální varianty a ověřením její funkčnosti. Dále je popsána metodika měření, která umožní podrobnou analýzu a vyhodnocení získaných dat se zaměřením na vzájemné srovnání parametrů jednotlivých snímačů AE.

KLÍČOVÁ SLOVA

akustická emise, snímač AE, přípravek, emisní událost

ABSTRACT

This Master's thesis is concerned with project and construction of several versions of mounting device for verification of acoustic emission sensors parameters, selection of optimal solution and its testing. In addition is described the measurement procedure, that allows detailed analysis and evaluation of the data focused on comparing of parameters of acoustic emission sensors.

KEYWORDS

acoustic emission, acoustic emission sensor, mounting device, AE event

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHARVÁT, V. *Konstrukce přípravku pro ověřování parametrů snímačů akustické emise*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 64 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Mazal, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Konstrukce přípravku pro ověřování parametrů snímačů akustické emise* vypracoval s použitím dovolené literatury a pod vedením doc. Ing. Pavla Mazala, CSc.

V Brně dne 24.5.2011

.....
Vlastimil Charvát

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Pavlu Mazalovi, CSc. za cenné rady a připomínky, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
1.1 Akustická emise a její charakteristika	14
1.2 Událost AE	15
1.1.2 Nespojité AE	15
1.1.3 Spojité AE	16
1.3 Zdroj AE	16
1.3.1 Pen-Test	17
1.3.2 Lom kapiláry	17
1.3.3 Klepnutí tyče či kuličky na povrch materiálu	17
1.3.4 Jednorázový poskok defektu v materiálu	18
1.4 Frekvenční pásmo	18
1.5 Vyhodnocení základních parametrů signálu AE	18
1.5.1 Hodnocené parametry emisní události AE	19
1.6 Vícekanálová měření a lokalizace událostí	20
1.6.1 Kompletace hitů	20
1.6.2 Lokalizace událostí AE	21
1.7 Vyhodnocení zdrojů AE	23
1.7.1 Kaiserův jev	23
1.8 Měřicí trasa	24
1.8.1 Snímače akustické emise	24
1.8.2 Předzesilovače AE	25
1.8.3 Kabelové trasy	25
1.8.4 Úprava signálu v měřicím systému před jeho vyhodnocením	26
1.9 Kalibrace snímačů AE	26
1.9.1 Absolutní kalibrace snímačů	26
1.9.2 Relativní kalibrace snímačů	26
1.10 Způsoby instalace snímačů	26
1.10.1 Přímá instalace	26
1.10.2 Instalace přes vlnovod	27
1.11 Vazebné prostředí	28
2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA	29
2.1 Využití metody AE	29
2.2 Využití metody AE na Ústavu konstruování	30
2.2.1 Analyzátor	31
2.2.2 Softwarové vybavení	32
2.3 Problematika ověřování snímačů	33
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	34
4 NÁVRH METODICKÉHO PRÍSTUPU K ŘEŠENÍ	35
5 NÁVRH VARIANT KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	36
5.1 První varianta řešení	36
5.1.1 Výhody a nevýhody první varianty	36
5.2 Druhá varianta řešení	37
5.2.1 Výhody a nevýhody druhé varianty	37
5.3 Třetí varianta řešení	38

5.3.1 Výhody a nevýhody třetí varianty	38
5.4 Čtvrtá varianta řešení	39
5.4.1 Výhody a nevýhody čtvrté varianty	39
5.5 Výběr optimální varianty	40
6 KONSTRIKČNÍ ŘEŠENÍ	41
6.1 Sestava upínacího přípravku	41
6.1.1 Základová deska (3)	41
6.1.2 Stojan (1)	41
6.1.3 Konzola (2)	41
6.1.4 Návrh pružiny	42
6.1.5 Zkušební tyč (11)	46
6.2 Montážní postup:	46
6.3 Postup měření	46
6.3.1 Montáž snímače AE	46
6.3.2 Výměna snímače AE	47
6.3.3 Měření a vyhodnocení dat	47
7 KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ	51
7.1 Ověření funkčnosti přípravku	51
7.1.1 Porovnání parametrů snímačů AE naměřené analyzátozem	51
7.1.2 Porovnání parametrů snímačů naměřených osciloskopem	54
7.2 Konstrukční rozbor	57
7.3 Technologický rozbor	57
7.4 Ekonomický rozbor	57
7.5 Závěr	57
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A VELIČIN	61
10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	62
11 SEZNAM TABULEK	63
12 SEZNAM PŘÍLOH	64

ÚVOD

Vzrůstající požadavky na kvalitu konečného výrobku vedou technickou civilizaci k hledání nových konstrukčních a technologických postupů. K tomu, aby byla zajištěna bezporuchovost, spolehlivost a hlavně bezpečnost výrobku, je nutné klást důraz na zajištění spolehlivosti produkce, především na kontrolu jakosti výrobku v předvýrobní a výrobní etapě, ale dnes už také i po dobu jeho životnosti. Nedílnou součástí kontroly a řízení jakosti jsou defektoskopické metody. Hlavní úlohu v tomto oboru hraje nedestruktivní defektoskopie.

Nedestruktivní defektoskopické metody (NDT) jsou takové metody, kdy při jejich aplikaci nedochází k porušení materiálu. Za počátek nedestruktivního testování lze považovat objev rentgenového záření. Mezi další metody, které tvořily základ této disciplíny můžeme zahrnout ultrazvukové, kapilární a magnetické metody. Přibližně v sedmdesátých letech 20. století nastal rozsáhlý rozvoj v oblasti nedestruktivního zkoušení, kdy byly do tohoto oboru zaváděny nové metody zkoušení jako: neutronová radiografie, tomografie, metody magnetické rezonance,...

Jednou z těchto metod, která zaznamenala rychlý rozvoj na konci minulého století je metoda akustické emise. Metoda akustické emise je pasivní metoda nedestruktivního zkoušení, která detekuje pouze aktivní poruchy. Vyznačuje se především svojí vysokou citlivostí detekce, která je pro ostatní metody nedestruktivního zkoušení téměř nedosažitelná. Zárukou vysoké citlivosti měření je především kvalitní diagnostický systém, který umožňuje snímat akustickou emisi na co možná nejvyšší úrovni citlivosti. Většina zařízení podléhá určité degradaci vlastností vlivem stárnutí, určitý stupeň degradace v závislosti na čase používání vykazují i diagnostické systémy pro detekci akustické emise. Abychom byli schopni zaručit požadovanou přesnost měření, je nutné po určité době ověřit parametry systému. Pozornost je nutno věnovat především snímačům akustické emise, které tvoří hlavní prvek celého systému a zároveň jsou nejvíce vystaveny působení okolních vlivů.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

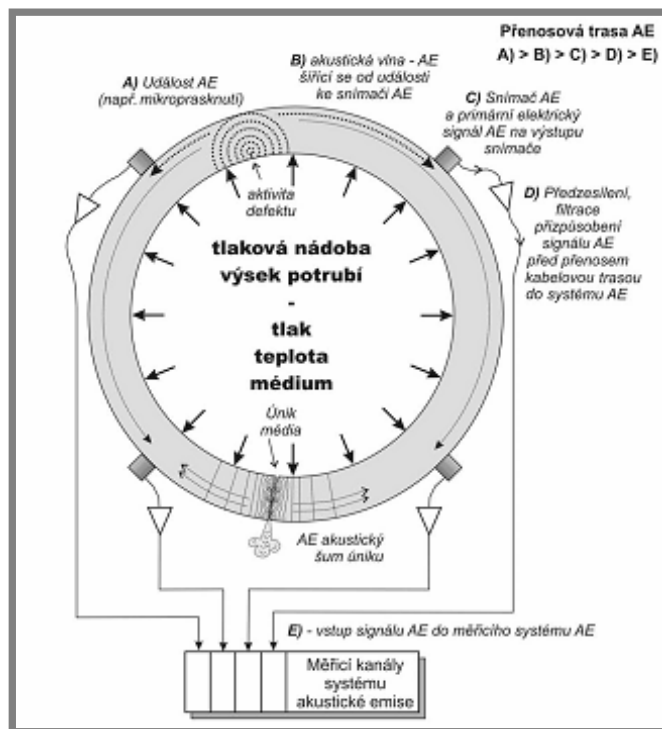
1.1 Akustická emise a její charakteristika

Princip metody akustické emise je zobrazen na obrázku 1.1. Metoda akustické emise je založena na detekci elastických napětových vln vznikajících v materiálu vlivem dynamických procesů, které se objevují při jeho zatěžování vnějšími, nebo vnitřními silami. Tyto napětové vlny se dále šíří tělesem a při dosažení jeho povrchu dochází částečně k odrazu a částečně k transformaci vln, které se dále šíří jako povrchové (Rayleighovy) vlny. Pomocí snímačů akustické emise (viz dále) mohou být tyto vlny detekovány.

Pojmem akustická emise byl poprvé označen fyzikální jev, při kterém plastickou deformaci kovů doprovází popraskávání či akustický šum emitovaný uvnitř materiálu v průběhu plastické deformace.

Dle názvosloví ČSN EN 1330-9 akustickou emisí (AE) nazýváme elastické napětové vlny generované dynamickým uvolněním mechanického napětí uvnitř materiálu tělesa nebo procesem působícím vznik elastických napětových vln na povrchu tělesa.[2]

Metodou AE nazýváme metodu detekce akustické emise, následné elektronické zpracování detekovaného signálu AE a konečně též vyhodnocení parametrů detekovaného signálu AE. První výzkumné práce v oblasti AE provedl německý fyzik Joseph Kaiser v 50. letech dvacátého století. Přibližně od 60. let dvacátého století se metoda akustické emise rozšířila od detekce AE vyvolané plastickou deformací kovů až po monitorování a identifikaci celé řady jiných procesů, jako porušování materiálů konstrukcí, netěsností a úniků médií pod tlakem, obrábění, sváření, výrobních technologických procesů,...[2]



Obr.1.1 Princip akustické emise[12]

1.2 Událost AE

1.2

Událost akustické emise je fyzikální jev, který způsobuje vznik akustické emise, např. posun dislokace, dynamický vznik mikrotrhliny, klepnutí částice. Jedná se o jednorázový dynamický proces, při kterém dojde k rychlému uvolnění určitého množství energie. [2,3]

Podle posloupnosti událostí AE dělíme signál AE na dva základní typy – nespojitou a spojitou.

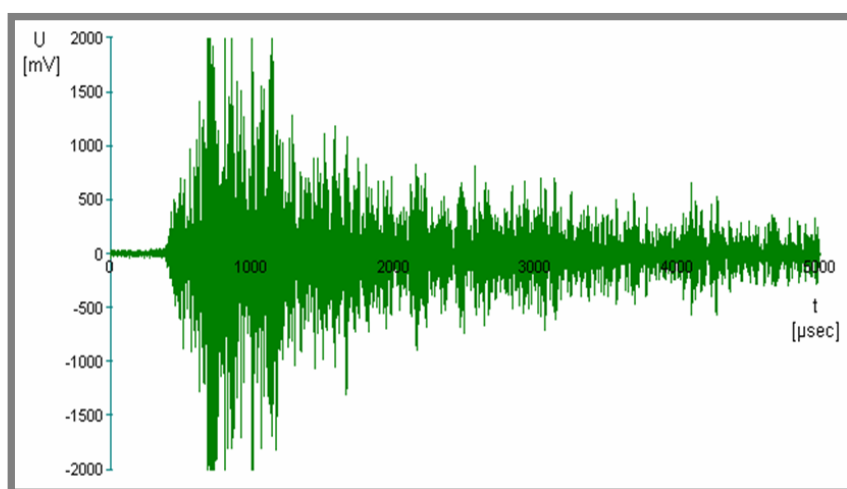
1.1.2 Nespojitá AE

1.1.2

Nespojitá, nebo také praskavá akustická emise je tvořena posloupností událostí AE ve větších časových odstupech trvajících od několika nanosekund do jednotek milisekund. Událost AE vzniká s dostatečným časovým odstupem po doznění předchozí události AE.[2] Zdrojem praskavé emise je obvykle šíření trhlín. (viz Obr. 1.2)

Při zpracovávání praskavého signálu AE se vyhodnocuje [dle1]

- četnost nespojité emise, tj. počet událostí AE za časový interval,
- počet překmitů nebo četnost překmitů přes zvolenou prahovou úroveň,
- čas prvního překročení prahu (dle ČSN EN čas příchodu),
- maximální hodnota signálu,
- doba trvání události,
- doba náběhu definovaná jako doba od překročení prahové úrovně do dosažení maximální amplitudy signálu,
- amplitudové spektrum,
- deformace tvaru impulsu pomocí časově-frekvenčního popisu,
- energie impulsu



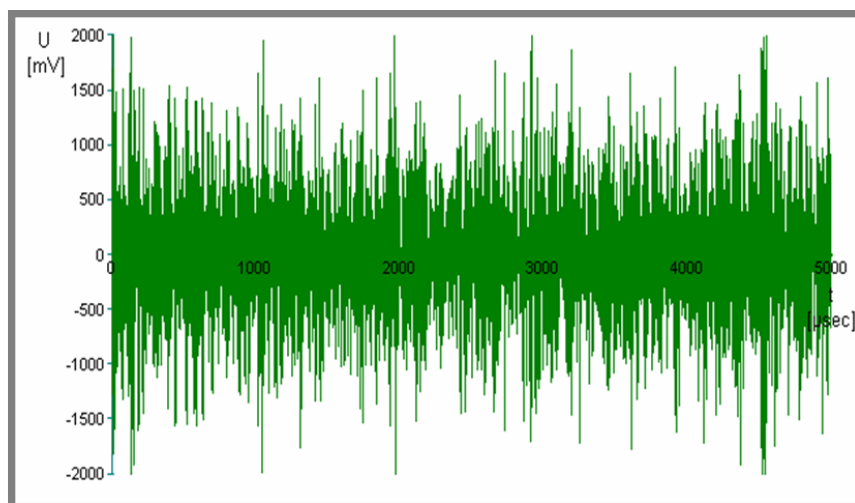
Obr.1.2 Nespojitá AE [9]

1.1.3 Spojitá AE

Signál spojitá AE je tvořen mnoha událostmi, které nejsou časově oddělené. Jednotlivé události se navzájem překrývají, sčítají, superponují z čehož vzniká akustický šum. Zdrojem spojitého signálu AE může být např. únik kapaliny. (viz Obr. 1.3)

U spojitého signálu AE vyhodnocujeme [dle1]

- střední hodnota, efektivní hodnota, maximální hodnota,
- amplitudová distribuční funkce,
- standardní odchylka, rozptyl, vyšší řády momentů,
- histogram amplitud,
- spektrální hustota výkonu,
- četnost překmitů přes prahovou úroveň,
- energie emisních událostí,



Obr.1.3 Spojitá AE [9]

1.3 Zdroj AE

Zdrojem AE je nazýván lokální proces, který produkuje akustickou emisi. Jedna či více událostí představují zdroj AE např. únik média pod tlakem, kdy AE je generována turbulentí média. Dále to může být plastická deformace doprovázená poskoky dislokací, vznik trhliny, fázové přeměny, což jsou události emitující AE. [2,3]

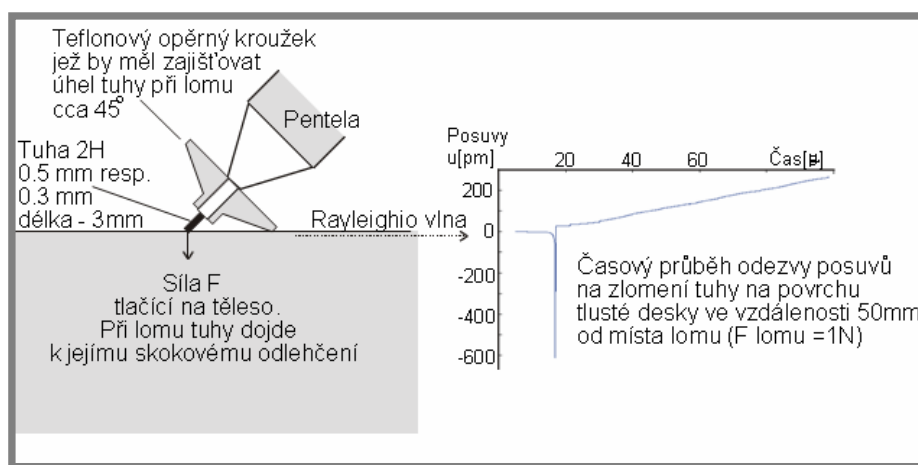
Zdroje akustické emise můžeme rozdělit na zdroje působící na povrch tělesa, nebo uvnitř materiálu. Výše uvedené zdroje AE jsou zdroje, působící uvnitř materiálu. Zdroje působící na povrch tělesa jsou většinou uměle vyvolané a slouží především ke kalibraci snímačů AE.

1.3.1 Pen-Test

1.3.1

Pen-Test – Hsu Nielsenův zdroj (viz Obr.1.4) je považován za základní zdroj AE. Jedná se o náhlé skokové odlehčení síly tlačící kolmo na povrch desky. Základem Pen-Testu je uvolnění velké energie ve formě AE v podobě ostrého pulsu. Čas trvání tohoto pulsu je méně než 10^{-2} μ s, což znamená, že Pen-Test generuje ostrý puls AE se všemi frekvencemi zastoupenými do cca desítek MHz. [2]

Pen-Test je používán ke kalibraci snímačů AE a to jak relativní tak i absolutní. Test spočívá ve zlomení tuhy mikrotužky o povrch testovaného tělesa. Mikrotužka je pro tento účel speciálně upravena a doplněna o teflonový opěrný kroužek, který slouží k přesně definovanému zlomení tuhy.



Obr.1.4 Princip Pen-Testu [12]

1.3.2 Lom kapiláry

1.3.2

Lom, nebo drcení kapiláry patří také mezi zdroje AE využívané ke kalibraci snímačů AE. Lom se provádí tak, že se bodově působí měřenou silou na kapiláru. Při zlomení kapiláry dojde k náhlému uvolnění energie, což se projeví podobně jako u Pen-Testu v podobě ostrého pulsu. Doba trvání pulsu je obvykle méně než 1 μ s a je závislá na vnějším průměru kapiláry. [4]

1.3.3 Klepnutí tyče či kuličky na povrch materiálu

1.3.3

Při klepnutí tyče se zakulaceným čelem o povrch tělesa dochází k působení síly na povrch tělesa. Doba trvání nárůstu síly je řádově několik ms (oproti Pen Testu je cca milionkrát delší). Hlavní část energie je soustředěna do frekvenční oblasti 1 kHz. Z hlediska AE jsou rázy předmětů na povrch tělesa nízkofrekvenční. To je způsobeno tím, že se čelo tyčky či kulička zastavují v důsledku plasticity materiálu pomalu (řádově milisekundy). [2]

Tento zdroj je tedy nevhodným kalibračním zdrojem AE z důvodu dlouhé doby trvání nárůstu síly.

1.3.4 Jednorázový poskok defektu v materiálu

Nazýván také „energie prasknutí“ je charakterizován jako uvolnění mechanické energie a napětí v důsledku rychlého posuvu defektu uvnitř zatěžovaného materiálu. Tímto poskokem mohou být odtržené dislokace od překážky, vznik křehké mikrotrhliny, dekoheze či lom nekovových složek, protržení můstku mezi trhlinou a mikrotrhlinou či poskok trhliny, ...

1.4 Frekvenční pásmo

Typické frekvenční pásmo detekce AE je nejčastěji 20 kHz až 1 MHz. Ve speciálních případech lze AE měřit i na nižších či vyšších frekvencích. AE se však neměří v celém širokém pásmu detekce, ale ve zvoleném užším frekvenčním „podpásmu“.

Nejcitlivější detekce a dosah zdroje AE je na nízkých frekvencích [2]. Zároveň se na těchto frekvencích vyskytuje nejvyšší akustické rušení (přenos zvuků a vibrací z okolního prostředí, povětrnostní podmínky při měření venku).

Se zvyšujícím se frekvenčním pásmem intenzita detekovaného signálu AE klesá, až do jisté horní frekvence, nad kterou není možné s dostatečnou citlivostí detekovat AE.

1.5 Vyhodnocení základních parametrů signálu AE

Elektrický signál AE je vyhodnocován měřícím systémem. U moderních systému se jedná o digitalizaci signálu a jeho následné zpracování procesorem. Signál AE je možné vyhodnocovat na několika úrovních.

V tabulce 1.1 jsou znázorněny různé vyhodnocovací úrovně signálu AE.

Směr šipek znázorňuje, že s počtem použitých snímačů AE, měřících tras resp. kanálů a úrovní vyhodnocení signálu roste cena celého měřícího systému, ale především požadavky na kvalifikaci a na znalosti, a také na preciznost provedení celého měření.

Tab.1.1 Závislost počtu kanálu na úrovni vyhodnocení signálu [2]

Počet kanálů	Úroveň vyhodnocení signálu		
	Informativní	Standardní	Pokročilá
1 až 5	1A	1B	1C
6 až 20	2A	2B	2C
mnoho	3A	3B	3C



Informativní úroveň

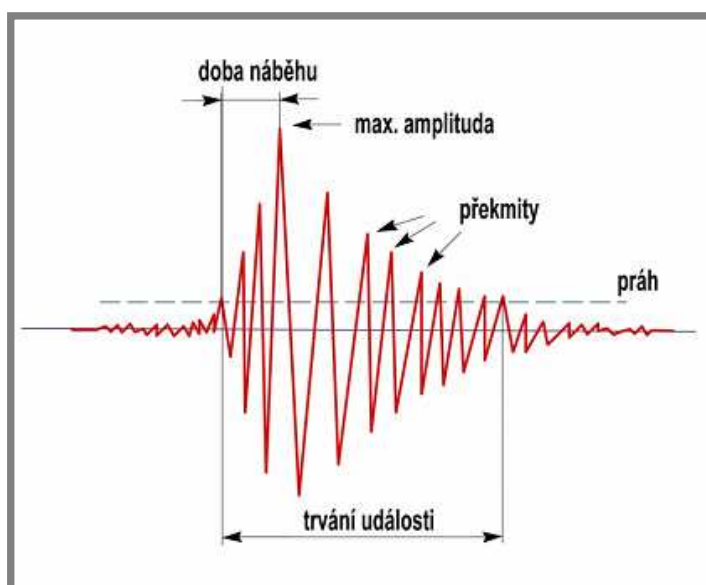
U této úrovně se vyhodnocuje pouze přítomnost, nebo aktivita AE, popřípadě intenzita detekovaného signálu, začátek a konec aktivity. V řadě případů je tato úroveň vyhodnocení zcela postačující.

Standardní úroveň

V tomto případě jsou vyhodnocovány základní parametry výsledného elektrického signálu AE. U standardní úrovně jsou vyhodnocené parametry AE v časové reprezentaci.

Pokročilá úroveň

Tato vyhodnovací úroveň („Advanced Signal Processing“) představuje vyhodnocení plně digitalizovaného signálu.



Obr.1.5 Základní parametry události AE [10]

1.5.1 Hodnocené parametry emisní události AE

Parametry naměřeného signálu AE jsou obvykle odvozeny z časového průběhu signálu AE.

Při zpracování praskavého signálu se vyhodnocují jednotlivé události signálu AE samostatně.

Na obrázku 1.5 je znázorněn jeden izolovaný hit, který vzniká v detekovaném signálu při snímání jedné události AE.

Práh – úroveň prahu definuje počátek a konec jednotlivých emisních událostí (hitů).

Doba trvání události – časový rozdíl mezi prvním a posledním překročením signálu AE přes prahovou úroveň. Podle doby trvání hitu lze identifikovat jednotlivé zdroje. [5]

Amplituda hitu – maximální výchylka hitu, je měřena v decibelech (dB).

Počet překmitů (Counts) – počet překmitů signálu AE přes nastavenou prahovou úroveň.

Doba náběhu (Rise time) – časový interval mezi prvním překročením signálu AE přes práh a maximální amplitudou. Tento parametr se používá ke kvalifikaci signálu a k odfiltrování šumu.

Čas začátku hitu – čas kdy je detekován první překmit signálu AE přes prahovou úroveň

Čas konce hitu – okamžik, kdy se po dobu mrtvého času neobjevil překmit signálu AE přes prahovou úroveň

Časový rozdíl – jedná se o detekci téže emisní události více snímači. Tohoto parametru se využívá k lokalizaci zdroje AE.

Mrtvý čas – určuje konec hitu. Během této doby není signál nulový, ale vyskytuje se v signálu šum. Je tedy důležité vhodně zvolit tuto dobu.

Energie hitu – je plocha pod obálkou hitu integrovaná přes čas trvání hitu

1.6 Vícekanálová měření a lokalizace událostí

Při použití metody AE většinou nerozeznáme velikost defektu, který je zdrojem AE, ale můžeme docela přesně lokalizovat jeho polohu, což je většinou hlavním cílem nasazení metody AE. K tomuto se obvykle využívá souvislé síť snímačů AE. Jeden a týž proces je tedy detekován za použití více snímačů, měřících tras resp. více měřících kanálů současně. Výhodou vícekanálového měření je, že máme komplexnější informace o jednom procesu z více snímačů AE, které nám umožňují lepší vyhodnocení zdroje, především jeho orientaci, nebo přesnou lokalizaci.

Princip vícekanálového měření spočívá v porovnání signálu téhož původu v různých místech detekce, kde parametry signálu hitů odrážejí rozdílnot tras elastických napětových vln od zdroje ke snímači AE. Měřící trasy by měly být pokud možno shodné aby nevnašely další rozdíly signálu do měřícího systému. Znamená to tedy shodné snímače, vlnovody předzesilovače, měřící kanály, frekvenční pásmo, ale také i shodnou citlivost všech kanálů sítě vůči kalibračnímu zdroji AE.[2]

Detekce jednoho hitu v různých místech vede[dle 2]:

- k časovým rozdílům příchodu z různých míst sítě
- k rozdílům v amplitudě z různých míst sítě
- k rozdílům doby trvání, nebo náběhu vlivem „rozmazání“
- k dalším změnám časově frekvenčního průběhu signálu AE v různých místech sítě

Výše uvedené rozdíly nám přinášejí informace o lokalitě zdroje. Nejprve je však nutné zkompletovat hity na různých kanálech do skupin hitů, o nichž předpokládáme, že jsou odezvou od stejného zdroje detekovanou na různých místech sítě.

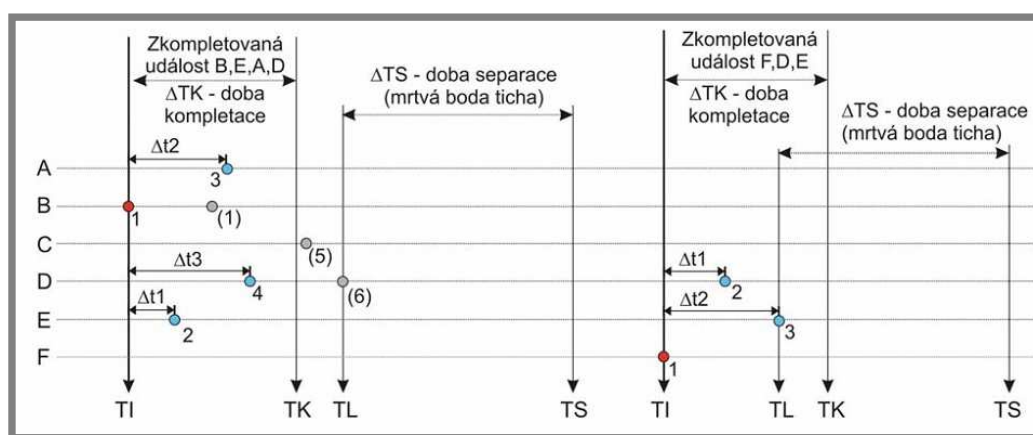
1.6.1 Kompletace hitů

Při měření signálu jedním kanálem je hit oddělen separační dobou ticha. Podobně tomu je také u vícekanálového měření, kdy jednotlivé skupiny hitů, detekované na

různých kanálech, jsou odděleny dobou ticha, tzn. signál nepřekročil prahovou úroveň.

Obrázek 1.6 znázorňuje kompletaci hitů na šesti kanálech (časových liniích) A,B,C,D,E,F. První událost je tvořena hity B,E,A,D, této události předchází doba ticha. Následující dva hity přicházejí po době kompletace. Tyto hity již do první události nepatří, ale odsouvají počátek separační doby ticha, po které následuje detekce další události.

Ovšem ne všechny skupiny hitů jsou vyhodnocovány jako událost AE. Hlavním kritériem je minimální počet hitů tvořící danou událost.



Obr.1.6 Schéma kompletace hitů do událostí AE [12]

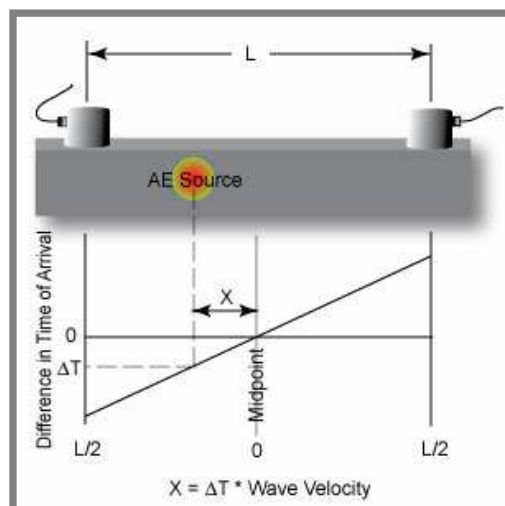
1.6.2 Lokalizace událostí AE

Při lokalizaci události se vychází z úvahy, že napěťové vlny se šíří tělesem konstantní rychlostí všemi směry. Ve skutečnosti se musí brát v úvahu různé účinky, které mohou ovlivnit rychlost šíření vln (např. odraz vln, vícenásobný mód vlny).

1.6.2

Lineární lokalizace

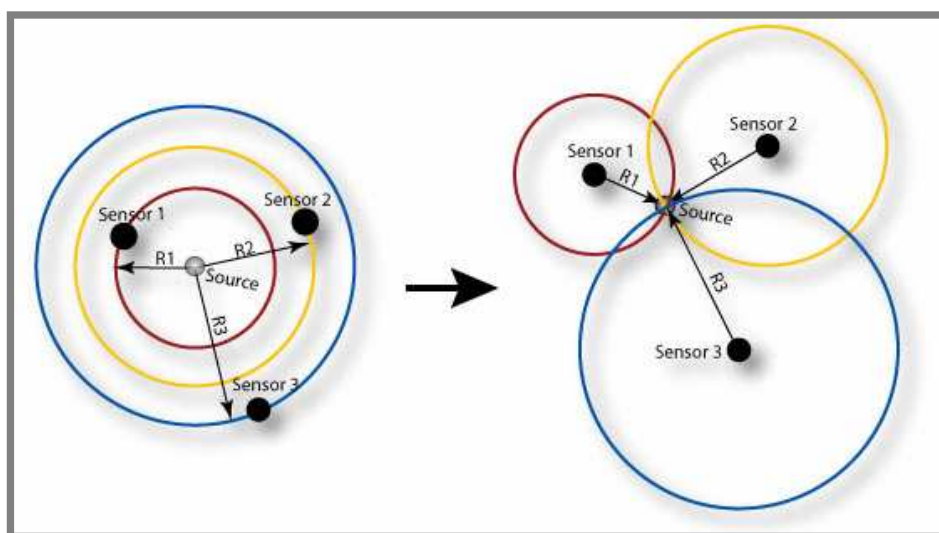
Princip lineární lokalizace je znázorněn na obrázku 1.7. Je patrné, že při dané rychlosti šíření vln se signál do pravého snímače dostane se zpožděním ΔT . Pokud známe rychlost šíření AE, můžeme vypočítat lineární polohu zdroje. Při detekování většího počtu událostí je možné vynést jejich polohu v závislosti na amplitudě hitů do grafu, v jistém místě potom dochází ke shlukování bodů. Toto místo je polohou zdroje AE, tedy polohou defektu.



Obr.1.7 Princip lineární lokalizace [5]

Bodová lokalizace

Minimální počet snímačů AE pro bodovou lokalizaci je: dva snímače pro lineární, tři pro plošnou a čtyři pro objemovou lokalizaci. Princip vyhodnocování polohy je podobný jako u lineární lokalizace (viz Obr.1.8). K vyhodnocování se používají časy prvního překročení signálu prahové úrovně, nebo čas dosažení maximální amplitudy.[5]



Obr.1.8 Princip bodové lokalizace [5]

Zonální lokalizace

Tato lokalizace se využívá u anizotropních materiálů, nebo tam, kde jsou snímače AE rozmístěny relativně daleko od sebe. Zóny mohou být v závislosti na rozměrech pole délkové, plošné, nebo objemové.

1.7 Vyhodnocení zdrojů AE

Cílem použití metody AE je určení a vyhodnocení zdroje, tzn. vyvození závěrů z naměřených dat. Rozlišujeme dvě základní varianty vyhodnocování zdroje AE.

V první variantě je známý zdroj AE, který je nepřehlušený rušením. V tom případě je k monitorování dostačující jeden kanál.

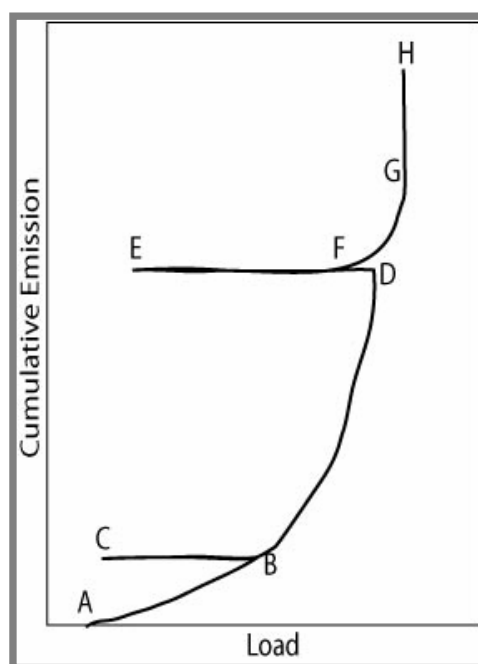
U druhé varianty neznáme polohu zdroje AE. Proto je nejprve nutné, pomocí lokalizace nebo podobnosti událostí či hitů, roztrždit aktivitu dle místa původu nebo charakteru AE. Tzn. roztrždit hity událostí AE na zdroje předpokládaného původu a aktivitu těchto zdrojů hodnotit samostatně jeden po druhém.

U provozních kontrol konstrukcí má vyhodnocení měření AE formu klasifikace závažnosti zdrojů. Zdroje jsou klasifikovány:[dle 2]

- 1) zdroj rušivý
- 2) zdroj nezávažný (kde připouštíme i záměnu s rušivým zdrojem)
- 3) zdroj potenciálně závažný (možnost záměny s rušivým zdrojem by měla být snížena)
- 4) zdroj závažný (záměna s rušivým zdrojem by měla být velmi nízká)

1.7.1 Kaiserův jev

Kaiserův jev popisuje nenávratnost procesů, jež jsou zdrojem AE. Při opakovaném zatížení tělesa nedochází ke vzniku emisních událostí až do hodnot předcházejícího maxima zatížení. Na obrázku 1.9 je znázorněna závislost zatížení materiálu na kumulaci AE. Při zatížení materiálu vznikají plastické deformace, a tím emisní události (což odpovídá úseku AB). Při odlehčení a následném opětovném zatížení (úsek BCB) události AE nevznikají až do bodu B, kdy je překročeno původní maximální zatížení. V úseku (BD) opět detekujeme AE až do bodu D, kdy dochází k odlehčení napětí. Následným zatížením materiálu dochází k detekci AE již při nižších úrovních zatížení, než bylo maximální zatížení předchozího cyklu (F). Tento jev se projevuje u některých materiálů a nazývá se **Felicity jev**.



Obr.1.9 Popis Kaiserova a Felicity jevu [6]

Jestliže zatěžujeme materiál rychleji, než je schopen relaxovat napětí, potom při ukončení zatěžování dochází k pokračování plastické deformace. Tzn., že plastická deformace a s ní vzniklá AE v prodlevě doznívá. Toto bývá příznakem výskytu koncentrátorů napětí (např. na čele defektu, trhliny). [2]

Felicity jev, nebo doznívání AE v prodlevě svědčí o omezené schopnosti konstrukce zpevněním stabilizovat a zastavit další rozvoj deformace nebo porušení.

Kaiserův jev nevzniká, jestliže mezi dvěma zatíženími došlo ke změně způsobu zatěžování, nebo ke změně struktury materiálu např. vlivem teploty, nebo vlivem stárnutí materiálu.

Výskyt Kaiserova jevu může způsobit chyby v měření, ale někdy se ho využívá v praxi. Např. u tlakových nádob, kdy se před provozem zvýší tlak v nádobě na maximální provozní hodnotu. Jestliže je tato hodnota překročena nastává vznik AE událostí.[1,2]

1.8 Měřicí trasa

Typická měřicí trasa pro detekci akustické emise se skládá ze snímače AE, předzesilovače, kabelového vedení, filtru, zesilovače a zařízení pro ukládání dat (osobní počítač). [7]

1.8.1 Snímače akustické emise

Snímač AE představuje základní prvek měřicí trasy. Snímače se umísťují na povrch testované konstrukce, kde snímají výchylky povrchu které následně převádějí na nízkonapěťový elektrický signál.

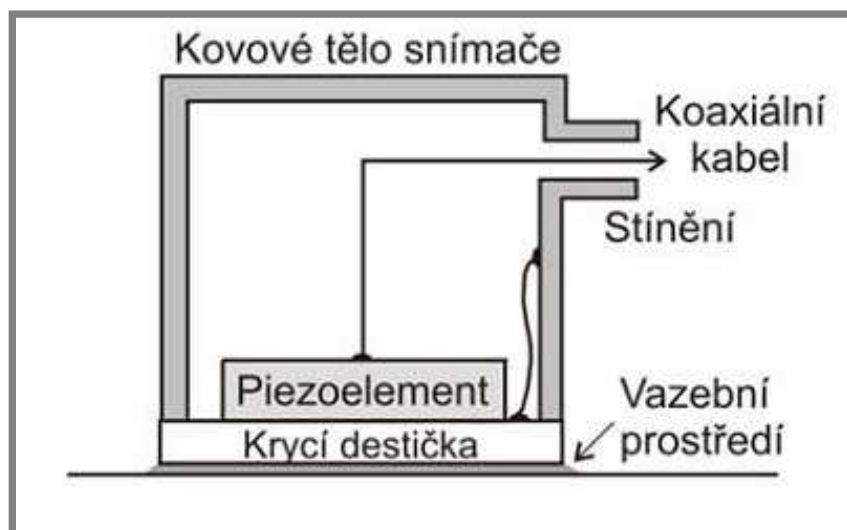
Konstrukce snímačů AE je založena na několika různých principech jako např. elektromagnetický, magnetostrikční, kapacitní, fotoakustický, elektroakustický, piezorezistivní, nebo piezoelektrický.

Piezoelektrické snímače

Piezoelektrické snímače jsou nejpoužívanějším typem snímačů AE. Tyto snímače k detekci AE vln využívají piezokeramické elementy – piezoelementy. Piezokeramický element je vyroben z bariumtitanové, zirkoniové, nebo niobátové piezokeramiky. Základním prvkem je piezokeramický krystal, na každé straně s elektrodou, chráněný ochrannou vrstvou. Tlumicí materiál připevněný na piezoelement rozšiřuje šířku pásma na úkor citlivosti snímače, která se snižuje. Nejčastěji se na výrobu tlumiče používá epoxidová pryskyřice obsahující wolframové částice.

Volba snímače závisí na několika kritériích jako jsou citlivost, frekvenční charakteristika, velikost snímače (snímací plochy), cena.

Rezonanční frekvence snímačů AE je obvykle vázána na příčné radiální kmitání destičky piezoelementu. Tato frekvence určuje frekvenci a frekvenční pásmo a tím důležité charakteristiky měření. Snímače se dělí na rezonanční a na širokopásmové. Typickým frekvenčním pásmem ve kterém se pohybují snímače AE je od 30 Hz do max. 1 MHz. [2,4,7]



Obr.1.10 Schéma piezoelektrického snímače [12]

Kapacitní snímáče

Tyto snímáče se skládají ze dvou nebo více elektrodoých systémů. Princip spočívá ve vzniku mezery mezi deskami, nebo ve změně ploch desek snímáče zapříčiněné deformací při průchodu povrchové vlny. U těchto snímáčů bývá nižší citlivost, než u piezoelektrických, což je problematické zejména při použití v průmyslových podmínkách.[4]

Elektromagnetické snímáče

Princip těchto snímáčů je založen na mechanickém kmitání částic materiálu ve stálém magnetickém poli vytvářející v tomto materiálu střídavý proud, který indukuje proud v cínce sondy.[4]

1.8.2 Předzesilovače AE

Detekovaný signál na elektrodách piezoelementu je velmi slabý. Jak v napětí, tak i v indukovaném náboji na elektrodách. Proto se v blízkosti zesilovače instaluje předzesilovač, který zesiluje, provádí frekvenční filtraci a přizpůsobuje impedančně kabelu primární signál. Předzesilovač může být přímo zabudován ve snímáči, nebo může být instalován v blízkosti snímáče pomocí kabelu. Kabel bývá dva až tři metry dlouhý.[2]

1.8.2

1.8.3 Kabelové trasy

Signál AE může být veden kabelovou trasou k měřicímu systému na vzdálenost až několik stovek metrů. Při přenosu signálu na takto velkou vzdálenost dochází k útlumu signálu, zejména pak při vyšších frekvencích. Z tohoto důvodu se na přenos nejčastěji používají koaxiální kabely. Negativní vliv na kabelové trasy AE má také elektromagnetické rušení od ostatních elektrických tras. Je tedy důležité vést kabelové trasy AE odděleně od ostatních elektrických tras.

1.8.3

1.8.4 Úprava signálu v měřicím systému před jeho vyhodnocením

Před vyhodnocením signálu dochází v měřicí aparatuře k závěrečným analogovým úpravám.:

- závěrečná frekvenční filtrace signálu
- závěrečné zesílení či utlumení signálu AE

1.9 Kalibrace snímačů AE

Kalibrace snímačů AE je důležitá z hlediska porovnání naměřených výsledků získaných pomocí snímačů založených na různých principech. Kalibrační snímáče je určena jeho charakteristika.

Kalibrace snímačů AE je rozdělena na absolutní a relativní.

1.9.1 Absolutní kalibrace snímačů

Při absolutní kalibraci snímačů je citlivost definována jako poměr odezvy v napětí ve Voltech na buzení v metrech (či Pascalech – akustický tlak). Nevýhodou při této kalibraci je, že buzení není jedno číslo v metrech a ani odezva není jedno číslo ve Voltech, ale časový průběh budících posuvů pod snímačem a časový průběh výstupního elektrického napětí. Absolutní kalibrace proto vychází ze záznamu detekovaného elektrického signálu na elektrodách piezoelementu jako odezvy na δ puls budící mechanické veličiny.[2] δ puls představuje tzv. přenosovou funkci. Tato funkce zastupuje základní popis odezvy systému na přechodové jevy.

1.9.2 Relativní kalibrace snímačů

Relativní kalibrace snímačů je náhradou absolutní kalibrace v podobě porovnání odezvy instalovaného snímače na jeden neměnný typ buzení, např. Pen-Testu (při kterém neznáme přesný průběh budící mechanické veličiny).[2] Při této kalibraci lze charakterizovat snímač záznamem plného záznamu odezvy snímače na definovaný kalibrační puls.

Relativní kalibrace se používá při instalaci snímačů AE na konstrukci před samotným měřením, kdy porovnáme citlivost jednotlivých snímačů na stejné buzení.

1.10 Způsoby instalace snímačů

Rozlišujeme dva základní typy upnutí snímače AE na těleso. Přímou instalaci a instalaci přes vlnovod.

1.10.1 Přímá instalace

U přímé instalace je čelo snímače přitlačeno na povrch tělesa přes vazebné médium. Před samotnou instalací snímače je vhodné místo pro přiložení snímače připravit. Zpravidla se jedná o obroušení nátěru či korozní vrstvy, které při ponechání výrazně snižují citlivost detekce AE. Snímače mohou být připevněny k povrchu tělesa pomocí různých držáků, nebo pomocí lepidla, které zároveň plní funkci vazebného prostředí. Konstrukční provedení držáků je ve většině případů závislé na místě upnutí snímače a na použitém typu snímače. Na obrázku 1.11 je zobrazen držák používaný,

na Ústavu konstruování. Na trhu jsou k dispozici snímače s vestavěným permanentním magnetem, což velmi usnadňuje náročné fixování snímačů různými držáky. Ovšem nevýhodou je, že magnetické snímače, nebo magnetické upínací držáky nelze použít při měření např. na hliníkových konstrukcích.



Obr.1.11 Držák snímače AE

1.10.2 Instalace přes vlnovod

Instalace snímače přes vlnovod se využívá tehdy, není-li možné použít přímou instalaci z důvodu nepříznivých podmínek např. vysoké teploty povrchu, nepřístupné místo. Na povrch konstrukce se může vlnovod přivařit, nebo přitlačit.

Vlnovod je tenká kovová tyč s rozšířeným koncem pro instalaci snímače AE, který se na něj upevňuje přes vazebné prostředí lepením, magneticky, nebo převlečnou maticí. Při tomto způsobu instalace poklesne citlivost oproti přímé instalaci zhruba o 10 až 20 dB. [2]



Obr.1.12 Snímač AE uchycený na vlnovodu [8]

1.11 Vazebné prostředí

Mezi čelem snímače a povrchem tělesa mohou vznikat vzduchové mezery, které zabraňují správnému přenosu signálu. Použitím vazebného média se eliminuje vznik vzduchových mezer a zároveň se zvyšuje citlivost snímače.

Vazebné prostředí může být tekuté (olej, glycerin, silikonová pasta), nebo pevné (lepidlo, tmel).[4]

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

2

Jak již bylo zmíněno, metoda AE je nedestruktivní, integrální metoda, která pracuje na principu „odposlechu“ aktivních procesů rozvíjejících se v materiálu. Na rozdíl od ostatních nedestruktivních metod, které vyhledávají defekt krok po kroku, jsme schopni pomocí metody AE monitorovat celé těleso v reálném čase, identifikovat kritická místa a následně tato místa lokalizovat. Aplikací další vhodně zvolené nedestruktivní metody následně můžeme ve vytipovaném místě charakterizovat orientaci, velikost a tvar defektu.

2.1 Využití metody AE

2.1

Metoda AE, která byla zpočátku používána převážně v laboratorních podmínkách, se postupně rozšířila do oblastí, kde se běžně využívá k monitorování zařízení v samotném provozu, jako např. monitorování tlakových nádob, monitorování rozsáhlých konstrukcí (mosty), sledování technologických postupů (svařování, obrábění) atd. Tato metoda je také hojně využívána např. ve stavebnictví a geologii.



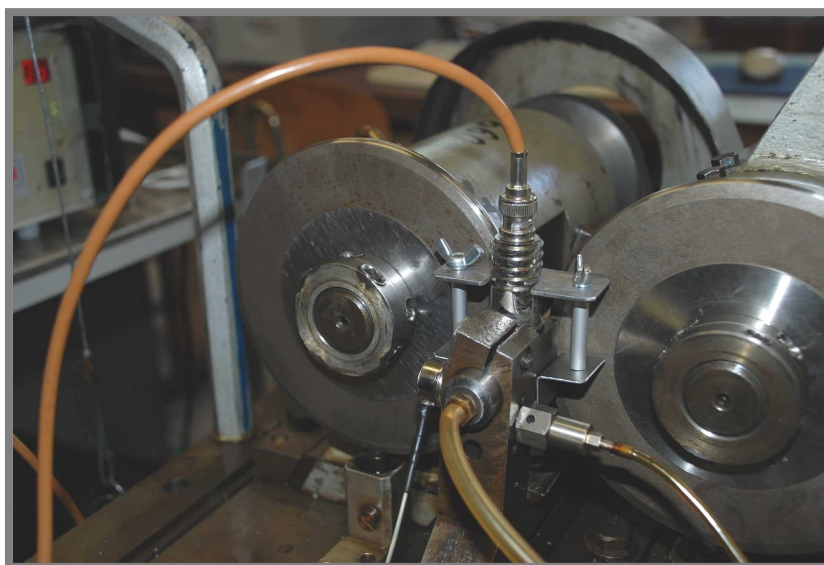
Obr.2.1 Monitorování tlakové nádoby pomocí metody AE [11]

V oblasti výzkumu se metoda AE používá k monitorování základních mechanických, lomových, korozních a únavových vlastností materiálu, jako tomu je i na Ústavu konstruování VUT v Brně, kde je metoda AE používána především v laboratořích kontaktní únavy. Tyto laboratoře jsou vybaveny zkušebními zařízeními R-mat a Axmat pro testování kontaktní únavy. Pomocí těchto zkušebních zařízení se sleduje doba do vzniku pittingu pomocí bodového kontaktu. Dále jsou laboratoře vybaveny stanicemi s označením SA67 pro testování trvanlivosti radiálních ložisek. Kontrolní systém, jak u zkušebních zařízení R-mat a Axmat tak i u stanic pro testování trvanlivosti ložisek, byl založen na vibrační diagnostice, kdy při dosažení určité

hodnoty vibrací vlivem vzniku kontaktního poškození byla stanice vypnuta. Jelikož byl tento způsob vibrodiagnostiky nepřesný a nelze podle něj popsat vznik poškození, byly v minulých letech tyto stanice modernizovány a vybaveny diagnostikou pomocí metody AE. Metoda AE nám umožňuje sledovat a ukládat data po celou dobu trvání zkoušky a vyhodnocovat je on-line, případně následně identifikovat jednotlivé etapy kontaktního poškození.

2.2 Využití metody AE na Ústavu konstruování

Na Ústavu konstruování VUT v Brně je metoda AE využívána také v rámci výzkumu při dalších mechanických zkouškách materiálů, např. tlakové a tahové zkoušky materiálů.



Obr.2.2 Zkušební stanice kontaktní únavy R-mat s uchyceným snímačem AE

K aplikaci metody AE jsou na Ústavu konstruování VUT v Brně používány diagnostické prostředky pro snímání a měření akustické emise od firmy Dakel. Tato firma nabízí kompletní sortiment zařízení pro snímání, zpracování a vyhodnocení signálu AE. Na obrázku 2.3 jsou znázorněny snímače, které firma Dakel nabízí. Některé typy se nachází i v laboratořích Ústavu konstruování. Snímače se od sebe liší v geometrických rozměrech, v typu pouzdra a v použitém piezoelementu od, čehož se odvíjí frekvenční spektrum přenosových charakteristik. Frekvenční rozsah u snímačů Dakel je v rozmezí od 10 kHz až po 2,8 MHz. Nad frekvencemi vyššími než 1 MHz jsou však přenosové charakteristiky výrazněji ovlivněny vlastnostmi koaxiálních kabelů.[8]



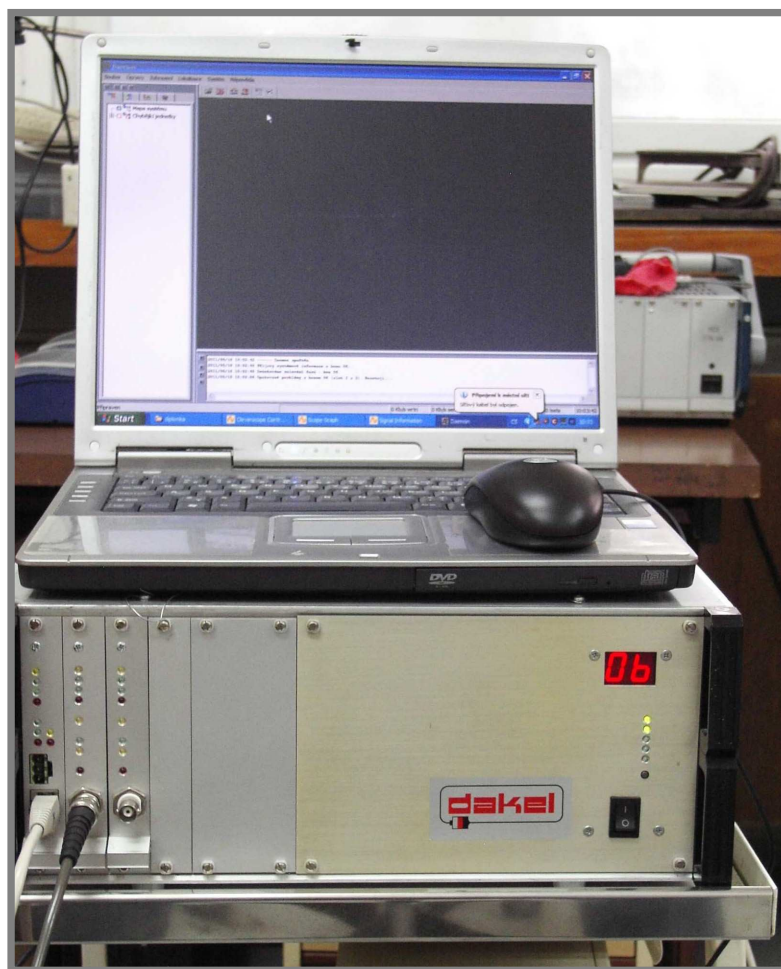
Obr.2.3 Snímače AE nabízené firmou Dakel [8]

2.2.1 Analyzátor

Měřicí systémy (analyzátory) s označením DAKEL-XEDO se skládají z měřících a komunikačních jednotek (karet), které po skupinách tvoří boxy. Box musí obsahovat jednu komunikační jednotku, prostřednictvím které probíhá přenos měřených dat do počítače a měřící jednotky, které lze libovolně kombinovat.

Analyzátory na Ústavu konstruování (viz Obr. 2.4) obsahují komunikační jednotku XEDO-FE. Tato komunikační jednotka umožňuje připojení k PC prostřednictvím standardního rozhraní ethernet. Dále jsou analyzátory osazeny jednotkami pro vyhodnocování akustické emise XEDO-AE umožňující připojení snímačů AE. Tyto vyhodnocovací jednotky umožňují měření standardních parametrů AE, zpracování a lokalizace emisních událostí a přímé digitální vzorkování emisních dějů až 8 MHz. [8]

2.2.1



Obr.2.4 Analyzátor Dakel – XEDO s řídícím NTB

2.2.2 Softwarové vybavení

Softwarová část měřicího systému je také dodávána firmou Dakel. Jedná se o dva programy Daemon a DaeShow. Oba programy jsou určeny pro operační systém Windows.

Program Daemon slouží k měření akustické emise a ukládání dat v binárním tvaru.

Aplikace DaeShow je určena k vyhodnocení naměřených dat a umožňuje:

- export binárních dat do textového souboru (vhodné pro další zpracování v jiných softwarech)
- tvorbu časových grafů (count, napětí přepočítávané na uživatelské veličiny, frekvence)
- zpracování signálu AE (transformace signálu, spektrální analýza)
- lokalizace emisních událostí

Celé diagnostické zařízení je mobilní, tudíž ho lze využívat i v externích podmínkách mimo laboratoř.

2.3 Problematika ověřování snímačů

Snímače AE jsou z celé měřicí trasy nejdůležitějším prvkem, od kterého se odvíjí přesnost a citlivost celého měření. Jelikož to jsou právě snímače AE, u kterých je největší riziko poškození vlivem časté manipulace a instalace na různá tělesa za různých podmínek, je tedy důležité ověřit správnou funkčnost a použitelnost snímačů AE k dalšímu měření.

K tomuto by měl být vyroben přípravek, který by umožnil sejmutí signálu AE ze zkoušeného snímače v průběhu zkoušky tzv. Pen-Testem. Součástí přípravku by měla být ocelová tyč obdélníkového průřezu cca 1000 mm dlouhá. Tato tyč se upne do přípravku a na ní se definovatelným a opakovatelným způsobem přitlačí snímač AE, v určité vzdálenosti od snímače se na povrchu tyče provede zkouška Pen-Testem.

Přípravek má být navržen pro snímače typu MTR-15/MTPA-15 od firmy Dakel. Tyto snímače jsou velmi odolné konstrukce, proto je jejich oblast využití zejména v průmyslu.



Obr.2.5 Snímače AE typu MTR-15/MTPA-15 od firmy Dakel používané na Ústavu konstruování

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je konstrukční návrh přípravku pomocí něhož se budou ověřovat parametry snímačů akustické emise.

Požadavky na konstrukci přípravku byly následující:

Přípravek musí být schopen upnout různé druhy snímačů definovanou silou.

Snadná výměna snímačů AE při zachování stejné přitlačné síly.

Možnost redukce přitlačné síly na snímač AE.

Přijatelná cena a možnost výroby v dílnách Ústavu konstruování FSI

Dalším cílem této práce je návrh a praktické ověření metodiky měření, která umožní podrobnou analýzu a vyhodnocení naměřených dat s cílem vzájemného srovnání parametrů jednotlivých snímačů. Na základě tohoto srovnání bude umožněn výběr snímačů s obdobnými charakteristikami.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

4

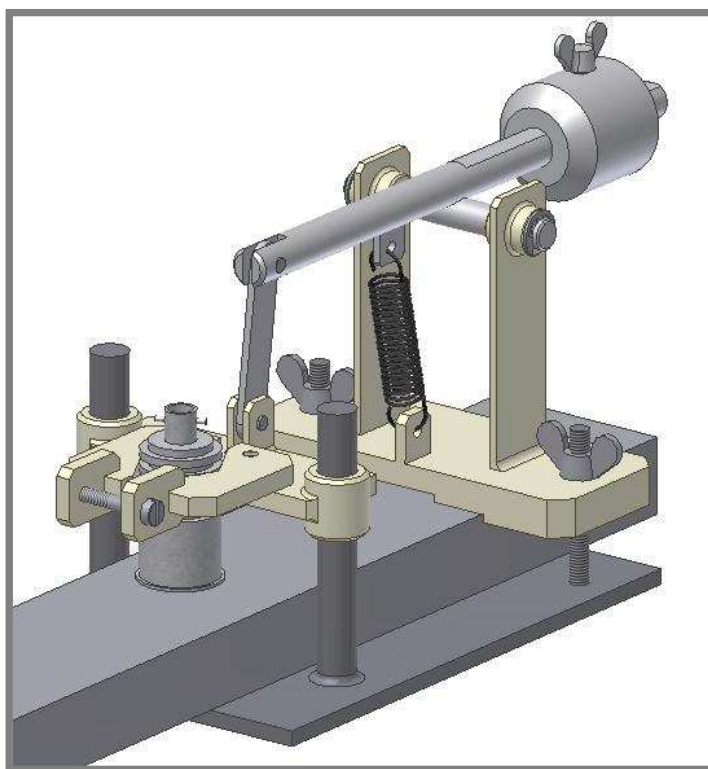
1. Seznámení se s typy snímačů AE používaných na Ústavu konstruování a změření jejich rozměrů
2. Teoretický návrh několika variant konstrukčního řešení
3. Konzultace návrhů řešení s vedoucím práce
4. Výběr optimální varianty řešení
5. Tvorba 3D modelu a technické dokumentace
6. Výroba upínacího přípravku dle dokumentace
7. Ověření správné funkčnosti upínacího přípravku
8. Návrh a ověření postupu na zpracování a vyhodnocení naměřených dat

5 NÁVRH VARIANT KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Všechny varianty řešení vycházejí ze základové desky, ke které je pomocí dvou šroubů přišroubován stojan upínající zkušební tyčku.

5.1 První varianta řešení

U této varianty je stojan svařen z patky a ze dvou bočnic, mezi kterými je otočně uchyceno vahadlo. Na základovou desku jsou přivařeny dvě vodící tyče, které vedou konzolu s čelistmi pro upínání snímače. Posuvná konzola je spojena přes rameno s vahadlem. Přítlačná síla na snímač je vyvozena tažnou pružinou nataženou mezi vahadlem a patkou stojanu. Redukce přítlačné síly se provádí posuvným protizávažím na vahadle. Snímač je upnut v otočných čelistech, které jsou součástí konzoly. Čelisti se rozevírají pomocí šroubu.



Obr.5.1 První varianta řešení

5.1.1 Výhody a nevýhody první varianty

výhody:

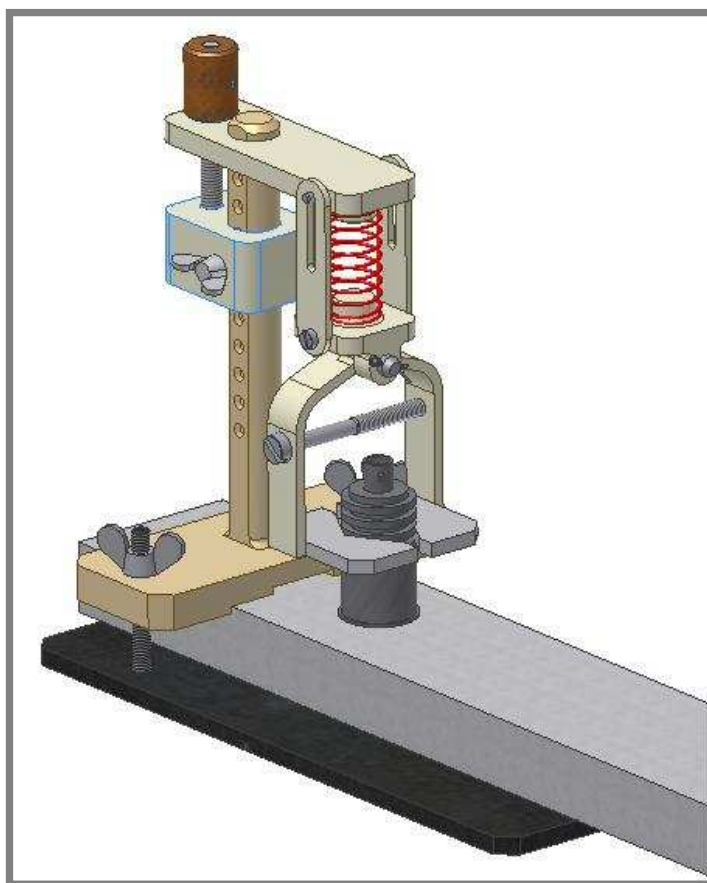
- + snadná redukce přítlačné síly

nevýhody:

- upínání snímače pomocí čelistí
- náročnost na výrobu
- přítlačná síla nepůsobí v ose snímače

5.2 Druhá varianta řešení

Stojan u druhé varianty je svařen z patky a z těla stojanu po kterém se posunuje celá konzola přípravku. Konzola se skládá ze dvou hlavních částí. Spodní díl slouží k vedení konzoly po stojanu. Na horním dílu konzoly jsou zavěšeny čelisti, které jsou posuvné ve svislém směru. Krajní polohy čelistí jsou vymezeny pomocí drážek v bocích závěsu. Přítlačná síla je vyvozena přes tlačnou pružinu, která je umístěna mezi horním dílem konzoly a závěsem čelistí. Pohybový šroub redukuje přítlačnou sílu, a zároveň spojuje spodní a horní díl konzoly. Spodní díl konzoly je aretován pomocí šroubu ke stojanu ve zvolené poloze. Čelisti jsou upnuty pomocí čepu na závěsu čelistí a jejich rozevírání je navrženo opět pomocí šroubu.



Obr.5.2 Druhá varianta řešení

5.2.1 Výhody a nevýhody druhé varianty

výhody

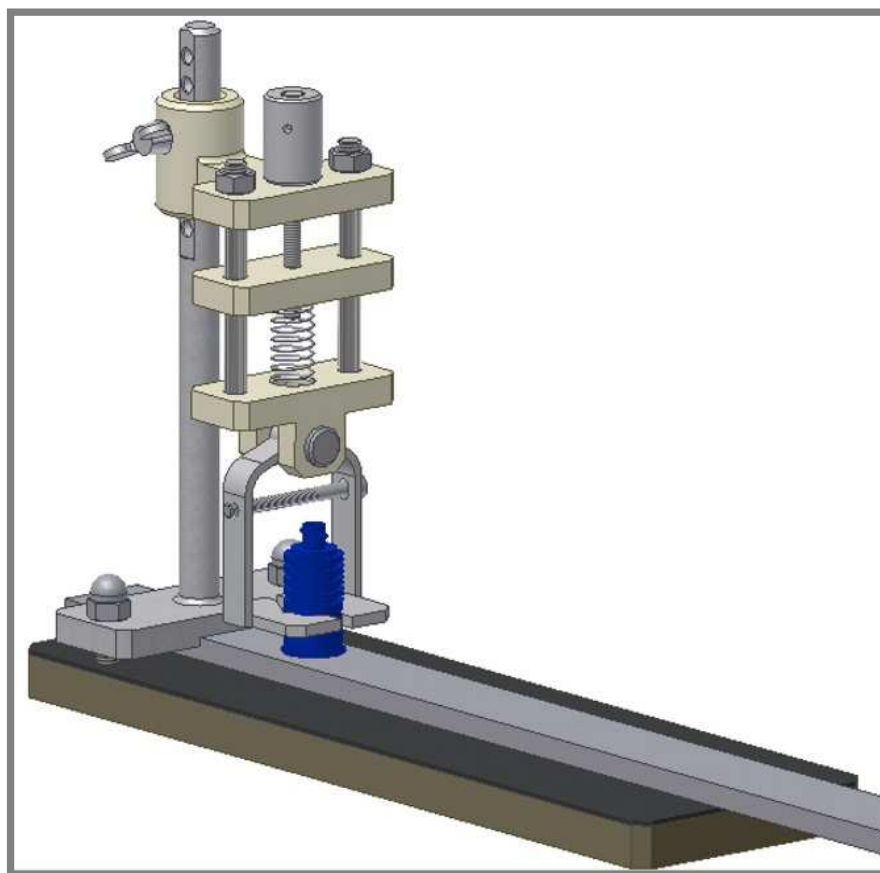
- + plynulá redukce pomocí pohybového šroubu

nevýhody

- přítlačná síla nepůsobí v ose snímače
- upínání snímače pomocí čelistí
- málo místa pro připojení kabelu ke snímači

5.3 Třetí varianta řešení

Tato varianta řešení vychází ze stejného stojanu jako předchozí varianta. Konzola přípravku je posuvná po stojanu ve svislém směru a jejími hlavními díly jsou posuvný člen, přitlačný člen a spodní člen konzoly. Posuvný člen je spojen s přitlačným členem pohybovým šroubem, který redukuje přitlačnou sílu. Zdrojem přitlačné síly je tlačná pružina umístěna mezi přitlačným členem a spodním dílem konzoly. Tyto tři díly jsou spojeny vodícími tyčemi, které jsou zašroubovány ve spodním díle konzoly. Čelisti jsou stejné jako v předchozí variantě. Celá konzola se aretuje na stojanu pomocí šroubu.



Obr.5.3 Třetí varianta řešení

5.3.1 Výhody a nevýhody třetí varianty

výhody

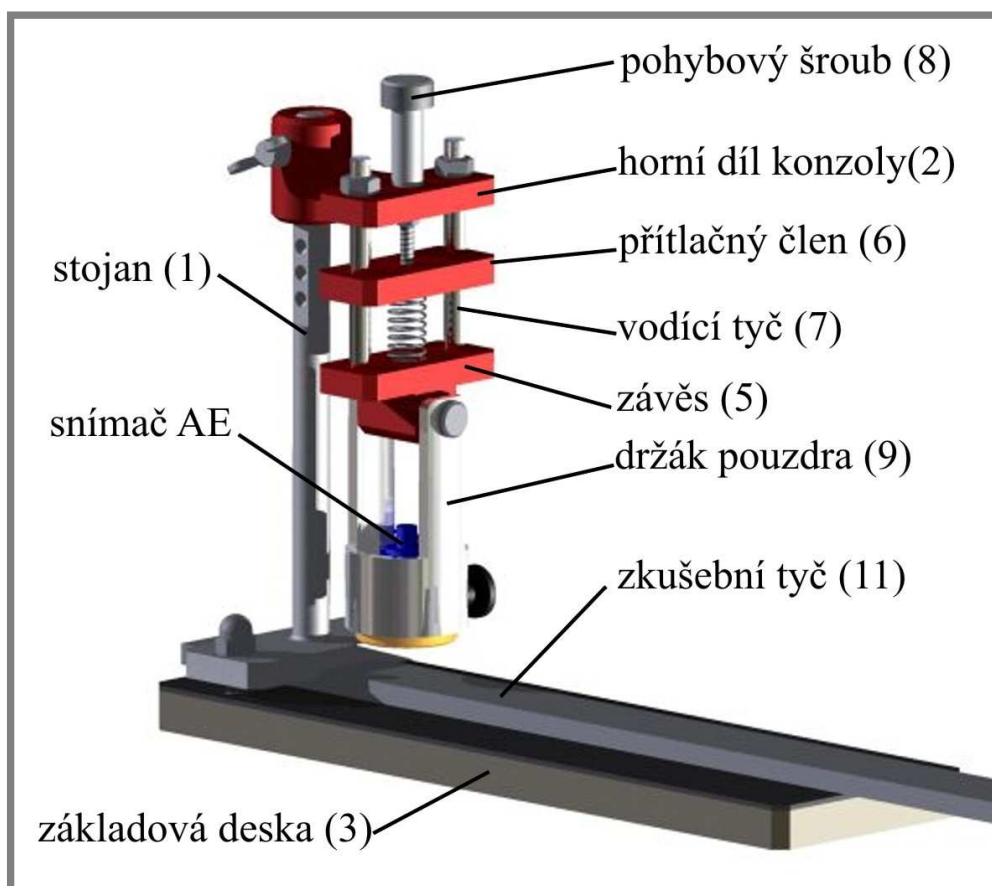
- + plynulá redukce pomocí pohybového šroubu
- + snadnější nadzvednutí konzoly pro výměnu snímače

nevýhody

- upínání snímače pomocí čelistí
- málo místa pro připojení kabelu ke snímači

5.4 Čtvrtá varianta řešení

Tato varianta se liší se třetí variantou pouze v upínání snímače a odlišné konstrukci vodícího šroubu. U této varianty je snímač upnut pomocí pouzdra, které je zasunuto do držáku pouzdra zavěšeném otočně na čepu na spodním díle konzoly. Snímač je zajištěn v pouzdře šroubem, který prochází skrz držák pouzdra.



Obr.5.4 Čtvrtá varianta řešení

5.4.1 Výhody a nevýhody čtvrté varianty

výhody

- + snadná výměna snímačů
- + dostatek místa pro připojení kabelu ke snímači

nevýhody

- vysoká náročnost na přesnost výroby

5.5 Výběr optimální varianty

První varianta se od ostatních liší hlavně v principu vyvolání přitlačné síly a její redukce. U této varianty je upínání snímačů možné pouze pomocí čelistí. Ostatní varianty řešení vychází ze stejného konceptu v redukci přitlačné síly. Tyto varianty přípravku umožňují upínání snímačů pomocí čelistí, i pomocí pouzdra.

Jako výsledná varianta byla zvolena čtvrtá varianta řešení. U tohoto přípravku se snímač upíná pomocí pouzdra. Tato metoda upínání zaručuje pokaždé stejné upnutí snímačů AE při jejich výměně.



Obr.5.5 Vyrobený prototyp čtvrté varianty řešení upínacího přípravku

6 KONSTRIKČNÍ ŘEŠENÍ

6

6.1 Sestava upínacího přípravku

6.1

Konstrukce celého přípravku je navržena jako celek skládající se z jednotlivých podsestav, které jsou spojeny šrouby, což umožňuje snadné rozebírání přípravku na jednotlivé části.

6.1.1 Základová deska (3)

6.1.1

Základová deska je vyrobena z pertinaxu a horní strana je polepena pryží z důvodu eliminace rušivých zdrojů z okolního prostředí. V základové desce jsou dva otvory pro šrouby M8, které slouží k uchycení stojanu. Otvory jsou ze spodní strany zahlobeny pro hlavy šroubů. Šrouby prochází skrz desku, ke které jsou přilepeny. Toto tvoří základovou desku zaručující stabilitu celého přípravku.

6.1.2 Stojan (1)

6.1.2

Stojan přípravku je svařen ze dvou dílů, patky a těla stojanu. Na spodní straně patky je vyfrézována drážka sloužící k ustavení zkušební tyče v ose přípravku. V patce jsou vyvrtány dva otvory pro šrouby v základové desce. Tělo stojanu je vyrobeno z kruhové tyče.

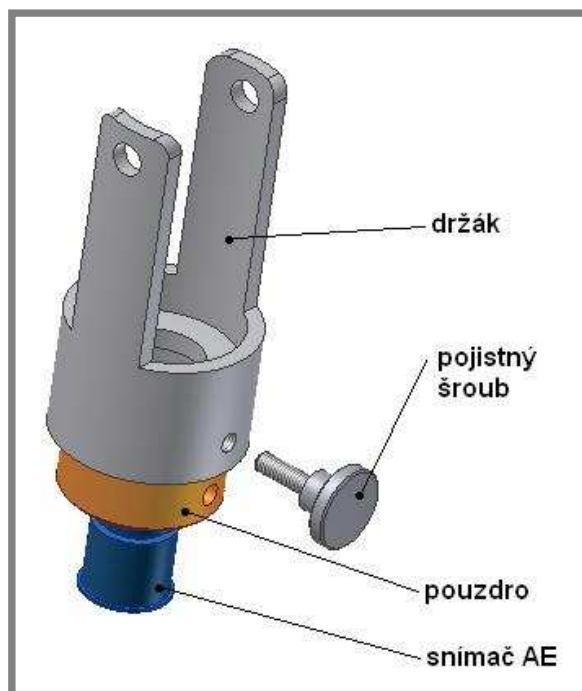
6.1.3 Konzola (2)

6.1.3

Konzola je navržena jako posuvná po těle stojanu ve svislém směru. Skládá se z horního dílu, přítlačného členu, závěsu pouzdra, vodících tyčí a pohybového šroubu. Horní díl konzoly je svařen z vodící části a těla konzoly. Ve vodící části je zhotoven závit M4 pro šroub k výškovému ustavení konzoly.

Horní díl konzoly (2), přítlačný člen (6) a závěs (5) jsou spojeny vodícími tyčemi. Otvory pro vodící tyče v těchto třech dílech konzoly jsou tolerovány geometrickou tolerancí polohy osy s přesností 0,02 mm. Tato tolerance byla použita z důvodu, aby při posouvání po vodících tyčích nedocházelo ke křížení přítlačného členu a horního dílu konzoly. V horním dílu konzoly je otočně uložen vodící šroub. Šroub je zajištěn kontramaticí, která zároveň vymezuje vůli otočného uložení. Otáčením šroubu posouváme přítlačný člen, do kterého je šroub zašroubován. Přítlačný člen je posuvně uložen na vodících tyčích a přes pružinu tlačí na závěs. V závěsu i v přítlačném členu je vyfrézováno zahlobení pro ustavení pružiny. Vodící tyče jsou jedním koncem zašroubovány v závěsu a na druhém konci jsou zajištěny matkami proti vypadnutí závěsu z konzoly jejím zvednutím při výměně snímače.

Držák pouzdra snímače je vyroben z duralu a je zavěšen pomocí čepu v závěsu. Vnitřní průměr držáku pouzdra je slícován s pouzdem snímače. Pouzdro snímače se opírá o vnitřní osazení držáku a je zajištěno šroubem, který prochází skrz pouzdra a zajišťuje zároveň snímač v pouzdře.



Obr.6.1 Princip upínání snímače AE do přípravku

6.1.4 Návrh pružiny

Minimální přítlačná síla u přípravku odpovídá hmotnosti konzoly, resp. hmotnosti závěsu, vodících tyčí, přítlačného členu, čepu a držáku. Tato hmotnost činí 445g, což odpovídá 4,45 N. Na základě konzultace s výrobcem snímačů byla maximální přítlačná síla zvolena cca 40 N.

Návrh tlačné statické zatěžované pružiny podle ČSN EN 10270-1. Třída drátu SM o průměru 1,4 mm.

Pro výpočet pružiny [dle 13] je zapotřebí stanovit následující parametry:

$$F_{\max} = 40 \text{ N}$$

$$y_{\max} = 24 \text{ mm}$$

$$k = 1,2$$

$$\xi = 0,15 \quad (\text{lineární chování pružiny})$$

$$d = 1,4 \text{ mm}$$

kde:

$F_{\max}$ [N] -síla v plně zatíženém stavu

$y_{\max}$ [mm] -stlačení při maximální síle

k [-] -návrhový součinitel

ξ [-] -součinitel přetížení

d [mm] -průměr drátu

Výpočet meze pevnosti v tahu

Pro pružinový drát o průměru 1,4 dle ČSN EN 10270-1 třídy drátu SM jsou:

$$R_m = 1980 - 740 \log d$$

$$G = 81,5 \text{ GPa}$$

$$d = 1,4 \text{ mm}$$

$$R_m = 1980 - 740 \log d = 1980 - \log 1,4 = 1871,87 \text{ MPa}$$

kde:

R_m [MPa] -mez pevnosti v tahu

G [GPa] -modul pružnosti ve smyku

d [mm] -průměr drátu

Výpočet meze kluzu ve smyku

$$R_{se} = 0,45 \cdot R_m = 0,45 \cdot 1871,87 = 842,35 \text{ MPa}$$

kde:

R_{se} [MPa] -mez kluzu ve smyku

R_m [MPa] -mez pevnosti v tahu

Výpočet poměru vinutí

$$4 \leq C \leq 20$$

$$a = \frac{R_{se}}{k_n} = \frac{842,34}{1,2} = 701,95 \text{ MPa}$$

$$b = \frac{8 \cdot (1 + \xi) \cdot F_{\max}}{\pi \cdot d^2} = \frac{8 \cdot (1 + 0,15) \cdot 40}{\pi \cdot 1,4^2} = 59,76 \text{ MPa}$$

$$C = \frac{2a - b}{4b} + \sqrt{\left(\frac{2a - b}{4b}\right)^2 - \frac{3a}{4b}} = \frac{2 \cdot 701,95 - 59,76}{4 \cdot 59,76} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 701,95 - 59,76}{4 \cdot 59,76}\right)^2 - \frac{3 \cdot 701,95}{4 \cdot 59,76}} = 10,4$$

kde:

a [-] -konstanta pro výpočet poměru vinutí

b [-] -konstanta pro výpočet poměru vinutí

C [-] -poměr vinutí

R_{se} [MPa] -mez kluzu ve smyku

$F_{\max}$ [N] -síla v plně zatíženém stavu

k [-] -návrhový součinitel

ξ [-] -součinitel přetížení

d [mm] -průměr drátu

Výpočet středního průměru pružiny

$$D = C \cdot d = 10,4 \cdot 1,4 = 14,56 \text{ mm}$$

kde:

D [mm] -střední průměr pružiny

C [-] -poměr vinutí

d [mm] -průměr drátu

Výpočet Bergsträsserova součinitele

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3} = \frac{4 \cdot 10,4 + 2}{4 \cdot 10,4 - 3} = 1,13$$

kde:

K_B [-] -Bergsträsserův součinitel

C [-] -poměr vinutí

Výpočet smykového napětí v mezním stavu

$$\tau_s = K_B \cdot \frac{8 \cdot (1 + \xi) \cdot F_{\max}}{\pi \cdot d^3} = 1,13 \cdot \frac{8 \cdot (1 + 0,15) \cdot 40}{\pi \cdot 1,4^3} = 48,24 \text{ MPa}$$

kde:

τ_s [MPa] -smykové napětí v mezním stavu

K_B [-] -Bergsträsserův součinitel

F_{max} [N] -síla v plně zatíženém stavu

d [mm] -průměr drátu

ξ [-] -součinitel přetížení

Výpočet součinitele bezpečnosti v mezním stavu

$$k_k \geq 1,2$$

$$k_k = \frac{R_{se}}{\tau_s} = \frac{842,34}{48,24} = 17,46$$

kde:

k_k [-] -součinitel bezpečnosti v mezním stavu

R_{se} [MPa] -mez kluzu ve smyku

τ_s [MPa] -smykové napětí v mezním stavu

Výpočet vnějšího průměru pružiny

$$De = D + d = 14,56 + 1,4 = 15,96 \text{ mm}$$

kde:

D_e [mm] -vnější průměr pružiny

D [mm] -střední průměr pružiny

d [mm] -průměr drátu

Výpočet činných závitů

$$n_a \geq 2$$

$$n_a = \frac{G \cdot d^4 \cdot y_{\max}}{8 \cdot D^3 \cdot F_{\max}} = \frac{81500 \cdot 1,4^4 \cdot 24}{8 \cdot 14,56 \cdot 40} = 7,60$$

kde:

n_a	[-]	-počet činných závitů
G	[GPa]	-modul pružnosti ve smyku
$F_{\max}$	[N]	-síla v plně zatíženém stavu
d	[mm]	-průměr drátu
D	[mm]	-střední průměr pružiny
$y_{\max}$	[mm]	-stlačení při síle v plně zatíženém stavu

Výpočet celkového počtu závitů

$$n_t = n_a + n_e = 7,6 + 2 = 9,6$$

kde:

n_t	[-]	-celkový počet závitů
n_a	[-]	-počet činných závitů
n_e	[-]	-počet závěrných závitů

Výpočet délky v mezním stavu

$$L_s = d \cdot n_t = 1,4 \cdot 9,6 = 13,44mm$$

kde:

L_s	[mm]	-délka v mezním stavu
d	[mm]	-průměr drátu
n_t	[-]	-celkový počet závitů

Výpočet délky pružiny ve volném stavu

$$L_0 = L_s + (1 + \xi) \cdot y_{\max} = 13,44 + (1 + 0,15) \cdot 24 = 41,04mm$$

kde:

L_0	[mm]	-délka pružiny ve volném stavu
L_s	[mm]	-délka pružiny v mezním stavu
y	[mm]	-stlačení při síle v plně zatíženém stavu
ξ	[-]	-součinitel přetížení

Výpočet podmínky stability pružiny

$$L_{0kr} > L_0$$

$$L_{0kr} = 2,63 \cdot \frac{D}{\alpha} = 2,63 \cdot \frac{14,56}{0,5} = 76,58mm$$

kde:

L_0	[mm]	-délka pružiny ve volném stavu
D	[mm]	-střední průměr pružiny
α	[-]	-součinitel (pro oba vetknuté konce $\alpha = 0,5$)

Dle výsledků výpočtu byla nalezena dle katalogu[17] pružina s odpovídajícími parametry. Katalogové číslo pružiny je TL 1250x173x0400

6.1.5 Zkušební tyč (11)

Zkušební tyč je plochá tyč o rozměrech 32x8 mm a délky 1000mm. Z jedné strany, na které se provádí měření, je její povrch obroušen. Ostatní strany jsou nastříkány barvou.

6.2 Montážní postup:

1. Na základovou desku (3) se položí zkušební tyč
2. Na šrouby v základové desce se nasadí stojan (1) tak, aby zkušební tyč zapadla do drážky ve stojanu, potom se stojan dotáhne maticemi
3. Do horního dílu konzoly (4) se uchyťí pohybový šroub (8), kontramaticí se vymezí vůle
4. Do závěsu (5) se zašroubují vodící tyče (7)
5. Na vodící tyče se nasune přítláčný člen (6)
6. Do zahlučení v přítláčném členu a závěsu se nasadí pružina
7. Na vodící tyče se nasune horní díl konzoly, vodící šroub se zašroubuje do přítláčného členu, vodící tyče se zajistí maticemi
8. Na závěs se nasadí držák (9) a zajistí čepem
9. Konzola se nasadí na stojan a zajistí šroubem

6.3 Postup měření

V této části diplomové práce je popsán návod na použití přípravku pro zkoušení snímačů AE. Tzn. montáž a demontáž snímače AE z přípravku, následné provedení zkoušky Pen-Testem a vyhodnocení a zpracování signálu AE z provedených zkoušek.

6.3.1 Montáž snímače AE

1. Na plošku snímače AE se nanese vazebné médium
2. Na snímač AE se nasune silonové pouzdro
3. Držák se vykloní do strany a zasune se do něj pouzdro se snímačem AE, které se následně zajistí šroubem
4. Na snímač AE se připojí kabel
5. Konzola se spustí, až se ploška snímače dotkne zkušební tyče, následně se konzola zajistí šroubem
6. Pomocí vodícího šroubu se nastaví přítláčná síla

6.3.2 Výměna snímače AE

6.3.2

1. Z upnutého snímače AE v přípravku odpojíme kabel
2. Palec pravé ruky se opře o horní díl konzoly, ukazováčkem a prostředníčkem se zvedne závěs. Levou rukou se vykloní držák do strany. Následně se může závěs pustit.
3. Po povolení šroubu na držáku se může snímač AE vyjmout a vyměnit za jiný, kde se při jeho montáži postupuje stejně jako je popsáno v bodě 1 až bodě 4 postupu montáže snímače AE.
4. Dále se nadzvedne závěs, jak je popsáno v bodě 2 toho postupu a držák se umístí do svislé polohy
5. Závěs se spustí a překontroluje se, zda snímač dosedl celou snímací ploškou na zkušební tyčku

6.3.3 Měření a vyhodnocení dat

6.3.3

Měření AE událostí s analyzátozem

Po ustavení snímače AE do přípravku můžeme přistoupit k samotnému měření událostí. Jak již bylo zmíněno, měření se provádí pomocí programu Daemon od firmy Dakel. Před započítím vlastního testování snímače AE je zapotřebí konfigurovat systém. Konfiguraci je možné provést pro každý slot zvlášť, uložit do souboru a následně použít pro další měření. V našem případě signál snímáme pomocí jednoho snímače AE, resp. slotu, tzn. že konfiguraci provádíme u toho slotu, ke kterému máme připojen snímač AE. K ověření správné konfigurace použijeme Pen-Test, kterým následně provádíme samotné testování snímačů AE. Jelikož program Daemon umožňuje náhled na průběh signálu během měření, je možné po provedení Pen-Testu snadno vyhodnotit odezvu a následně upravit hodnoty konfigurace. Důležité je, aby maximální amplituda události nepřesáhla hodnotu zesílení 2400 mV, jež je maximální rozsah po zesílení měřeného napětí na ose y. Pokud po provedení Pen-Testu bylo toto napětí překročeno, znamená to, že je nastaveno velké zesílení. V okně konfigurace systému se tedy sníží hodnota zisku zesilovače v [dB] a u startu a konce události jež představují prahové hodnoty začátku a konce události se původní nastavené hodnoty zvýší v [mV]. U malého zesílení je tomu naopak, zisk zesilovače se zvýší a hodnoty start a konec události se sníží. Doporučená hodnota při nastavování konce události je o 10 až 20 mV nižší než u startu události. Ostatní hodnoty v okně konfigurace není nutné nastavovat a je možné je ponechat jako defaultní.

Po nastavení optimální konfigurace systému může začít samotné měření. Měření probíhá tak, že se vždy provede série Pen –Testů v určité vzdálenosti od snímače AE. Na zkušební tyčce se vyznačí vzdálenosti např. 40 mm, 500mm a 1000mm od snímače AE. Značky je vhodné udělat na boku tyčky, např. tužkou, nebo je nalepit. Horní, obroušená plocha, na které se provádí měření by měla zůstat čistá. Barva nebo vruby ovlivňují šíření a detekci signálu AE.

Program Daemon zároveň zaznamenává čas, což je u měření AE a hlavně u vyhodnocení AE velmi důležité tzn., že při začátku emisní události program zaznamená čas jejího vzniku. Jelikož analyzátor komunikuje s počítačem ke kterému je připojen, čas uložený programem je synchronní s časem na počítači pomocí kterého měříme.

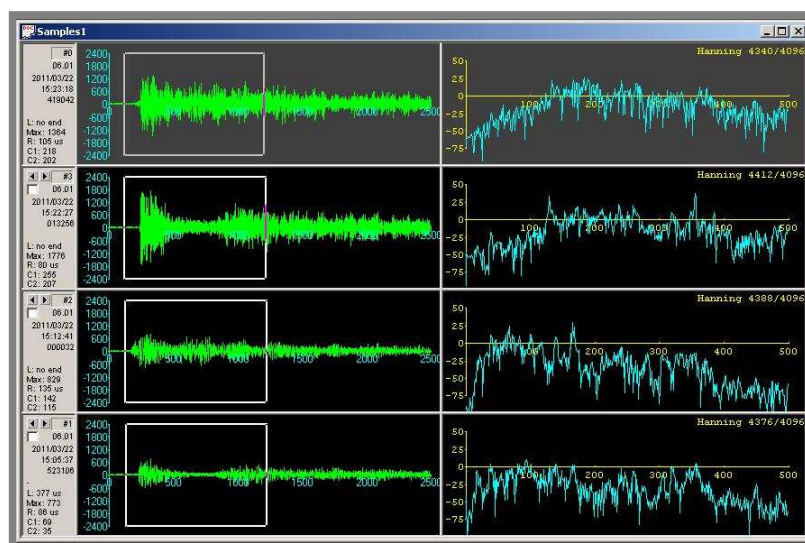
K měření je důležité si připravit tabulku, do které se bude během měření zaznamenávat čas, vzdálenost provedení zkoušky Pen-Testem od snímače, počet provedených Pen-Testů v dané vzdálenosti a typ a označení snímače AE. Protože program Daemon neumožňuje během měření měnit adresář do kterého by bylo možné ukládat data, např. pro každý snímač AE samostatný adresář, ale všechna data ukládá do jednoho adresáře, je tato tabulka velmi důležitá při následném vyhodnocování dat, abychom byli schopni identifikovat jednotlivé události a tyto události potom mezi sebou porovnat a vyhodnotit výsledky. Není nutné zapisovat čas u každé zkoušky Pen-Testem zvlášť, ale postačí, když si poznačíme čas u každé provedené série zkoušek Pen-Testů. Takový příklad je znázorněn v tabulce 6.1, ze které je patrné, že ve vzdálenosti 40 mm bylo provedeno 5 zkoušek Pen-Testem a série zkoušek byla zahájena v 11:05 hod. Tato tabulka je pro jeden testovaný snímač AE. Mezi jednotlivými sériemi zkoušek Pen-Testů je vhodné dělat určité pomlky, což vede k lepší identifikaci událostí.

Tab.6.1 Příklad tabulky potřebné pro měření událostí pomocí analyzátoru XEDO

Čas	Vzdálenost 40 mm	Vzdálenost 500 mm	Vzdálenost 1000 mm
11:05	x x x x x		
11:07		x x x x x	
11:10			x x x x x

Po naměření dat můžeme přejít k jejich zpracování. K analýze dat není potřeba, aby byl počítač připojen k měřicímu systému, ale získaná data lze libovolně přenést na jiný počítač, na kterém je můžeme vyhodnotit. Jak už bylo výše uvedeno, ke zpracování dat slouží program DaeShow, který dokáže pracovat s binárními soubory ukládanými programem Daemon.

Při analýze dat není nutné načítat celý časový rozsah naměřených dat, ale je možné zvolit časový interval, ze kterého chceme data zpracovávat. Program DaeShow umožňuje pracovat s jednotlivými navzorkovanými signály (Obr.6.2). Tyto signály je možné prohlížet, ukládat do databáze, nebo transformovat z časové oblasti do oblasti frekvenční.



Obr.6.2 Okno pro prohlížení navzorkovaného signálu

První řádek slouží k prohlížení signálu v binárních souborech. Tento řádek se zobrazí automaticky po výběru a načtení dat vzorků. Mezi vzorky je možné se pohybovat a vybraný signál lze uložit do databáze, kterou lze samostatně ukládat. Každý řádek je rozdělen na tři sloupce. První sloupec obsahuje informace o signálu, v druhém sloupci je zobrazen navzorkovaný signál a ve třetím sloupci je zobrazena transformace vybraného signálu. Pro naše účely je nejdůležitější první sloupec s informacemi o signálu, v kterém je pod sebou uvedeno číslo v databázi, číslo jednotky (box), datum záznamu vzorku, čas záznamu vzorku (hodina:minuta:sekunda), čas záznamu vzorku (mikrosekundy). Další informace jsou délka trvání události (L), maximální amplituda (Max), Risetime (R), C1, C2, C1r, C2r, a-parametr.

Z těchto hodnot má pro nás největší význam maximální amplituda a Risetime (doba náběhu). Samotné vyhodnocování naměřených dat probíhá následovně. Naměřená data se načtou do prohlížeče vzorků, každý vzorek se musí prohlédnout a hodnoty maximální amplitudy a doby náběhu zapsat nejlépe do tabulkového editoru. Jednotlivé události se třídí podle času záznamu vzorku. Pokud bylo provedeno v jedné vzdálenosti od snímače AE více zkoušek Pen-Testem, udělá se z těchto hodnot aritmetický průměr. Výsledné hodnoty lze vynést do grafu jako závislost maximální amplitudy na vzdálenosti provedení zkoušky od snímače AE, nebo jako doba náběhu v závislosti na vzdálenosti provedení zkoušky od snímače AE.

Měření AE událostí s osciloskopem

Jelikož je podrobná analýza jednotlivých emisních událostí pomocí programu DaeShow náročná, byla z toho důvodu provedena další měření za použití osciloskopu.

Osciloskop s označením Cleverscope CS320A je kombinované digitální zařízení, které se připojuje k hostitelskému počítači pomocí USB rozhraní. Osciloskop poskytuje dva analogové kanály se vzorkovací frekvencí 100MHz a rozlišením 10 bitů. Dále obsahuje paměť pro ukládání měřených vzorků o velikosti 4MB (4 miliony vzorků). Softwarová část zařízení dodávaná společně s osciloskopem umožňuje zobrazování signálu na analogových vstupech, spektrální analýzu měřených signálů, matematické zpracování měřených signálů, ukládání dat na disk a možnost jejich následného otevírání, atd.

Zásadní výhodou osciloskopu oproti analyzátoru Dakel je, že umožňuje podrobný rozbor každé emisní události. Tzn., že pomocí okna osciloskopu můžeme každou naměřenou událost zobrazit, libovolně změnit časové měřítko na ose x a měřítko el. napětí na ose y. Měřítka lze nastavit velmi malá, což umožňuje následné velmi podrobné odečtení potřebných hodnot. Odečítání z grafu je možné pomocí kurzoru myši, který se pohybuje po křivce naměřeného signálu a zároveň zobrazuje hodnoty osy x,y aktuálního místa kurzoru.

Program zároveň zobrazuje některé informace o signálu např. RMS, amplituda, šířka pulsu, perioda atd.

Jak už bylo výše uvedeno, pro posouzení parametrů snímačů AE jsou nejdůležitější hodnoty: maximální amplituda, doba náběhu a délka trvání události. Tyto hodnoty osciloskop nezobrazuje automaticky, ale je zapotřebí je odečíst z grafu signálu v okně osciloskopu. Pro dobu náběhu a délku trvání události je zapotřebí zvolit prahovou úroveň, od které se bude odečítat doba trvání události. Obvyklá hodnota

prahu je od 0,10 až do 0,30 mV. Tyto hodnoty jsou spíše informativní a je zapotřebí vycházet z průběhu resp. hodnoty amplitudy napětí signálu a podle toho prahovou úroveň vhodně zvolit.

Hodnoty odečtené z grafu je nutné opět zapsat do tabulkového editoru a provést jejich vyhodnocení.

Aby bylo možné připojit k osciloskopu snímače AE s interním předzesilovačem je zapotřebí napájecí výhybka, která toto umožňuje. (viz Obr. 6.2 vpravo)



Obr.6.3 Osciloskop Cleverscope (vlevo) a napájecí výhybka pro snímače AE s předzesilovačem (vpravo)

7 KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ

7

7.1 Ověření funkčnosti přípravku

7.1

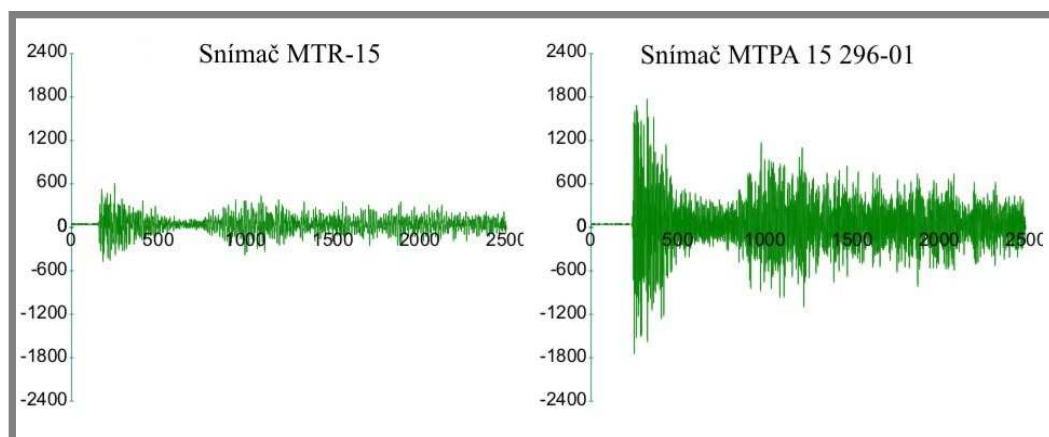
Po vyrobení navrženého přípravku byla ověřena jeho funkčnost. Zkušební měření bylo provedeno na snímačích od firmy Dakel typu MTPA-15 a MTR-15.

7.1.1 Porovnání parametrů snímačů AE naměřené analyzátozem

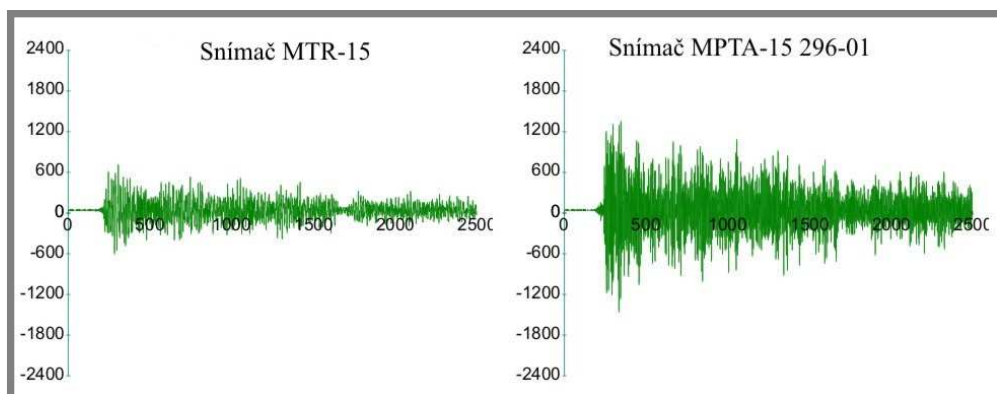
7.1.1

Nejprve bylo provedeno měření pomocí analyzátoru Dakel-XEDO. Pro demonstraci jsem použil záznamy měření ze dvou snímačů AE. U obou snímačů bylo provedeno měření na zkušební tyčce o rozměrech 32x8x1100 mm ve vzdálenosti 40, 500 a 1000 mm od upnutého snímače AE. V každé vzdálenosti byla provedena série pěti Pen-Testů.

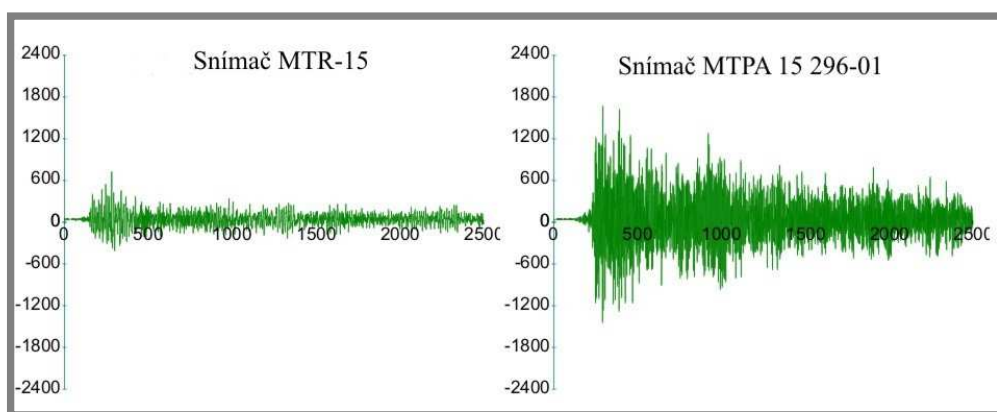
Aby bylo možné naměřené parametry od obou snímačů mezi sebou porovnat, musí být konfigurace systému totožná pro oba dva snímače. Zisk zesilovače byl nastaven na hodnotu 5 dB a prahové hodnoty startu a konce události byly 280 a 270 mV. Na obrázcích 7.1, 7.2 a 7.3 jsou znázorněny záznamy událostí naměřených postupně ve vzdálenostech 40, 500, 1000 mm. Na každém obrázku jsou zobrazeny dvě události naměřené dvěma snímači. Jak je patrné, události se liší především amplitudami napětí, jinak průběh událostí je od obou snímačů velmi podobný. U záznamů signálů naměřených ve vzdálenosti 40 mm od zdroje AE (Obr. 7.1) by bylo možné částečně odhadnout délku trvání události. První událost generovaná Pen-Testem, je oddělena dobou ticha od ostatních událostí, které vznikly odrazem signálu ve zkušební tyčce. U ostatních záznamů (Obr. 7.2 a Obr. 7.3) první událost splývá s událostmi vzniklými odrazem, tudíž je velmi obtížné určit dobu trvání události.



Obr.7.1 Záznamy signálů AE ze vzdálenosti 40 mm pořízené pomocí analyzátoru Dakel



Obr.7.2 Záznamy signálů AE ze vzdálenosti 500 mm pořízené pomocí analyzátoru Dakel



Obr.7.3 Záznamy signálů AE ze vzdálenosti 1000 mm pořízené pomocí analyzátoru Dakel

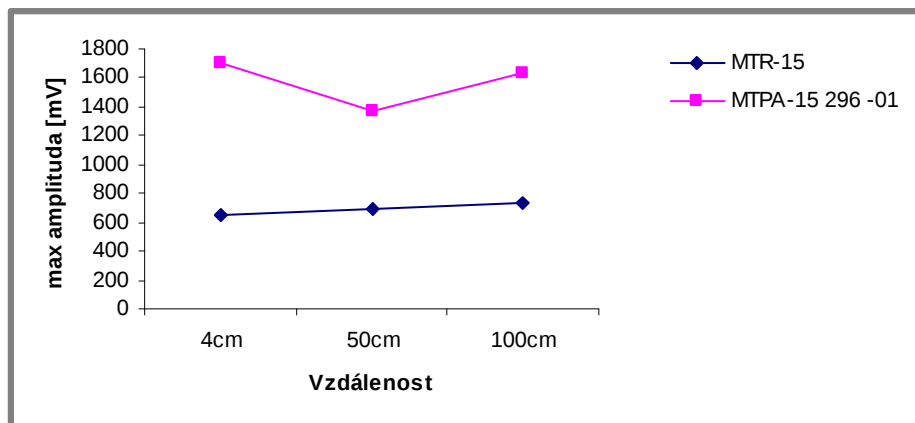
Porovnání naměřených hodnot

Výsledné hodnoty z měření jsou zapsány v tabulce 7.1. Z těchto hodnot byly dále sestaveny grafy, v kterých jsou porovnány parametry obou testovaných snímačů AE.

Tab.7.1 Hodnoty snímačů naměřené pomocí analyzátoru

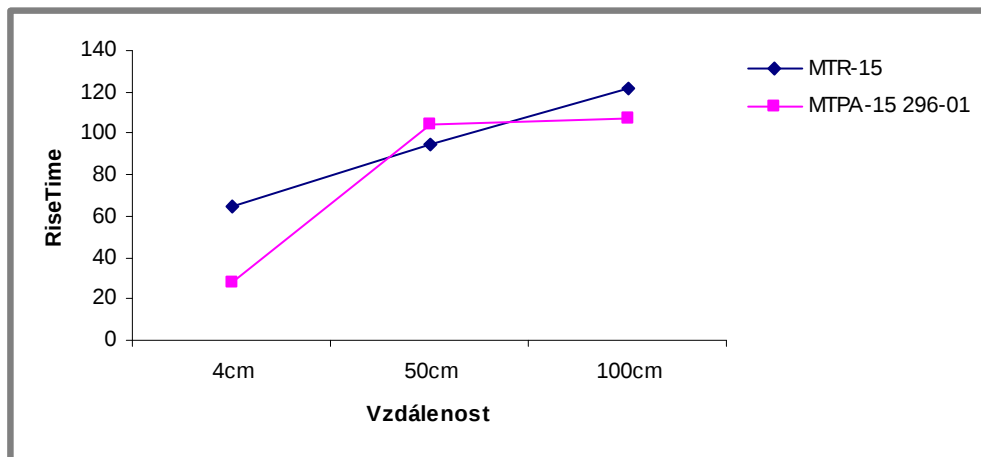
	Snímač MTR-15		Snímač MTPA-15 296-001	
Vzdálenost [mm]	Max. amplituda [mV]	RiseTime [μ s]	Max. amplituda [mV]	RiseTime [μ s]
40	614	85	1576	20
	670	85	1776	24
	679	84	1673	11
	698	56	1739	20
	576	65	1720	9
Průměrná hodnota	647,4	74,8	1696,8	16,8
500	717	84	1364	105
	553	76	1153	90
	689	84	1490	101
	829	82	1497	121
	745	81	1317	94
Průměrná hodnota	706,6	81,4	1364,2	94,2
1000	731	125	1678	64
	717	116	1528	85
	670	124	1790	63
	656	116	1532	91
	895	125	1612	62
Průměrná hodnota	733,8	121,2	1628	73,2

Jak už bylo zmíněno výše, hodnoty parametrů snímačů se liší především v maximální amplitudě napětí. Z grafu 7.4 je patrné, že snímač s označením MTPA-15 296-01 vykazuje výchylku napětí cca o 1000 mV větší, než druhý snímač MTR-15. Dále je rozdílný průběh naměřených hodnot, kdy u snímače MTPA-15 296-01 maximální amplituda se zvětšující se vzdáleností Pen-Testu klesá, kdežto u druhého snímače má průběh naměřených hodnot stoupající tendenci.



Obr.7.4 Porovnání snímačů AE pomocí analyzátoru, závislost max. amplitudy na vzdálenosti Pen-Testu

V následujícím grafu 7.5 jsou porovnány doby náběhu (Rise time). I v tomto případě oba dva snímače vykazují odlišné průběhy naměřených hodnot. Pro porovnání parametrů je důležité, aby doba náběhu byla co nejmenší. Jak je patrné, nižší hodnoty vykazuje snímač MTPA-15 296-01, ovšem jen ve vzdálenostech 40 a 1000 mm.

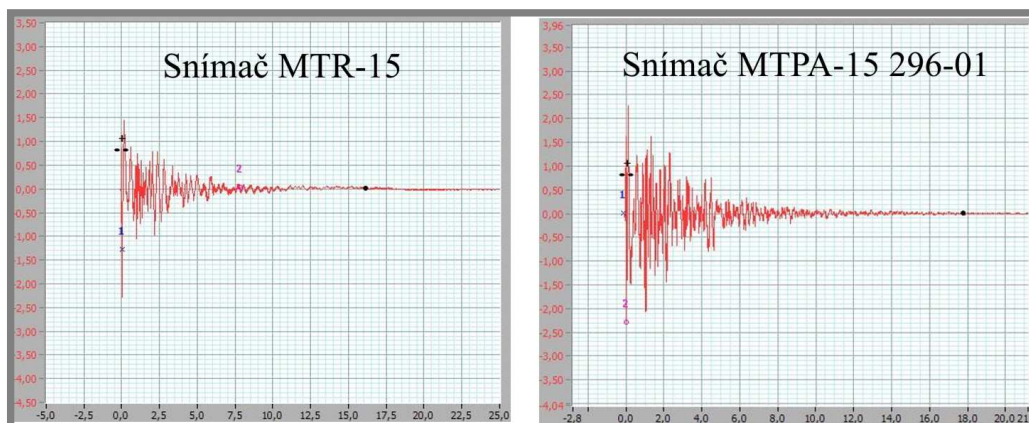


Obr.7.5 Porovnání snímačů AE pomocí analyzátoru, závislost doby náběhu na vzdálenosti Pen-Testu

Ze srovnání parametrů obou snímačů naměřených pomocí analyzátoru vyplývá, že snímač MTPA-15 296-01 se vyznačuje vyšší citlivostí a to z důvodu většího zesílení signálu a kratší doby náběhu.

7.1.2 Porovnání parametrů snímačů naměřených osciloskopem

Další zkušební měření bylo provedeno pomocí Osciloskopu Clevescope CS320A. K těmto měření byly použity stejné snímače AE, a opět v každé vzdálenosti byla provedena série pěti Pen-Testů, jak tomu bylo v případě měření pomocí analyzátoru. Následující obrázek 7.6 zobrazuje průběh signálů AE zaznamenaný osciloskopem ve vzdálenosti 40 mm od zdroje AE. I v tomto případě se na první pohled události detekované oběma snímači liší především zesílením signálu.



Obr.7.6 Záznamy signálů AE ze vzdálenosti 40 mm pořízené pomocí osciloskopu Clevescope

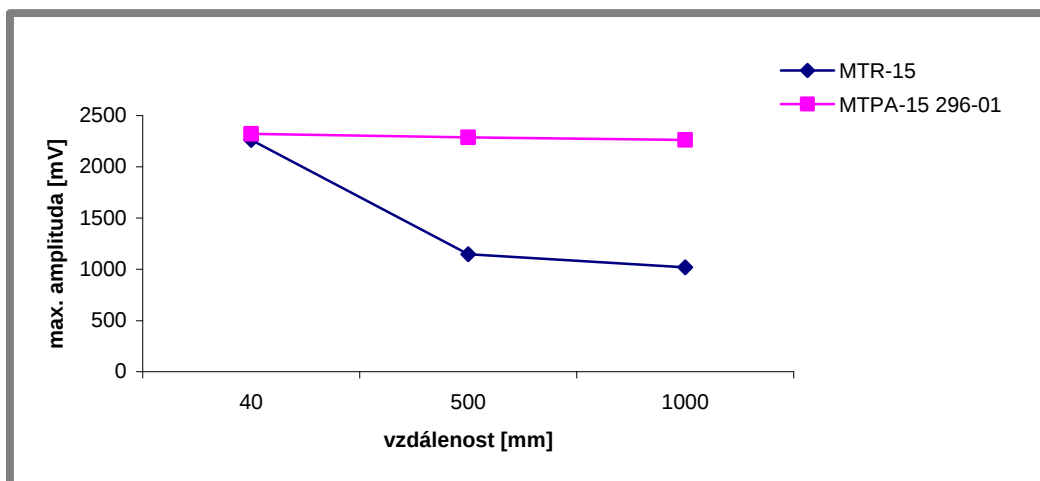
Porovnání naměřených hodnot

V tabulce 7.2 jsou zaznamenány hodnoty naměřené pomocí osciloskopu. Tato tabulka obsahuje navíc hodnoty délky trvání událostí u jednotlivých snímačů.

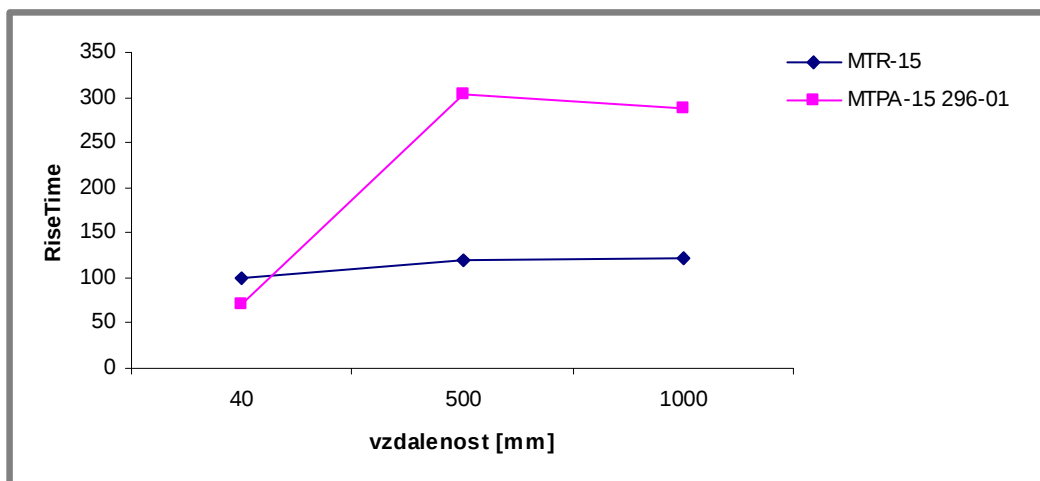
V následujících grafech 7.7, 7.8 a 7.9 jsou porovnány parametry snímačů naměřených pomocí osciloskopu.

Tab.7.2 Hodnoty naměřené pomocí osciloskopu

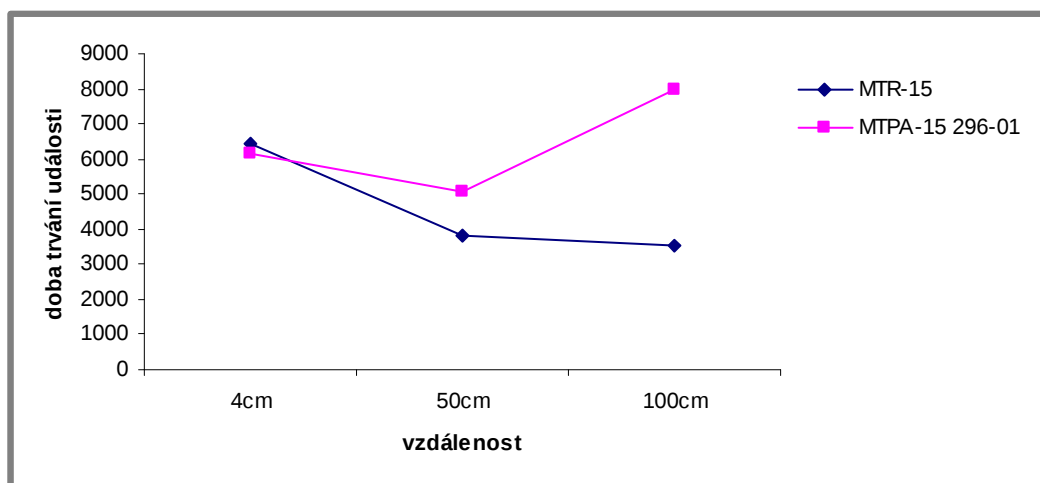
	Snímač MTR-15			Snímač MTPA-15 296-001		
Vzdálenost [mm]	Max. amplituda [mV]	RiseTime [μs]	Doba trvání [ms]	Max. amplituda [mV]	RiseTime [μs]	Doba trvání [s]
40	2315	81	5950	2197	61	6910
	2282	68	5820	2265	66	5428
	2264	125	6210	2435	83	6382
	2187	132	6891	2354	72	5952
	2273	87	7325	2365	69	6163
Průměrná hodnota	2264,2	98,6	6439,2	2323,2	70,2	6167
500	1093	125	2631	2421	323	5213
	1391	134	4120	2321	282	4382
	1017	110	4076	1873	261	4878
	1163	106	4032	2285	368	5872
	1067	127	4104	2543	287	4865
Průměrná hodnota	1146,2	120,4	3792,6	2288,6	304,2	5042
1000	990	145	3813	2324	303	8205
	982	105	3031	2135	272	8174
	886	103	3043	2113	274	7489
	1192	131	4630	2462	289	8043
	1043	129	3168	2278	298	7943
Průměrná hodnota	1018,6	122,6	3537	2262,4	287,2	7970,8



Obr.7.7 Porovnání snímačů AE, závislost max. amplitudy na vzdálenosti Pen-Testu



Obr.7.8 Porovnání snímačů AE, závislost doby náběhu na vzdálenosti Pen-Testu



Obr.7.9 Porovnání snímačů AE, závislost doby trvání události na vzdálenosti Pen-Testu

Při srovnání parametrů z těchto naměřených dat, má opět lepší vlastnosti snímač MTPA-15 296-01 oproti snímači MTR-15. Pro určení vlastností je důležité porovnávat hodnoty naměřené ve vzdálenosti 40 mm. Při šíření signálu zkušební tyčkou dochází k jeho odrazům při dosažení rozhraní povrchu tělesa a vzduchu, což při detekci z větší vzdálenosti vede ke zkreslení signálu. Nejvíce nevhodné místo pro provedení Pen-Testu se jeví v polovině zkušební tyče, v našem případě vzdálenost 500 mm. Z tohoto místa se signál šíří oběma směry, kdy poté dochází k odrazům a překrývání jednotlivých událostí a do snímače dorazí signál velmi zkreslen. Signál šířící se z druhého konce tyčky nevykazuje takové zkreslení, jako při šíření z poloviny tyčky, ale při jeho detekci dochází spíše k útlumu.

Jak je patrné, parametry sejmuté oběma snímači ze vzdálenosti 40 mm se od sebe téměř neliší z čehož by plynulo, že oba snímače mají podobné vlastnosti. Je tedy důležité provést rozbor hodnot naměřených ve vzdálenosti 1000 mm. Se zvětšující se délkou provedení Pen-Testu, by vlivem útlumu měla hodnota maximální amplitudy klesat, doba náběhu a délka trvání události se prodlužovat.

7.2 Konstrukční rozbor

7.2

Přípravek pro ověřování parametrů snímačů je navržen jako sestava skládající se ze třech hlavních částí, základové desky, stojanu a konzoly. Tyto části jsou spojeny šroubovými spoji, což umožňuje snadné rozebírání přípravku. Navržená pružina nemusí být vyráběna, ale postačí zvolit z katalogu výrobce pružinu podobných vlastností.

7.3 Technologický rozbor

7.3

Konstrukce přípravku je navržena tak, aby požadavky na náročnost výroby z hlediska strojního vybavení dílny a personální odbornosti byly nízké. Na výrobu přípravku jsou použity základní technologické operace jako, vrtání, frézování, soustružení a svařování.

Přípravek není příliš mechanicky namáhán, proto materiály použité na jeho výrobu jsou svařitelná ocel třídy 1.0036, dural (EN-AW-2017), silon, pryž a pertinax.

7.4 Ekonomický rozbor

7.4

Náklady na materiál a barvy se pohybují v rozmezí stovek korun. Největší položku v nákladech tvoří strojní práce a svařování. Na výrobu přípravku je zapotřebí cca 40 hodin. Celkové finanční náklady na výrobu přípravku v dílnách ÚK FSI lze přibližně odhadnout na 15-20.000 Kč.

7.5 Závěr

7.5

Hlavním cílem této diplomové práce byl konstrukční návrh upínacího přípravku pro ověřování parametrů snímačů akustické emise. Tento cíl se podařilo splnit a byl vyroben funkční prototyp, na kterém byla následně ověřena jeho funkčnost.

Přípravek umožňuje upnutí snímače definovanou silou a následné sejmутí signálu během zkoušky tzv. Pen-Testem.

Dalším úkolem byl návrh metodiky měření umožňující zpracování, analýzu a následné vyhodnocení naměřených dat. V této části byl nejprve popsána metodika měření pomocí analyzátoru Dakel-XEDO a příslušného softwaru Daemon a DaeShow. Jelikož tento systém neumožňoval potřebnou úroveň vyhodnocování tzn., že ze sejmutého signálu nebylo možné určit všechny potřebné parametry a provést podrobnou analýzu signálu, byl k měření použit osciloskop Cleverscope. Osciloskop oproti diagnostickému zařízení od firmy Dakel umožňuje lepší manipulaci s daty, a to jak během samotného měření, kdy na rozdíl od programu Daemon lze ukládat každou naměřenou událost zvlášť, tak i během následného vyhodnocování, kdy lze naměřené události podrobně zkoumat a získat všechny potřebné hodnoty. Nevýhodou ovšem je, že potřebné parametry je nutné z naměřeného signálu manuálně odečíst.

V ověřovací etapě měření bylo prováděno pouze pět zkoušek Pen-Testů v každé vybrané vzdálenosti. Z těchto pěti hodnot se většinou jedna výrazně odlišuje od ostatních, což má za následek, že výsledná průměrná hodnota je poněkud zkreslena. Tato odlišnost některých hodnot je způsobena ručním prováděním zkoušky Pen-Testu, kdy při každém provedení zkoušky nedojde k optimálnímu zlomení tuhy. Tento nežádoucí jev je důležité eliminovat především v etapě samotného zkoušení snímačů AE. Řešením tohoto problému je zvýšení počtu zkoušek Pen-Testu v dané vzdálenosti, např. na deset zkoušek. Při následném výpočtu průměrné hodnoty se do výpočtu nezahrne nejvyšší a nejnižší naměřená hodnota z provedené série.

Oba diagnostické systémy poskytují data, které je nutné přenést a vyhodnotit v jiném softwaru, např. v tabulkovém editoru.

V této práci byl popsán postup, jakým způsobem naměřit, analyzovat a vyhodnotit parametry testovaných snímačů. Tento postup je ovšem časově náročný a vyžaduje přenášení dat mezi jednotlivými programy, což může vést k chybě při následné interpretaci skutečných výsledků. Tento problém by se dal vyřešit doplněním softwaru, který by umožňoval po sejmutí signálu s testovaného snímače AE analýzu potřebných parametrů, a následné jejich vyhodnocení a případné porovnání s daty od jiného snímače AE.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**8**

- [1] KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav. Technická diagnostika : senzory - metody - analýza signálu. 1. vyd. Praha : Technická literatura BEN, 2006. 410 s. ISBN 80-7300-158-6.
- [2] KOPEC, Bernard, et al. Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí : Nauka o materiálu IV. 1. vyd. [s.l.] : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM , s.r.o. Brno, 2008. 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [3] BEČVÁŘ, Petr; CVRČEK, Martin. Znalostní přístupy v diagnostických systémech akustické emise . Automa [online]. 2001, 12, [cit. 2011-05-11]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33761>.
- [4] KEPRT, J. Primární kalibrace snímačů akustické emise. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 171 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Petr Beneš, PhD. Dostupné z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18293>.
- [5] NDE/NDT Resource Center [online]. 2001 [cit. 2011-05-24]. AE Source Location Techniques. Dostupné z WWW: <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE_Source%20Location.htm>.
- [6] NDE/NDT Resource Center [online]. 2001 [cit. 2011-05-24]. Theory - AE Sources. Dostupné z WWW: <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE_Theory-Sources.htm>.
- [7] NDE/NDT Resource Center [online]. 2001 [cit. 2011-05-24]. Equipment. Dostupné z WWW: <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE_Equipment.htm>.
- [8] Dakel [online]. 2006-2009 [cit. 2011-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.dakel.cz/>>.
- [9] Diagnostická metoda akustické emise a její perspektivy. Techmagazín [online]. 5.3.2011, č.2, [cit. 2011-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.techmagazin.cz/85>>.
- [10] Preditest [online]. 2006 - 2008 [cit. 2011-05-12]. Akustická emise podrobně. Dostupné z WWW: <http://www.preditest.cz/download/informace/akusticka_emise_podrobne.pdf>

- [11] Preditest [online]. 2006-2008 [cit. 2011-05-12]. Akustická emise obecně. Dostupné z WWW: <http://www.preditest.cz/download/informace/akusticka_emise_obecne.pdf>.
- [12] PŘIBÁN, Miroslav. Metoda akustické emise I: obecná část – základní principy: Česká společnost pro NDT, Brno 2010.
- [13] SHIGLEY, Joseph; MISCHKE, Charles; BUDYNAS, Richard. Konstruování strojních součástí. Brno : VUTUM, 2010. 1186 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [14] Manuál programu Daemon, DaeShow. ZD Rpety stř. Dakel, 2009. 50 s.
- [15] Osciloskopy.com [online]. 2008, 30.6.2010 [cit. 2011-05-24]. Digitální osciloskop a logický analyzátor Cleverscope CS328A. Dostupné z WWW: <http://www.osciloskopy.com/scopes/cs328/cs328main_cz.php>.
- [16] Diagnostika metodou akustické emise. Mm průmyslové spektrum [online]. 12.6.2002, 6/2002, [cit. 2011-05-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/vydani/2002/6/1>>.
- [17] *Jpv prodej : Jan Vysloužil* [online]. 2000 [cit. 2011-05-24]. Katalog pružin tlačných. Dostupné z WWW: <<http://www.pruziny.ic.cz/tlacne.pdf>>.

9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A VELIČIN**9**

F_{max} [N]	- síla v plně zatíženém stavu
R_m [MPa]	- mez pevnosti v tahu
G [GPa]	- modul pružnosti ve smyku
R_{se} [MPa]	- mez kluzu ve smyku
τ_s [MPa]	- smykové napětí v mezním stavu
k [-]	- návrhový součinitel
ζ [-]	- součinitel přetížení
a [-]	- konstanta pro výpočet poměru vinutí
b [-]	- konstanta pro výpočet poměru vinutí
C [-]	- poměr vinutí
K_B [-]	- Bergsträsserův součinitel
k_k [-]	- součinitel bezpečnosti v mezním stavu
d [mm]	- průměr drátu
D [mm]	- střední průměr pružiny
D_e [mm]	- vnější průměr pružiny
y_{max} [mm]	- stlačení při síle v plně zatíženém stavu
n_a [-]	- počet činných závitů
n_t [-]	- celkový počet závitů
n_e [-]	- počet závěrných závitů
L_s [mm]	- délka v mezním stavu
L_0 [mm]	- délka pružiny ve volném stavu

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr.1.1 Princip akustické emise[12]	14
Obr.1.2 Nespojitá AE [9]	15
Obr.1.3 Spojitá AE [9]	16
Obr.1.4 Princip Pen-Testu [12]	17
Obr.1.5 Základní parametry události AE [10]	19
Obr.1.6 Schéma kompletace hitů do událostí AE [12]	21
Obr.1.7 Princip lineární lokalizace [5]	22
Obr.1.8 Princip bodové lokalizace [5]	22
Obr.1.9 Popis Kaiserova a Felicity jevu [6]	23
Obr.1.10 Schéma piezoelektrického snímače [12]	25
Obr.1.11 Držák snímače AE	27
Obr.1.12 Snímač AE uchycený na vlnovodu [8]	27
Obr.2.1 Monitorování tlakové nádoby pomocí metody AE [11]	29
Obr.2.2 Zkušební stanice kontaktní únavy R-mat s uchyceným snímačem AE	30
Obr.2.3 Snímače AE nabízené firmou Dakel [8]	31
Obr.2.4 Analyzátor Dakel – XEDO s řídícím NTB	32
Obr.2.5 Snímače AE typu MTR-15/MTPA-15 od firmy Dakel používané na Ústavu konstruování	33
Obr.5.1 První varianta řešení	36
Obr.5.2 Druhá varianta řešení	37
Obr.5.3 Třetí varianta řešení	38
Obr.5.4 Čtvrtá varianta řešení	39
Obr.5.5 Vyrobený prototyp čtvrté varianty řešení upínacího přípravku	40
Obr.6.1 Princip upínání snímače AE do přípravku	42
Obr.6.2 Okno pro prohlížení navzorkovaného signálu	48
Obr.6.3 Osciloskop Cleverscope (vlevo) a napájecí výhybka pro snímače AE s předzesilovačem (vpravo)	50
Obr.7.1 Záznamy signálů AE ze vzdálenosti 40 mm pořízené pomocí analyzátoru Dakel	51
Obr.7.2 Záznamy signálů AE ze vzdálenosti 500 mm pořízené pomocí analyzátoru Dakel	52
Obr.7.3 Záznamy signálů AE ze vzdálenosti 1000 mm pořízené pomocí analyzátoru Dakel	52
Obr.7.4 Porovnání snímačů AE pomocí analyzátoru, závislost max. amplitudy na vzdálenosti Pen-Testu	53
Obr.7.5 Porovnání snímačů AE pomocí analyzátoru, závislost doby náběhu na vzdálenosti Pen-Testu	54
Obr.7.6 Záznamy signálů AE ze vzdálenosti 40 mm pořízené pomocí osciloskopu Cleverscope	54
Obr.7.7 Porovnání snímačů AE, závislost max. amplitudy na vzdálenosti Pen-Testu	56
Obr.7.8 Porovnání snímačů AE, závislost doby náběhu na vzdálenosti Pen-Testu	56
Obr.7.9 Porovnání snímačů AE, závislost doby trvání událostina na vzdálenosti Pen-Testu	56

11 SEZNAM TABULEK**11**

Tab.1.1 Závislost počtu kanálu na úrovni vyhodnocení signálu [2]	18
Tab.6.1 Příklad tabulky potřebné pro měření událostí pomocí analyzátoru XEDO	48
Tab.7.1 Hodnoty snímačů naměřené pomocí analyzátoru	53
Tab.7.2 Hodnoty naměřené pomocí osciloskopu	55

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1	číslo výkresu	1-KSI-55/00
Příloha č.2	číslo výkresu	3-KSI-55/01
Příloha č.3	číslo výkresu	3-KSI-55/02
Příloha č.4	číslo výkresu	4-KSI-05/1.1
Příloha č.5	číslo výkresu	4-KSI-05/1.2
Příloha č.6	číslo výkresu	4-KSI-05/2.1
Příloha č.7	číslo výkresu	4-KSI-05/2.2
Příloha č.8	číslo výkresu	4-KSI-05/03
Příloha č.9	číslo výkresu	4-KSI-05/05
Příloha č.10	číslo výkresu	4-KSI-05/06
Příloha č.12	číslo výkresu	4-KSI-05/07
Příloha č.13	číslo výkresu	4-KSI-05/08
Příloha č.14	číslo výkresu	4-KSI-05/09
Příloha č.15	číslo výkresu	4-KSI-05/10