



National Conference with International Participation
ENGINEERING MECHANICS 2001
Svratka, Czech Republic, May 14 - 17, 2001

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL MODELLING OF THE ELASTIC WAVE PROPAGATION IN THE SHAFT WITH OFFSETS. AFFECTING OF MEASUREMENTS BY TRANSDUCER'S PRESENCE.

Štefan MORÁVKA*

Summary: The part of a more extensive work dealing with the elastic wave propagation due to a further progress of the acoustic emission method is presented. Here, the main attention is concerned to the axisymmetric bodies with offsets whose effects are qualified. The results of numerical simulations and experimental results are presented, verified and compared mutually. The numerical modeling has been realized by the finite element method using the software MARC/MENTAT. The transient broadband piezoceramics transducers have been employed for the experimental measuring on a set of real models.

In the second part of the paper, it is shown in which way the presence of the transducer can affect the measured displacement. As shown, this effect cannot be omitted, especially in the case of an absolute measuring.

1. ÚVOD.

Signál akustické emise (AE), který vzniká při rozvoji poruch v materiálu, obsahuje informace o charakteru zdroje AE i vznikajícího poškození. Aby bylo možno řešit inverzní elastodynamický problém, tj. podle snímaného signálu zpětně lokalizovat, identifikovat a charakterizovat zdroje akustické emise, je potřeba eliminovat vlivy šíření signálu v tělesech, vliv okrajových ploch těles a změny signálu dané přenosovou charakteristikou snímačů a elektronického zpracování. Proto je nutné znát mj. přenosové charakteristiky snímačů a Greenovy funkce zkoumaných těles a konstrukcí. Greenovy funkce lze získat výpočtem (analytickým, numerickým) nebo experimentálně. Výpočty Greenových funkcí i následné řešení inverzních úloh jsou velmi náročné na výkon i paměťovou kapacitu počítače. Proto se zmínky o jejich řešení při aplikaci AE zatím objevují jen sporadicky.

Uváděný příspěvek prezentuje část rozsáhlejší práce zabývající se šířením tranzientních elastických vln v tělesech obvyklých konstrukčních tvarů – tedy numerickým a experimentálním stanovováním Greenových funkcí zejména pro potřeby dalšího rozvoje metody AE.

Zde se zaměřujeme na rotačně symetrická tělesa s tvarovými přechody, různě osazené hřídele. Posuzuje se vliv velikosti těchto osazení. Vlny jsou iniciovány jednotkovým skokem zatěžující síly v radiálním směru. Jedná se tedy o 3D úlohy.

* Dr. Ing. Štefan Morávka, Ústav mezioborových studií Západočeské univerzity, Husova 11 Plzeň.
E-mail: moravka@ums.zcu.cz, tel.: 019/7235085, fax: 019/7236443.

Prezentovány, vzájemně porovnávány a verifikovány jsou výsledky experimentálních měření a MKP modelů. Měření se provádějí piezoelektrickým nerezonančním širokopásmovým snímačem na reálných modelech. Numerické modely jsou realizovány metodou konečných prvků s použitím výpočetního systému MARC/MENTAT.

V druhé části práce je na numerickém modelu ukázáno, jak sama přítomnost snímače může ovlivnit změřený průběh např. posuvu kolmého k povrchu. Provedeno je i porovnání s experimentem. Ukazuje se, že efekt ovlivnění není zanedbatelný a že zejména při absolutních měřeních je nutno s ním počítat.

2. POUŽITÉ METODY.

Zkušební tělesa. Měření a výpočty jsou prováděny pro 5 zkušebních těles. Jedná se o válce z konstrukční oceli tř.11. Délka všech válců je 150 mm a průměr 55 mm. Na polovině své délky jsou válce osazeny na menší průměr tak, že vznikne ostrý „schod“ o výšce 0; 1; 2,5; 5 a 10 mm. To umožňuje sledovat vliv měnící se geometrie na šíření elastických vln. Schémata jednotlivých modelů zkušebních těles zde neuvádíme, ale na obrázku 1 jsou jejich fotografie.



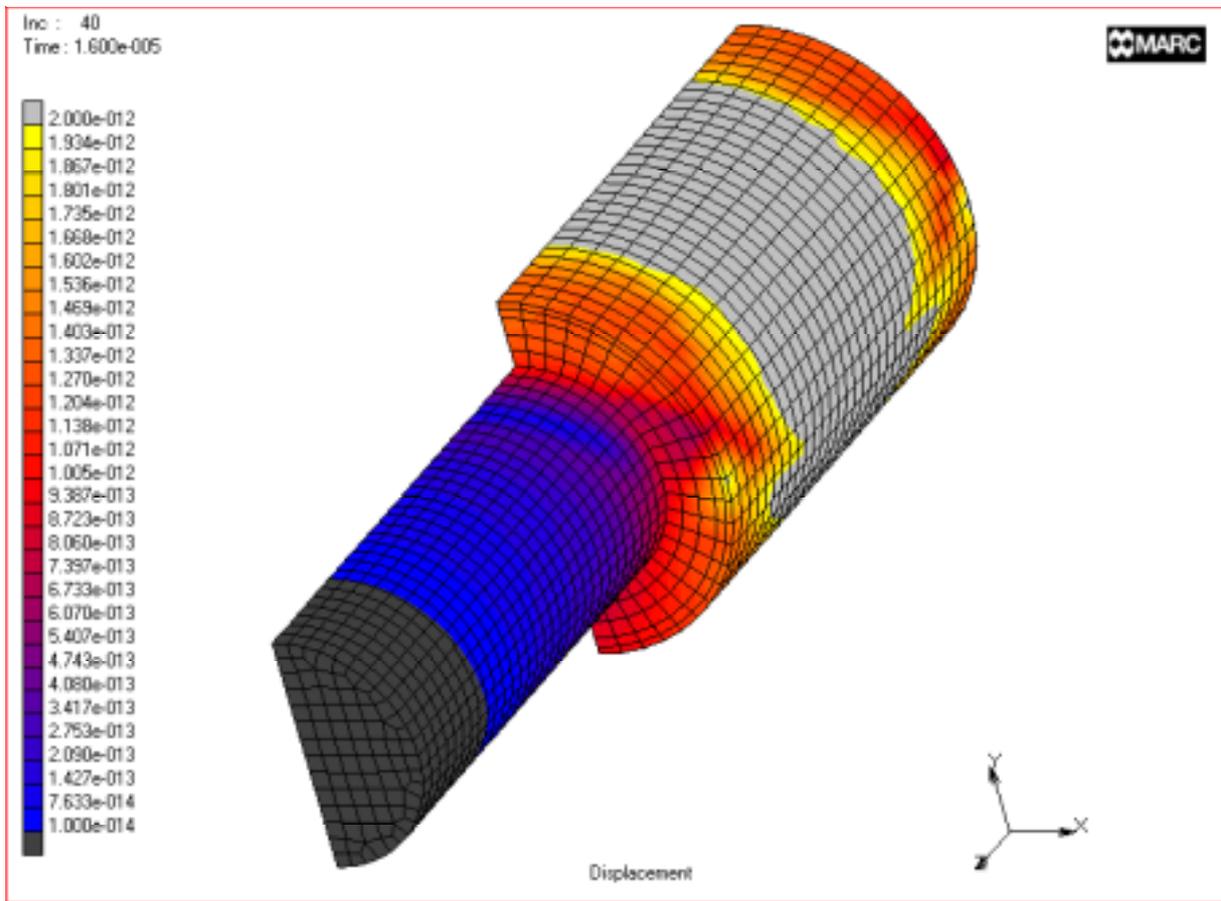
Obr.1. Fotografie zkušebních těles.

MKP modely. Všechna tělesa jsou modelována jako homogenní, elastická a izotropní. Modely tvoří prostorové, obvykle 8-mi uzlové prvky o hraně 2,5 mm. Pro každý zatěžovací stav se počítá 60 časových kroků o velikosti $\Delta t = 0,4 \mu s$. Velikost konečných prvků a časového kroku byly voleny ve vzájemné relaci tak, aby výpočet v limitním případě respektoval frekvenci do cca 1,25 MHz. Je však zřejmé, že by bylo vhodné použít menších prvků a odpovídajícího menšího časového kroku. Měření byla prováděna s frekvencí 20 MHz a průběhy jsou značně „členité“. Kdybychom ale použili např. 10x menší prvek, dostali bychom se k řádu desítek milionů prvků! V práci [11] jsme se pokusili toto omezení alespoň obejít 2D rotačně symetrickým modelem. Shoda s měřením je pak řádově (!) lepší. Narážíme zde na technické omezení, protože nestacionární MKP výpočty s desítkami milionů prvků není zatím možné v našich podmínkách realizovat.

Tělesa jsou buzena jednotkovým skokem síly (odlehčením). Síla působí radiálně, na válcovém povrchu, a to vždy v 1/2 délky osazené nebo neosazené části (podle právě sledovaného směru šíření vln přes osazení). Na druhém z uvedených míst se snímá signál pro porovnání s experimenty. Provádělo se celkem 9 výpočtů modelů válců. Úloha je symetrická okolo roviny, v níž leží budící radiální síla, snímaná výchylka a osa rotační symetrie vzorku. Je tedy možno řešit 1/2 tělesa s příslušnými okrajovými podmínkami. Modely jedné poloviny těles mají cca od 8.400 do 12.000 izoparametrických 3D prvků. Je použita Newmarkova metoda přímé časové integrace s koeficienty $\beta = 0,275625$ a $\gamma = 0,55$, které zavádějí mírné numerické tlumení a zaručují bezpodmínečnou

stabilitu metody. Tlumení zejména eliminuje rušivý vliv vyšších frekvencí. Vhodností této volby se zabývala např. práce [3], kde je porovnávacího uvedeno na konkrétním příkladě.

Na obr. 2 je uveden jeden příklad MKP modelu – hřídel s osazením 10 mm při buzení na neosazené části. Zobrazena je symetrická polovina vzorku. Prostorová mříž konečných prvků je navržena tak, aby z plného neosazeného válce mohly být další modely získány pouhým odebráním jedné nebo více vrstev prvků.



Obr. 2. MKP model hřídele s osazením 10 mm. Zobrazeno rozložení posuvů v čase $t = 16 \mu\text{s}$.

Při srovnávacím výpočtu společně se snímačem byla řešena úloha rotačně symetrická. Model se skládal z téměř 74.000 2D 4-uzlových prvků o velikosti hrany 0,25 mm (z toho 8.000 prvků připadá na snímač). Počítalo se 1250 časových kroků o velikosti $\Delta t = 0,04 \mu\text{s}$. Tento model již respektuje frekvence do cca 10 MHz. Jeden výpočet trval více než 2 týdny strojového času.

Při kvalifikačním stanovování parametrů MKP modelů se vycházelo z dřívějších experimentů a studií, kde byl podrobně rozebírán vztah mezi požadovanou přesností a spolehlivostí výsledků a na druhé straně k tomu potřebnou hustotou sítě a velikostí kroku časové integrace, např. [4]. Také byly využity předcházející práce o vedlejších jevech způsobených účinky časové a prostorové diskretizace současně, podrobněji např. v [7] nebo [8] a zkušenosti z porovnávání známých analytických řešení jednoduchých těles s numerickými výpočty, např. [3].

Výsledkem MKP výpočtů je odezva těles na jednotkový skok. V případě potřeby je možno konvolucí poměrně snadno vypočíst odezvu na složitější obecně průběhy buzení. Poznamenejme, že se nejedná terminologicky zcela přesně o Greenovy funkce, které poskytují odezvu v libovolném místě na buzení také v libovolném místě. Jak při laboratorních, tak při numerických experimentech stanovujeme vždy odezvy těles na buzení jen ve vybraných, vhodně zvolených bodech, viz výše.

Výpočetní hardware a software. Výpočty byly z velké části realizovány na pracovní stanici SGI Octane s procesorem R10.000, pamětí 256 MB a diskovým prostorem 10 GB. Část prací, zejména ladění větších úloh a návrhy MKP modelů, se prováděla na PC PIII 450 MHz, 10 GB disk a RAM 512 MB s op.systémem Windows NT. Překvapivě se ukázalo, že pokud probíhá výpočet „in-core“, (v paměti) je v některých případech PC až o 60% rychlejší než na pracovní stanice ! Porovnáme-li poměr cena/výkon, pak se tyto stroje liší řádově!

Pro numerické simulace je použita deformační formulace metody konečných prvků v systému firmy MSC MARC/MENTAT. Pro dlouhé výpočty se podařilo zvládnout problematiku restartování úlohy, takže lze na případně přerušený výpočet navázat s minimální ztrátou dat.

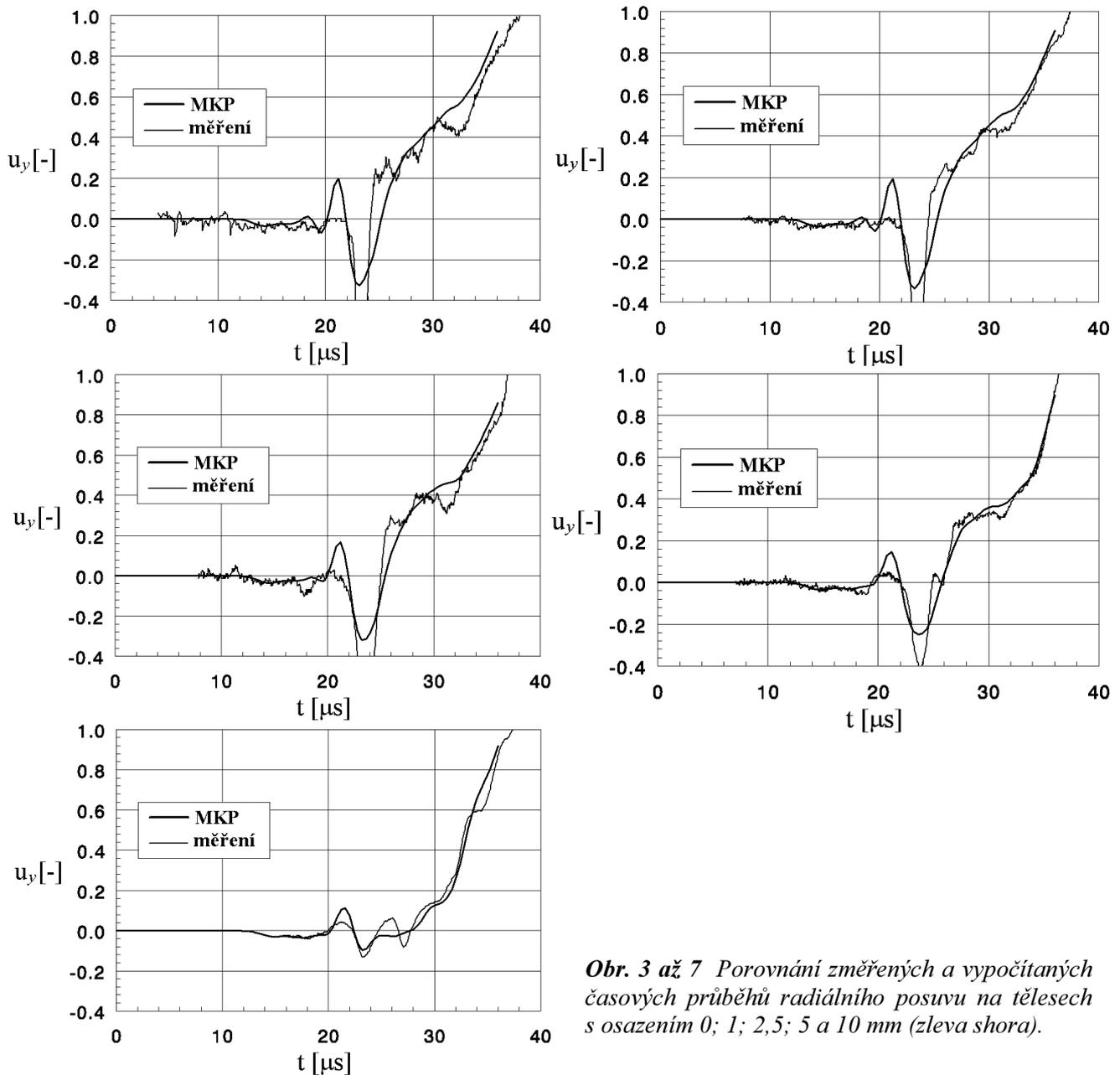
Měřící hardware. Měření se prováděla pomocí laboratorního nerezonančního širokopásmového snímače AE zkonstruovaného podle [1]. Vlastnosti různých modifikací těchto snímačů byly již dříve podrobně zkoumány, např. ve [2], [5] a [10].

Pro záznam signálů byl využíván digitální osciloskop TRACE s max.vzorkovací frekvencí 40 MHz a s 8-mi bitovým rozlišením. Buzení se provádělo Pen-testem (lomem mikrotuhy). Ukázalo se, že průměrováním více měření (tím spíše reprodukovatelných), lze i na 8-mi bitovém zařízení bez předzesílení obdržet velmi uspokojivé výsledky.

3. VÝSLEDKY VÝPOČTŮ A MĚŘENÍ NA OSAZENÝCH VÁLCÍCH.

Sledují se zejména vlastnosti šíření vln při přechodu přes osazení, a to oběma směry, podobně jako u osazených hranolů, viz [9] a [11] nebo u přechodu vln přes různě hluboké vruby, viz [12]. Výsledky numerických simulací jsou konfrontovány s experimenty, které jednak posilují důvěryhodnost měření i pro případy, kdy se měří bez ověřovacího výpočtu (např.měření akustické emise v terénu) nebo pro případy, kdy nejsou zkušební tělesa k dispozici nebo nelze měření provést (klasické numerické modelování).

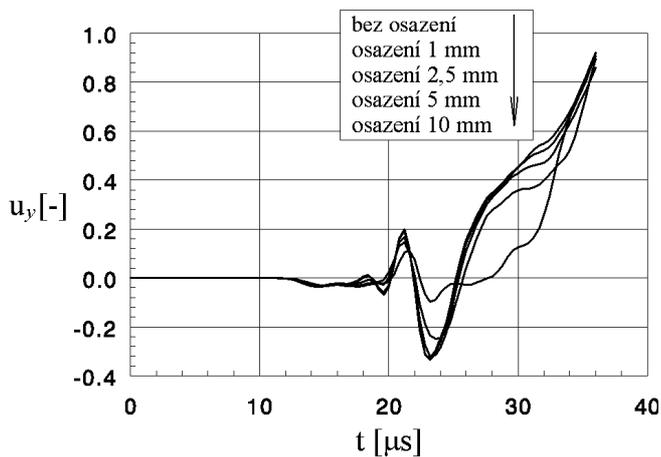
Na následující sadě obrázků, obr 3 až 7, jsou pro modely válce postupně s rostoucí výškou osazení vždy společně uvedeny časové průběhy posuvů kolmých k povrchu spočtené numericky a experimentálně změřené. Na obrázcích jsou uvedeny výsledky jen pro případ přechodu vln přes osazení směrem z osazené části do neosazené, tedy „dolů“. Pro směr opačný, „nahoru“, jsou křivky stejné (obr. neuvedeny). Už na prvním z obrázků pro neosazený válec vidíme, jak MKP výpočet velmi nedokonalě zachycuje čelo Rayleighových vln. U nerotačních těles, viz [9], [11], [12], je toto čelo MKP výpočtem zachyceno ještě méně. Není to chyba, ale důsledek filtračního efektu MKP. Pro daný model je mezná frekvence dilatačních vln cca 1,25 MHz. Frekvenční analýza změřeného průběhu však ukazuje, že čelo Rayleighových vln je tvořeno frekvencemi okolo 3 MHz. Pravděpodobně také z důvodu absence vyšších frekvencí vzniká neshoda i v oblasti před tímto čelem. MKP výsledky jsou hladké a ani nemohou obsahovat strmé změny. Na dalších obrázcích pro rostoucí výšku osazení vidíme, že pokud si odmyslíme ostré vysokofrekvenční ostré přechody, pak se naměřené a vypočítané průběhy svými tvary přibližně shodují. Největším problémem se jeví frekvenční omezení numerického modelu dané velikostí konečného prvku. Zejména na naměřených průbězích vidíme, jak s rostoucí výškou osazení klesá zákmit způsobený čelem Rayleighovy vlny (cca v čase $t = 24 \mu s$). I toto relativně malé osazení je překážkou pro šíření Rayleighových vln, a to v obou směrech. U těles s nerotační geometrií (osazené hranoly, viz [9] a [11]) je tento jev ještě markantnější. Při praktickém nasazení AE, kde se využívá příchodů Rayleighových vln k lokalizaci emisních událostí, tak může dojít chybě. Identifikace dalších vlnových čel je v tomto případě na rozdíl od hranolovitých těles prakticky nemožná, protože odrazy od válcových stěn přicházejí ke snímači postupně.



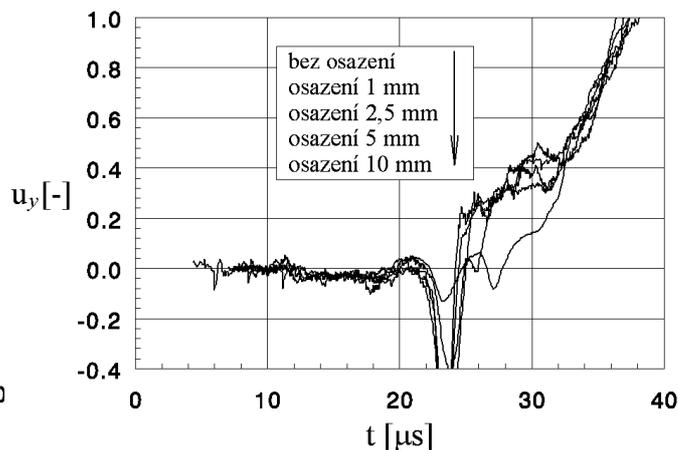
Obr. 3 až 7 Porovnání změřených a vypočítaných časových průběhů radiálního posuvu na tělesech s osazením 0; 1; 2,5; 5 a 10 mm (zleva shora).

Velmi zajímavé je zjištění vyplývající z porovnání odpovídajících si průběhů při postupu vln opačným směrem. Ukazuje se, že i v těchto nestacionárních úlohách pro posuv kolmý k povrchu platí princip reciprocity – tedy, že lze navzájem zaměnit místo buzení a snímání a výsledky zůstávají stejné. Shoda je potvrzena i experimenty. Platí to ale jen pro posuvy kolmé k povrchu. Průběhy rovnoběžné s povrchem ve směru axiálním se obecně liší, stejně tak i redukované napětí podle hypotézy HMM. Uvedený výsledek vzbuzuje asociace s Maxwellovou větou o symetrii matice příčinkových koeficientů při statickém řešení prutových nosníků. Tento problém je velmi zajímavým námětem a bylo by možná vhodné pokusit se exaktně ověřit, zda-li neplatí nějaké zobecnění Maxwellovy věty i pro 3D dynamický nestacionární případ.

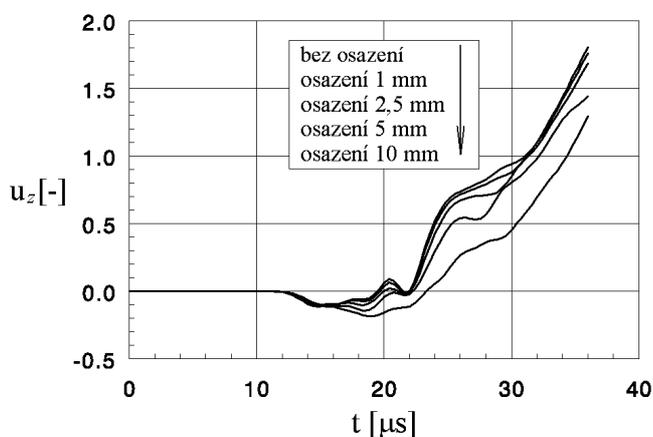
Na dalších obrázcích jsou uvedeny výsledky sumárně. Na obr.8 jsou společně pro všechny modely válců vyobrazeny průběhy posuvu kolmého k povrchu vypočítané numericky při přechodu vln z neosazené části do osazené. Výsledky pro opačný směr jsou stejné (neuváděno). Obrázek 9 ukazuje tytéž průběhy změřené experimentálně. Zde dobře vidíme, jak se s rostoucí výškou osazení zmenšuje zákmit způsobený čelem Rayleighovy vlny. Na obrázku 10 a 11 jsou pak opět pro všechny modely válců uvedeny axiální posuvy rovnoběžné s povrchem. Zde se průběhy pro různý směr přechodu vln přes osazení liší. Průběhy redukovaného napětí podle hypotézy HMM zde neuvádíme.



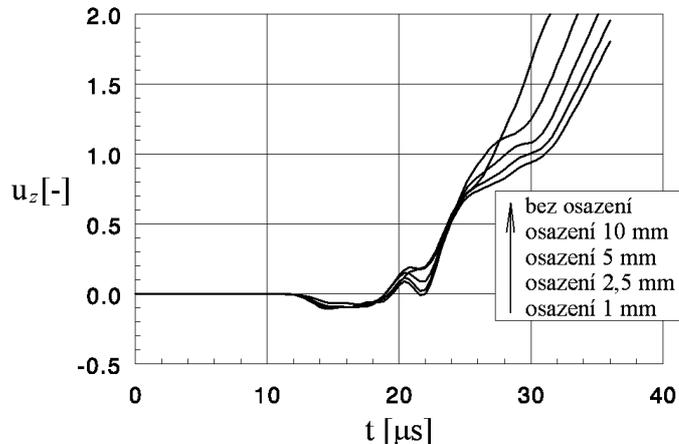
Obr. 8. Průběhy posuvu kolmého k povrchu vypočítané numericky při přechodu vln z neosazené části do osazené pro všechny válce.



Obr. 9. Změřené průběhy posuvu kolmého k povrchu při přechodu vln z neosazené části do osazené pro všechny válce.



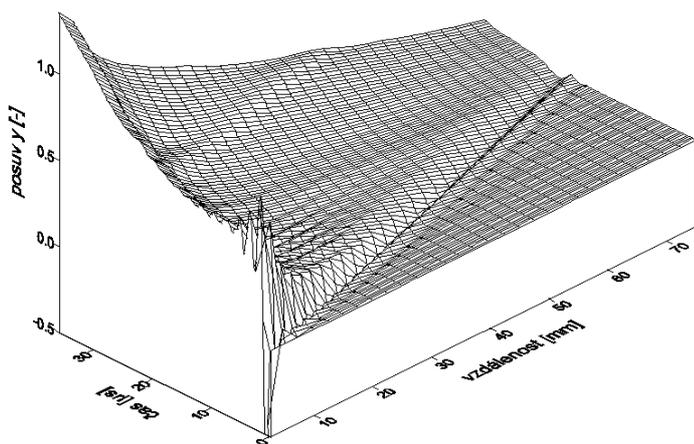
Obr. 10. Průběhy axiálního posuvu rovnoběžného s povrchem vypočítané numericky při přechodu vln z neosazené části do osazené pro všechny válce.



Obr. 11. Průběhy axiálního posuvu rovnoběžného s povrchem vypočítané numericky při přechodu vln z osazené části do neosazené pro všechny válce.

Zajímavé je porovnání těchto průběhů s osazenými hranoly, viz loňský příspěvek [9] nebo [11]. Jistou podobnost křivek, danou přechodem osazení, lze pozorovat. Nicméně průběhy jsou v důsledku odlišných geometrií dosti rozdílné.

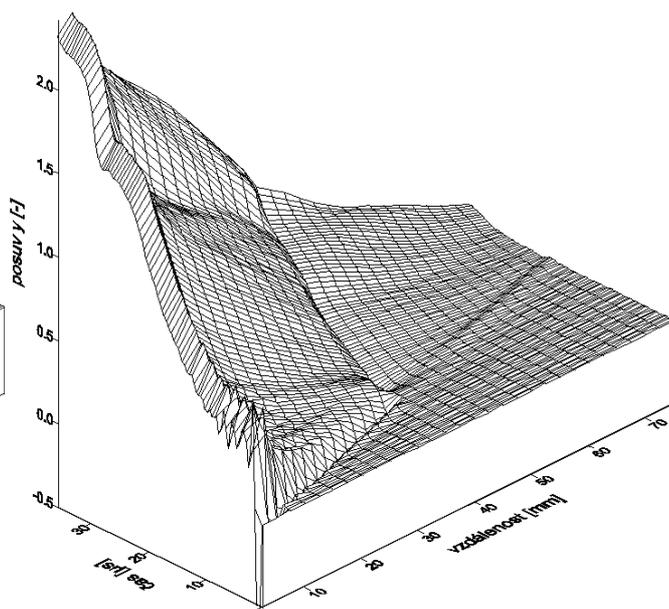
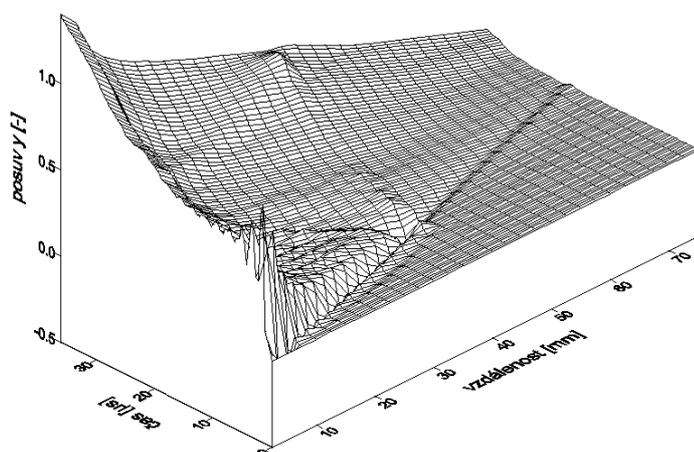
Na dalších třech obrázcích, 12, 13 a 14, je uvedeno názorné zobrazení rozložení časových posuvů kolmých k povrchu. Jedná se vlastně o sled časových průběhů pro jednotlivé uzly nacházející se na povrchu zkoumaných těles v přímé trase od místa buzení k místu snímání. První z obrázků je pro hladký válec bez osazení, následující dva jsou pro válec s osazením 10 mm, každý pro postup vln jedním směrem. Na pravé části všech těchto třech obrázků vidíme plochou trojúhelníkovou oblast, kterou přibližně uprostřed přetíná čelo dilatační vlny. To však při této hrubé diskretizaci není patrné. Před ním je plocha ještě nezasažená vlnovým dějem. Patrné je až výrazné čelo Rayleighovy vlny. Na obrázcích s osazením je vidět, jak je toto čelo po přechodu osazení (37,5 mm od místa buzení) potlačeno, při přechodu směrem „nahoru“ zaniká téměř úplně. Při přechodu směrem „dolů“ je dobře patrný odraz čela Rayleighovy vlny od osazení. S rostoucí výškou osazení se zmenšuje jeho průchodnost pro Rayleighovy povrchové vlny, ačkoliv méně rapidně než pro osazené hranoly, [9], [11]. Zajímavý je mírně snížený svislý posuv horní hrany osazení při postupu vln přes osazení směrem „nahoru“ a naopak. Zvlnění v levé části obrázků je dáno absencí vysokofrekvenčních složek spektra. Odrazy od podstavy válců nejsou pozorovatelné.



Obr. 12. (vlevo) Prostorové rozložení časových průběhů radiálního posuvu na tělese bez osazení.

Obr. 13. (vlevo dole) Prostorové rozložení časových průběhů radiálního posuvu na tělese s osazením 10 mm při postupu vln přes osazení směrem „dolu“.

Obr. 14. (dole) Prostorové rozložení časových průběhů radiálního posuvu na tělese s osazením 10 mm při postupu vln přes osazení směrem „nahoru“.



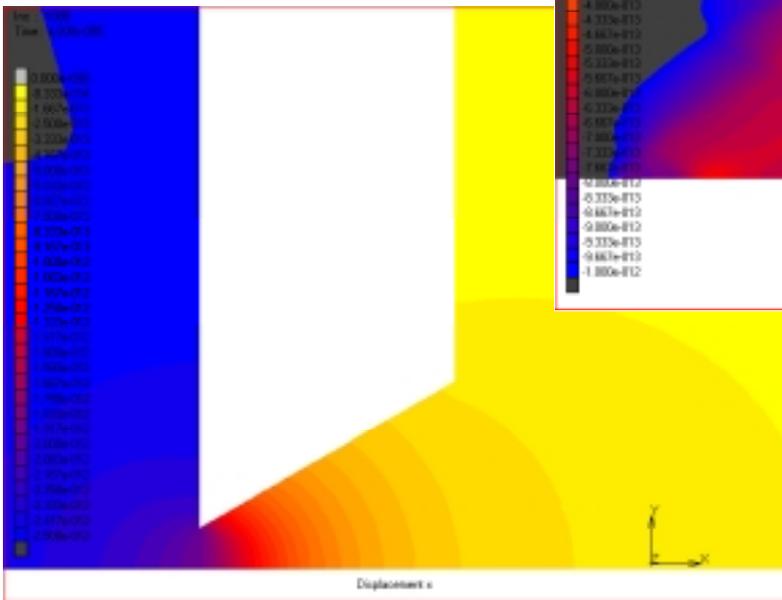
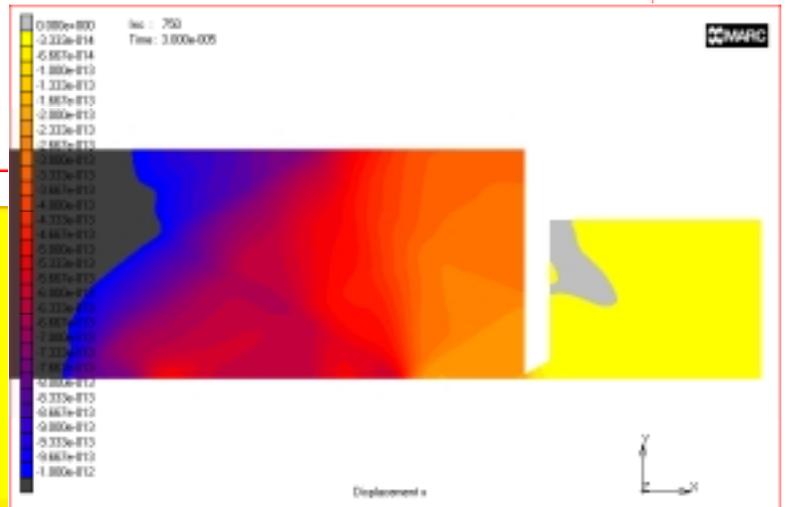
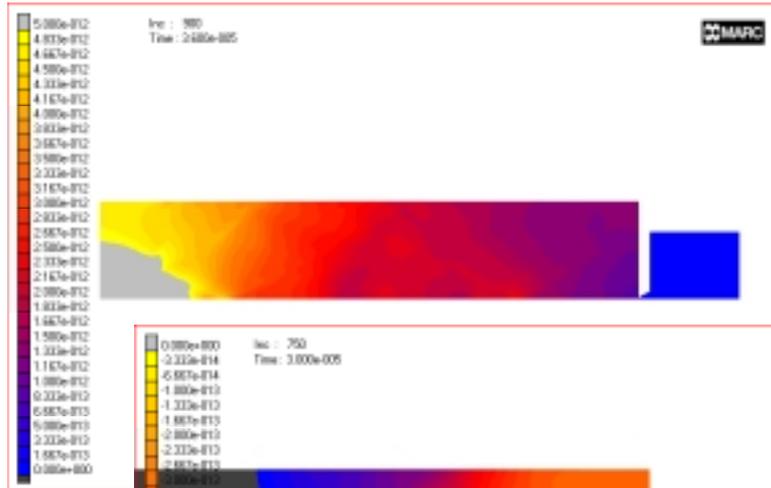
K dispozici jsou i animace těchto průběhů na počítači. Na předchozích třech obrázcích je vždy svislé měřítko zobrazení stejné pro všechny časové průběhy, takže v polovině vzdálenější od buzení je graf již dosti plochý neumožňuje pozorovat jednotlivá vlnová čela. Při animaci se měřítko dynamicky mění, takže můžeme velmi pěkně pozorovat, jak jednotlivá vlnová čela postupují. To nám dává další informace, které jen z jednoho průběhu v místě snímače často nejsme schopni získat, např. podle směru postupu lze poznat, zda-li se jedná o primární vlnu nebo o odraz.

4. VLIV PŘÍTOMNOSTI SNÍMAČE.

V další části se s použitím modelu válce budeme věnovat relativně samostatnému problému – pokusíme se posoudit vliv přítomnosti snímače na průběh měřené veličiny. Budeme řešit nestacionární úlohu modelující těleso společně s použitým typem snímače a pak bez něj a výsledky navzájem porovnáme. Navíc provedeme porovnání i s experimentem.

Aby bylo možno použít menší prvky a dosáhnout tak vyšší přesnosti, je úloha postavena jako rotačně symetrická. Válec je buzen axiálně jednotkovým skokem na jedné své základně na ose rotační symetrie a na druhé základně je umístěn snímač, který je buzen pohybem povrchu tělesa. Svoji přítomností ale snímač zpětně ovlivňuje pohyb zkušební tělesa, takže i pokud by byl průběh posuvu kolmého k povrchu zcela přesně změřen, měl by se obecně lišit od průběhu bez ovlivnění snímačem, který byl spočítán v druhé úloze. Každý z výpočtů trval cca 2 týdny.

Na obr. 15 jsou zobrazeny obě tělesa s rozložením posuvu v čase 36 μs . Na obrázku 16 axiálního posuvu vidíme pro čas 40 μs detailněji, jak se rozruch šíří z měřeného tělesa do snímače. Doplněn je ještě obrázek 17, kde vidíme zajímavou skutečnost, kdy v čase 30 μs dochází dokonce k malému vychýlení části setrvačné hmoty snímače proti směru působení budící síly.



Obr. 15. (nahore) Rozložení posuvu ve válci a snímači v čase 36 μs .

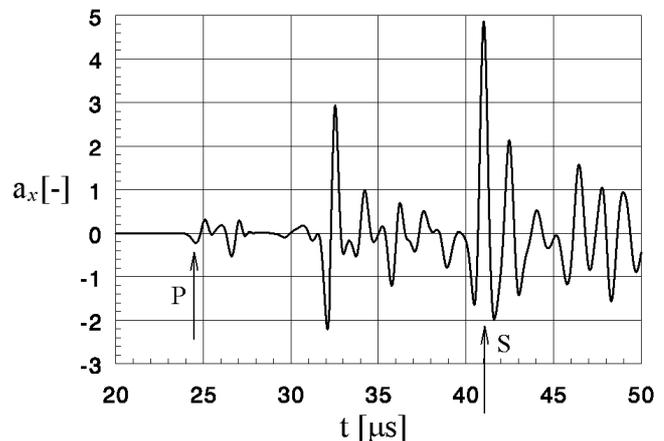
Obr. 16. (uprostřed) Detail rozložení axiálního posuvu na přechodu válce a snímače v čase 40 μs .

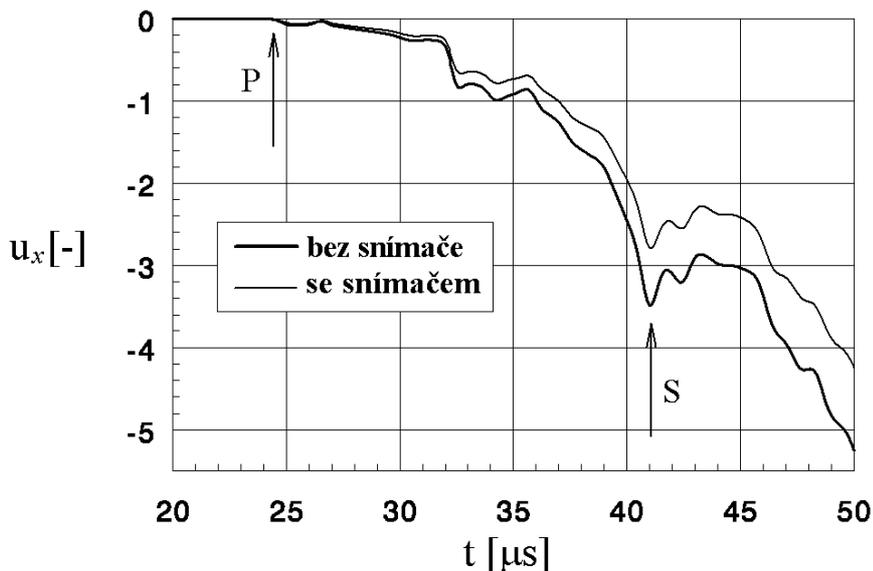
Obr. 17. (vlevo dole) Rozložení axiálního posuvu na přechodu válce a snímače v čase 30 μs .

Zkušební válec je modelován ve svislé poloze, buzení je na dolní podstavě a snímač spočívá svojí vahou na podstavě horní. Pokud zrychlení kontaktní plochy tělesa se snímačem nedosáhlo hodnoty gravitačního zrychlení, nemůže dojít k odlehnutí. Ukazuje se, že pro zvolenou budící sílu 10 N k odlehnutí bezpečně nedojde. Úloha tedy nemusí alternativu kontaktu uvažovat, čímž se vlastnosti numerického modelu dosti zjednoduší. Na obrázku 18 je uveden časový průběh axiálního zrychlení kontaktní plochy. Vidíme, že ve sledovaném intervalu dosahuje maximálně hodnoty necelých 5 m/s^2 .

Průběhy axiálních posuvů v kontaktní ploše snímače s měřeným tělesem a v místě slepení piezokeramiky s tělesem setrvačné hmoty jsou popsány vždy v 10-ti uzlových bodech sítě. Výsledný průběh pak vždy vyjadřujeme jako jejich aritmetický průměr.

Obr. 18. (vpravo) Časový průběh axiálního zrychlení kontaktní plochy tělesa a snímače.

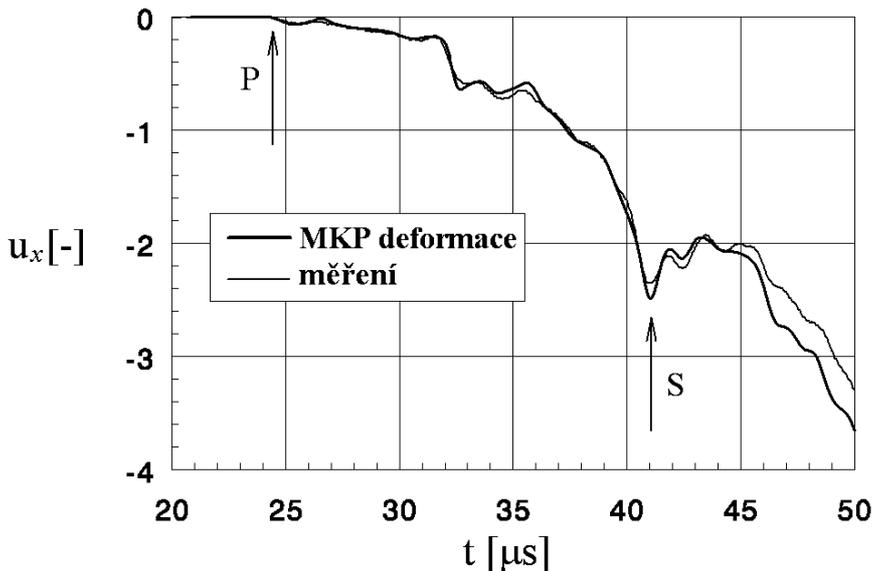




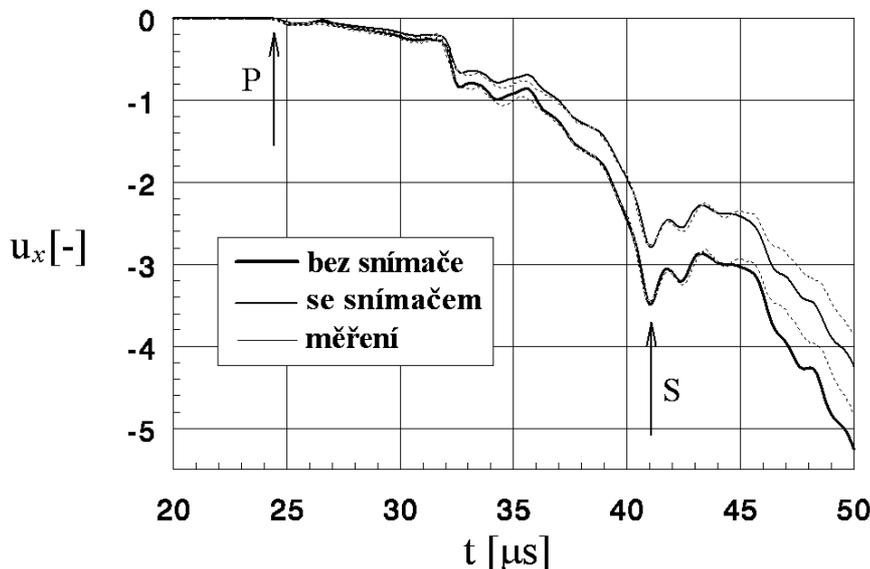
Obr. 19. Časový průběh axiální výchylky kontaktní plochy tělesa a snímače pro případ se snímačem a bez něj. Šipka „P“ odpovídá příchodu čela dilatační vlny a šipka „S“ odpovídá čelu smykové vlny.

Na velmi zajímavém obrázku 19 je porovnání průběhu posuvu kontaktní plochy snímače a tělesa při zpětném ovlivnění snímačem a bez něj. Průběhy se tvarově velmi podobají, ale velikostí se liší skoro přesně o 25 % ! Velikost této odchylky zřejmě není dána jen parametry snímače, ale předpokládám, že je závislá také na místě měření. Budeme-li měřit na „méně tuhém“ místě, např. na nějaké hraně tělesa, může být odchylka obecně jiná. To může být poměrně vážný problém, kterým by bylo třeba se zabývat, pokud by se měla provádět absolutní kalibrace snímače.

Výsledky byly ověřeny i experimentálně a byly různými způsoby porovnávány. Na obrázku 20 je jako příklad uvedeno porovnání změřeného průběhu axiálního posuvu kontaktní plochy s numericky vypočítaným rozdílem posuvu kontaktní plochy a plochy slepení, tedy s deformací piezoelementu, která fyzikálně správněji odpovídá naměřenému průběhu než samotný posuv kontaktní plochy. Průběh deformace se liší od experimentu mírně více, než MKP průběh posuvu bez snímače (obr. neuveden), ačkoliv spíše by bylo možno očekávat výsledek opačný.

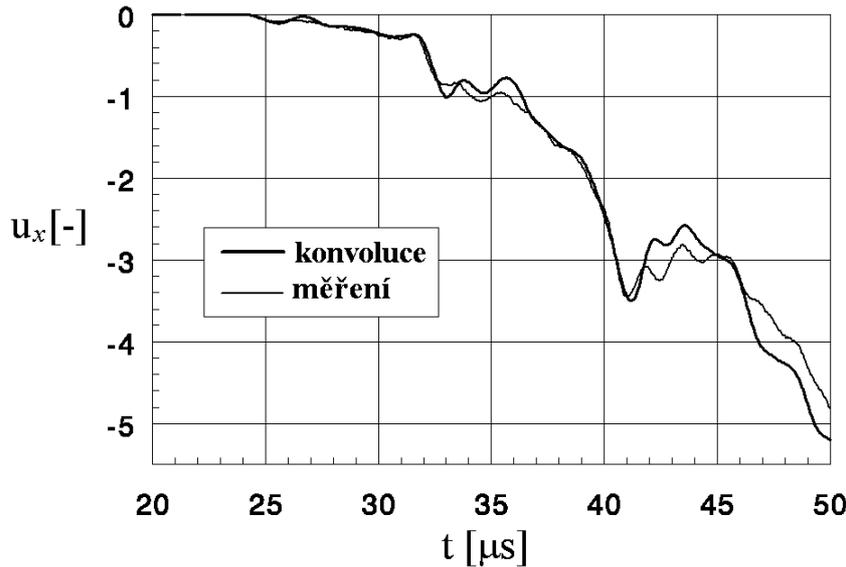


Obr. 20. Porovnání změřeného průběhu axiálního posuvu kontaktní plochy snímače a tělesa s deformací piezoelementu.



Na předposledním obrázku 21 je uvedeno dvojí porovnání: jednak se s měřením porovnává průběh axiálního posuvu kontaktní plochy bez snímače a pak se snímačem. Měřený průběh je též, jen 2x v různém měřítku. Vidíme poměrně velmi dobrou shodu s oběma výpočty. Vzhledem k jejich tvarové podobnosti (viz výše) ale nelze z obrázku prostým pohledem posoudit, který průběh se s měřením shoduje lépe.

Obr. 21. (vlevo) Porovnání změřeného průběhu s posuvem kontaktní plochy v případě se snímačem a bez snímače.



Poslední obrázek, 22, porovnává změřený průběh axiálního posuvu s konvolucí přenosové funkce snímače a MKP výpočtu bez snímače. Zde je shoda nejnižší, ačkoliv podle pokusů s konvolucí na odezvě poloprostoru a tlusté desky bychom mohli očekávat zlepšení. Je zřejmé, že tyto výsledky nelze úplně zobecnit pro různé typy těles.

Obr. 22. Porovnání změřeného průběhu axiálního posuvu s konvolucí přenosové funkce snímače a MKP výpočtu bez snímače.

5. ZÁVĚR.

Výsledky potvrzují (viz také [9], [11] a [12] pro jiné typy těles), že i relativně malé osazení (nebo vrub) je překážkou pro šíření Rayleighových povrchových vln v obou směrech. To může při použití metody akustické emise způsobit chybnou lokalizaci zdroje AE.

Vypočítané i naměřené průběhy posuvů kolmých k povrchu pro opačný směr šíření vln jsou téměř shodné, což připomíná Maxwellovu větu pro statické řešení prutových nosníků. Bylo by zajímavé tento jev ověřit exaktně.

Shoda numerických výpočtů a experimentálních měření je relativně dobrá a odpovídá technickým možnostem. Vzhledem k vysokým požadavkům nestacionárních MKP výpočtů na hardware se zatím není možné u 3D modelů frekvenčně přiblížit k možnostem měření.

Příspěvek navazuje na studium šíření přechodu elastických vln přes různě vysoká osazení na hranolu a přes různě hluboké vruby. Dále pak probíhají výpočty modelu tlustostěnné nádoby a hranolu s otvorem. Připraveny jsou kruhové desky s otvory. Cílem tohoto rozsáhlejšího úkolu je blíže poznat zákonitosti šíření elastických vln v tělesech a na různých konstrukčních prvcích, zejména pro potřeby aplikace metody AE.

6. LITERATURA.

- [1] Proctor T. M. Jr.: *An Improved Piezoelectric Acoustic Emission Transducer.*, J.Acoust. Soc. Am., vol. 71, pp. 1163-1168, No. 5, 1982.
- [2] Hora P. & al.: *Nové metody vyhodnocování signálů akustické emise. Závěrečná zpráva o řešení grantu GAČR č.101/94/0971*, Plzeň, Západočeská univerzita, 1997.
- [3] Morávka Š.: *Porovnání analytického řešení nestacionární rázové napjatosti kontinua s výpočtem pomocí MKP.*, Strojnícky čas.49, č.6, str.406-425, Bratislava, 1998.
- [4] Morávka Š.: *Testování možností modelování nestacionárního šíření napěťových vln metodou konečných prvků.* Národní konference *Inženýrská mechanika '98*, str. 489-494, Svratka, květen 1998.
- [5] Morávka Š.: *Analýza širokopásmového snímače napěťových vln.* Kolokvium *Diagnostika a aktivní řízení '98*, str.29-34, Brno VUT, listopad 1998.
- [6] Morávka Š.: *Společné posouzení vedlejších účinků časové a prostorové diskretizace při nestacionárním zatížení.* Národní konference *Inženýrská mechanika '99*, str. 391-396, Svratka, květen 1999.
- [7] Morávka Š.: *Disperze vln na MKP modelu způsobené současně časovou a prostorovou diskretizací kontinua.* Konference *Výpočtová mechanika '99*, str. 255-261, Západočeská univerzita, Nečtiny, říjen 1999.
- [8] Morávka Š.: *Side Effect of Simultaneous Spatial and Temporal Discretization of a Continuum Under Transient Load.* In: *Proceedings of University of West Bohemia 1999*, page 127-135, Plzeň, April 2000.
- [9] Morávka Š.: *The Elastic Wave Propagation over the Shape Transitions of Bodies.* International Conference *Engineering Mechanics 2000*, Svratka, page 133-138, Czech Republic, May 2000.
- [10] Morávka Š.: *The Analysis of the Broadband Transducer of Strain Waves*, 38th International Conference *EAN 2000*, page 199-206, Třešť, Czech Republic, June 2000.
- [11] Morávka Š.: *Šíření elastických vln v prizmatických tělesech se strmými změnami tvaru.* 16.konference s mezinárodní účastí, *Computational Mechanics 2000*, str. 283-290, Nečtiny, Czech Republic, October 2000.
- [12] Morávka Š.: *Modelování šíření napěťových vln pro účely zpětné rekonstrukce zdroje akustické emise*, Závěrečná zpráva o řešení grantu GAČR č.101/97/P007, Plzeň, Západočeská univerzita, leden 2001.