

AKUSTICKÉ LISTY

České akustické společnosti
www.czakustika.cz

ročník 11, číslo 1

březen 2005

Obsah

Usnesení Valné hromady České akustické společnosti	3
Pozvánka na 70. akustický seminář	4
Mezinárodní den boje proti hluku – International Noise Awareness Day – 24. března 2005 <i>Jan Stěnička</i>	5
16 th Electronic Speech Signal Processing and 15 th Czech-German Workshop Speech Processing <i>Robert Vích</i>	5
WORKSHOP 2005	5
Profesor Július Puškáš sedmdesátiletý	6
Jiří Weichert jubilantem	7
Numerické aspekty simulačních výpočtů vrstevnatých dělicích prvků s volnou výplní Numerical aspects of simulation calculations of layered partitions with released core <i>Vít Buchta a Lubomír Lapčík jr.</i>	9

ČESKÁ AKUSTICKÁ SPOLEČNOST

Usnesení Valné hromady České akustické společnosti, konané dne 27. ledna 2005 v prostorách Fakulty elektrotechnické ČVUT

Valná hromada ČsAS bere na vědomí:

1. zprávu o činnosti Rady ČsAS;
2. zprávu o uspořádání kongresu Inter-Noise 2004 v Praze;
3. zprávy o činnosti jednotlivých odborných skupin a o jejich dalším zaměření;
4. zprávu o přípravě jubilejního 70. akustického semináře;
5. zprávu o výsledcích revize hospodaření společnosti;
6. výsledky voleb do Rady společnosti a výsledky voleb předsedů odborných skupin;
7. zprávu o usnášenišchopnosti valné hromady, 86/64;
8. informace o plnění úkolů a posílání Akustických listů a vyzývá členy k zasílání příspěvků.

Pro funkční období roku 2005 byli v jednotlivých odborných skupinách zvoleni:

- A. Obecná, lineární a nelineární akustika
předseda – M. BEDNAŘÍK zástupce – M. ČERVENKA
- B. Ultrazvuk a akustické emise
předseda – J. PLOCEK zástupce – Z. BARTÁKOVÁ
- C. Hluk a vibrace
předseda – V. STRNAD zástupce – A. JIRÁSKA
- D. Prostorová, stavební a urbanistická akustika
předseda – M. MELLER zástupce – A. RYNDOVÁ
- E. Zpracování a záznam akustických signálů
předseda – T. SALAVA
- F. Psychoakustika, fyziologická akustika a akustika hudby a řeči
předseda – J. ŠTĚPÁNEK
- G. Elektroakustika
předseda – Z. KEŠNER zástupce – B. SÝKORA

Valná hromada ČsAS schvaluje:

1. zprávu o činnosti Rady za kalendářní rok 2004 a uděluje Radě absolutorium;
2. zprávu o hospodaření společnosti za kalendářní rok 2004;
3. výši členských příspěvků na rok 2005 ve shodné výši jako v roce 2004 (350 Kč pro členy, 100 Kč pro studenty a důchodce);
4. činnost Rady a odborných skupin v roce 2004;
5. odměnu hospodáři ČsAS za rok 2004 ve výši 5000 Kč.

Valná hromada ukládá nově zvolené Radě společnosti na kalendářní rok 2005:

1. pokračovat v odborné a organizační činnosti i v zahraničních kontaktech, v rozvíjení spolupráce s Českou maticí technickou, Slovenskou akustickou společností, společností Elektra, českou sekcí AES, Českým centrem IEE a československou sekcí IEEE;
2. věnovat pozornost pořádání odborných akcí a pravidelných seminářů odborných skupin;
3. nadále rozvíjet vydávání Akustických listů.

Valná hromada ukládá nově zvoleným předsedům odborných skupin na kalendářní rok 2005:

1. publikovat informace o připravovaných aktivitách skupin v Akustických listech a na webové stránce s předstihem tak, aby se zájemci mohli včas na akce přihlašovat.

Valná hromada doporučuje Radě ČsAS:

1. pravidelně se zabývat činností a plánem akcí odborných skupin;
2. pravidelně se zabývat plánem a zaměřením konaných akustických konferencí;
3. pro rozšíření členské základny společnosti uvážit možnost vydání jednoho čísla Akustických listů ročně, ve kterém by byly uvedeny anotace prací z akustiky (včetně vyžádaných anotací diplomových a disertačních prací vysokých škol). Toto číslo by mělo být rozesíláno všem známým pracovníkům v akustice (např. i bývalým členům ČsAS, účastníkům seminářů – nečlenům ČsAS atd.);

4. uvážit možnost poskytnutí finančních výhod členům společnosti, např. nižšími sazbami vložného na akcích pořádaných společností.

Výsledky voleb do Rady České akustické společnosti:

Počet vydaných platných hlasovacích lístků: 64

Odevzdáno platných hlasovacích lístků: 58

předseda: O. JIŘÍČEK 56

místopředsedové: V. KUNZL 54

J. ŠTĚPÁNEK 58

sekretář: M. BROTHÁNEK 58

hospodář: O. KUDĚJOVÁ 58

revizní komise: D. VÁPENÍKOVÁ 58

T. HELLMUTH 54

J. NOVÁK 58

Návrh usnesení sestavila návrhová komise ve složení M. Meller a P. Urban.

Pozvánka na 70. akustický seminář

Ve dnech od 16. do 19. května 2005 se bude v hotelu Opočno (www.hotel-opocno.cz) ve městě Opočně konat jubilejní 70. akustický seminář. Vítány jsou referáty ze všech oblastí akustiky. Semináře a výstavy se mohou zúčastnit i zástupci firem, které vyrábějí nebo dodávají akustické měřicí přístroje, výrobky či konstrukce pro akustiku. V průběhu semináře se uskuteční veřejná schůze odborných skupin České akustické společnosti.

Nabídky referátů nebo přihlášky k výstavě pošlete co nejdříve, nejpozději však do 4. dubna 2005. Podrobnosti, včetně šablon pro referáty, naleznete na webových stránkách České akustické společnosti.

Ondřej Jiříček

Vážení kolegové,

jak se můžete dočíst v usnesení Valné hromady otištěném v tomto čísle Akustických listů, i v letošním roce zůstávají členské příspěvky nezměněny. Pro výdělečně činné členy tedy činí 350 Kč a pro důchodce a studenty 100 Kč. Pokud jste ještě nezaplatili, proveďte prosím platbu převodem na účet společnosti. Majitel účtu je Česká akustická společnost, č. ú. 17838061/0100 Komerční banka, a. s., Praha 6. Variabilní symbol uvádějte ve tvaru XXX05, kde XXX je Vaše osobní číslo, které naleznete nad svým jménem na obálce.

Zároveň bychom rádi aktualizovali databázi e-mailových adres. Proto prosím pošlete zprávu na e-mailovou adresu brothan@fel.cvut.cz, která bude obsahovat aktuální telefonické či faxové spojení, eventuálně další informace o Vás, které se změnily.

Marek Brothánek
sekretář společnosti

Mezinárodní den boje proti hluku – International Noise Awareness Day – 24. března 2005

Jak vloni, tak i letos již podruhé v dlouholeté historii vyhlašování *Dne uvědomění si hluku* připadá tento den na zelený velikonoční čtvrtek, kdy podle křesťanské tradice zvony odletěly do Říma. Hudebně ekologické sdružení HUDEKOS při České hudební společnosti upozorňuje na nebezpečí nejnovější součásti všeobecného akustického smogu, tj. na tzv. hudební hluk. Přesto, že většina členů HUDEKOS jsou hudebníci, nebo minimálně milovníci všech druhů hudby, musí veřejnost upozornit na fakt, že hudba na nevhodném místě, v nevhodné době a zejména ve vysoké intenzitě ovlivňuje zdraví všech. Společnost HUDEKOS vydala výukové a zábavné CD pro dospívající mládež s názvem „Nebezpečný hluk“, které je za režijní cenu k dispozici na ústředí ČHS, Praha 5, Radlická 99. Plánovaná změna legislativy má zrušit těžko vybojovaný limit omezení intenzity i délky pobytu lidí na diskotékách. Naše společnost se bude snažit nejen o zachování těchto hygienických limitů, ale i o zavedení povinné přestávky mezi hlučnými vystoupeními, kdy ekvivalentní hladina akustického tlaku A přesáhne 95 dB.

Co navrhuje společnost HUDEKOS pro den 24. března?

„Uvědomit si přítomnost hudebního hluku v našem okolí, aniž bychom hudbu chtěli poslouchat, a pokusit se jako u jediného zdroje hluku tento vypnout, tj. odložit walkmany, diskmany, vypnout reproduktory v kavárnách, supermarketech a na chvíli vychutnat ticho, které léčí.“

Ing. Jan Stěnička
předseda sdružení HUDEKOS při ČHS
Radlická 99, 150 00 Praha 5
tel./fax: 224 923 006, mobil: 603 438 065
e-mail: stenicka@volny.cz

16th Electronic Speech Signal Processing and 15th Czech-German Workshop Speech Processing

Mezinárodní konference se bude konat ve dnech 26. až 28. září 2005 za podpory Hudební fakulty Akademie múšických umění v Praze, a to v jejích prostorách.

Organizaci konference zajišťuje Ústav radiotechniky a elektroniky AV ČR Praha. Spolupořadatelé konference jsou Technická univerzita v Drážďanech a Braniborská technická univerzita v Chotěbuzi. Podílí se na ní Informationstechnische Gesellschaft (ITG), Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA) a Gesellschaft für Informatik (GI). Nad konferencí převzala záštitu také Česká akustická společnost.

Hlavními tématy konference jsou např. analýza a syntéza řeči, modelování prozodie, rozpoznávání řeči a mluvčího, kódování řeči, konstrukce dialogů, použití zpracování řeči v telekomunikacích, průmyslu, multimédiích, lékařství, rehabilitaci, v informačních službách.

Na konferenci budou vítáni i zástupci firem aktivních ve zpracování signálů, řeči a hudby.

Nabídky příspěvků a firemních presentací budou přijímány od dubna. Oficiální webové stránky konference naleznete na <http://www.ias.et.tu-dresden.de/essp2005>.

Ing. Robert Vích, DrSc.
předseda vědeckého výboru konference
ÚŘE AV ČR
Chaberská 57, 182 51 Praha 8
e-mail: vich@ure.cas.cz

WORKSHOP 2005

V minulém čísle Akustických listů jsme Vás informovali o konání odborného semináře **WORKSHOP 2005**. Došlo k posunu termínu na **21. až 25. března 2005**. Kdo má zájem o tento seminář konaný v prostorách Fakulty stavební a Fakulty architektury (Tháškova 7, Praha 6), kde se formou posterů představí výsledky výzkumné činnosti vědeckých pracovníků školy v širokém spektru technických oborů, jste srdečně zváni. Zájemci z praxe zde mohou získat nejnovější informace a navázat přímé kontakty. Součástí semináře bude pracovní jednání – vyzvaná vystoupení, příspěvky z pléna a následná diskuse – zaměřené na aktuální problémy vědy, výzkumu a vývoje. Blíže informace jsou uveřejněny na webové adrese <http://workshop.cvut.cz>.

Za organizační výbor
Libor Husník

Profesor Július Puškáš sedmdesátiletý



Dlouholetý zahraniční člen České akustické společnosti a zakládající člen dřívější Československé akustické společnosti profesor Ing. Július Puškáš, CSc. se narodil 17. února 1935. Po maturitě na Gymnáziu v Rimavské Sobotě studoval na bratislavské fakultě architektury a pozemního stavitelství. V roce 1958 studia ukončil a pracoval jako projektant do roku 1962, kdy byl přijat na Stavební fakultu v Bratislavě jako odborný asistent. Zde se začal cílevědomě věnovat stavebně fyzikálním problémům navrhování konstrukcí pozemních staveb. Titul CSc. získal v roce 1970. Od té doby se kromě pedagogické činnosti na katedře stavební fyziky zaměřil na systematickou vědecko-výzkumnou činnost. Po obhájení habilitační práce „Matematický model slnečnej ožiarenosti budov“ byl v roce 1980 jmenován docentem.

Nepřetržitě po třicet let, až do odchodu do důchodu v roce 2002, přednášel na Stavební fakultě Slovenské technické univerzity v Bratislavě předmět Stavební akustika a osvětlení. Dále inicioval zavedení do učebních osnov a přednášel volitelný předmět

Urbanistická a stavební akustika na Stavební fakultě v Bratislavě a na Fakultě architektury předmět Zvuk a světlo v architektuře. V roce 1993 byl jmenován profesorem.

Je autorem a spoluautorem devíti vysokoškolských skript. Ve vysokoškolské učebnici „Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie“ (Alfa, SNTL 1985) je spoluautorem 2. části „Stavebná akustika“ a autorem 3. části „Denné osvetlenie“. Je samostatným autorem knižní publikace „Slnko v urbanizme a architektúre“ (Alfa 1992).

Těžištěm jeho vědecké a výzkumné činnosti je urbanistická a stavební akustika. Jeho zásluhou se začala na Slovensku stavební akustika systematicky rozvíjet a bratislavská stavební fakulta se stala uznávaným centrem slovenské stavební akustiky. Usiloval vždy o úzkou a oboustranně prospěšnou spolupráci s českými akustickými pracovišti, především na bývalém VÚPS (dnešní CSI) Praha. Výsledkem této spolupráce je i společné autorství knižní monografie „Znižovanie hluku v pozemných stavbách“ (Alfa, SNTL 1988) nebo organizace řady slovensko-českých stavebně akustických seminářů v Kočovcích.

Významná je jeho bohatá přednášková, publikační a posuzovatelská činnost. Vyškolicil čtyři kandidáty věd. Do roku 1990 byl dlouholetým předsedou odborné skupiny Hluk a vibrace při Slovenském komitétu životního prostředí ČSVTS, která za jeho působení aktivně spolupracovala s Českým komitétem techniky prostředí ČSVTS při přípravě a organizaci společných akustických seminářů a konferencí. Po roce 1989 působil v řadě vědeckých a odborných institucí, jako je Vědecká rada Slovenské technické univerzity, Atestační komise Ústavu stavebnictví a architektury Slovenské akademie věd, Technická normalizační komise, redakční rada Stavebníckeho časopisu SAV a jiné. Od založení Československé akustické společnosti v roce 1990 byl jejím prvním místopředsedou.

Profesor Puškáš je v české akustické komunitě uznávanou osobností a má zde mnoho přátel, kteří si ho váží jak pro jeho hluboké odborné znalosti, tak pro jeho čestnost, nekompromisní osobní postoje a odpor proti povrchnosti v odborné i společenské oblasti. Přejeme jubilantovi do dalších let hodně zdraví a duševní pohody.

Jindřich Schwarz

Jiří Weichert jubilantem

V září loňského roku se v plné svěžesti dožil věku 80 let dlouhodobý pracovník v akustice a člen ČsAS Ing. Jiří Weichert, původně zaměstnanec Spojprojektu a od r. 1975 až do r. 1990 zaměstnanec Projektového ústavu dopravních a inženýrských staveb (PÚDIS). Ve Spojprojektu se účastnil řady prací i pro zahraničí, mj. v Mongolsku, kde se stal jedním ze dvou tehdejších československých nositelů nejvyššího mongolského státního vyznamenání.

V PÚDIS se pak věnoval problematice dopravního hluku. Jeho zásluhou se podařilo předejít některým nevhodným dopravním řešením a naopak vypracovat varianty, výhodnější z hlediska ochrany prostředí před hlukem, ale i před plynnými emisemi. Zorganizoval mj. v oblasti pražského Smíchova vícedenní plošné měření dopravního hluku, při kterém byl ověřován i vliv různých organizačních opatření v dopravě na hluk v dané oblasti.

V PÚDIS založil ve svém oboru odbornou tradici, ve které jeho následovníci úspěšně pokračují.

V bývalé odborné skupině „Hluk a akustika prostředí“ při Čs. vědeckotechnické společnosti a později v Československé akustické společnosti se rovněž věnoval převážně problematice dopravního hluku. V tomto oboru zaujímal v našich zemích významné postavení, organizoval pravidelná setkání odborníků k této tematice. Pravidelně se účastnil čs. akustických konferencí a seminářů, aktivně se podílel na organizaci pravidelných přehlídek ekofilmů.

O jeho čínorodém přístupu k práci svědčí i skutečnost, že po ukončení své aktivní činnosti v PÚDIS pracoval jako důchodce řadu let ve státním archivu.

Rada ČsAS děkuje kolegovi Weichertovi za jeho letitou spolupráci a jménem svým i jménem všech svých členů mu přeje hodně sil a spokojenosti do dalších let.

Pavel Urban

Numerické aspekty simulačních výpočtů vrstevnatých dělicích prvků s volnou výplní

Vít Buchta^a a Lubomír Lapčík jr.^b

^aBedřicha Buchlovana 902, 686 05 Uherské Hradiště 5

^bÚstav fyziky a materiálového inženýrství, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, náměstí T. G. Masaryka 275, 762 72 Zlín

The article assesses various integration schemes applied to the transient analysis of a simplified model of a layered partition. Basic classification of integration methods is mentioned as well as the question of their conditional and unconditional stability. Two helper problems involving an elastic body impact are solved to estimate different method behavior and exactness. Finally, the dynamic reaction of a double leaf partition is calculated. It is found, that damping properties of the partition could be significantly improved when the core layer is released and is not closely fixed to outer sheets any more.

1. Úvod

Pojem dělicí prvek užíváme ve stavební akustice. Označujeme jím jakýkoli plochý deskový útvar, který rozděljuje okolní prostor na dvě oblasti, před prvkem a za ním. Může jít o stěny budov, stropy, vnitřní přepážky, dveře, okna apod. V prostoru před prvkem předpokládáme zdroj hluku. Zvukové vlny dopadají na dělicí prvek, z části se odrážejí, z části prvkem procházejí a jsou vyzařovány do prostoru za ním. Porovnáním akustického výkonu v obou poloprostorech dostaneme tzv. koeficient neprůzvučnosti, jímž tlumicí schopnosti prvku charakterizujeme.

Dělicí prvky často mívají vrstevnatou strukturu. Z vnější strany bývají tužší desky, uvnitř potom měkčí tlumicí výplň. V případě dveří nebo přepážek mohou být vnější desky provedeny z dřevotřísky nebo plastu, výplň tvoří např. papírová voština, pěna, vata nebo recyklovaný materiál. Z hlediska pevnosti je přirozené požadovat smykové spojení výplně s vnějšími deskami. Prvek se pak chová jako voština a vykazuje přiměřenou ohybovou tuhost. Z pohledu zvukové neprůzvučnosti však situace může být opačná. Při měření v akustických komorách se někdy sejdou téměř totožné dělicí prvky různých výrobců. Jeden prvek má tlumicí výplň přilepenou k vnějším plátům, případně napěchovanou do prostoru mezi nimi. Výrobce druhého prvku se snažil ušetřit a výplň mezi pláty jen volně vložil, nebo vnitřní prostor vyplnil tlumicím materiálem řídce. Paradoxně může výrobek spořivého výrobce vykazovat lepší výslednou neprůzvučnost.

Tomuto zlepšení neprůzvučnosti uvolněním tlumicí výplně se snažíme porozumět pomocí výpočtů na zjednodušeném modelu dělicího prvku. Model má tři stupně volnosti a je v principu lineární. To, že výplň není s deskami pevně spojena, však zabraňuje přímočarému sestavení pohybových rovnic. Jak výsledná matice tuhosti, tak matice tlumení mění svůj tvar v závislosti na tom, zda desky a výplň spolu jsou nebo nejsou v kontaktu.

Mnoho výzkumných prací popisuje řešení kontaktních úloh pomocí teorie rázu. Vycházejí z předpokladu, že

doba, po kterou jsou tělesa v kontaktu, je krátká a vzájemné působení těles lze vyjádřit vhodnou střední hodnotou kontaktní síly. Vliv vnitřního útlumu materiálu se potom zavádí pomocí koeficientu restituace. V práci [2] se např. provádí klasifikace časových průběhů kontaktní síly právě v závislosti na restitučním koeficientu. Práce [1] konstatuje, že takovýto postup může vyhovět pro rázy kovových těles, ale pracujeme-li s měkčím materiálem, je lepší časový průběh kontaktní síly stanovit výpočtem. Autoři zprávy sestavují tři sady pohybových rovnic, každou pro určitou konfiguraci dynamické soustavy. Podle druhu kontaktu pak použijí odpovídající sadu a analyticky určí průběh odezvy.

My jsme se rozhodli počítat odezvu dělicího prvku přímou numerickou integrací pohybových rovnic. Prověřili jsme dvě integrační metody: Runge-Kuttovu metodu v Nyströmově modifikaci a metodu Newmarkovu. První z nich patří mezi explicitní metody a je proto podmíněně stabilní. Newmarkova integrace je metodou implicitní. To znamená, že pro stanovení nového stavu soustavy na konci integračního kroku musíme iteračním způsobem řešit soustavu rovnic. V závislosti na volbě dvou číselných parametrů vykazuje metoda podmíněnou, nebo nepodmíněnou stabilitu.

Na jednoduchých příkladech jsme řešili dva druhy kontaktních úloh: odraz tělesa od tuhé a pružné podložky. Sledovali jsme při tom vliv délky integračního kroku na přesnost výpočtu a porovnávali výsledky získané oběma integračními metodami. Nakonec jsme spočítali odezvu vrstevnatého dělicího prvku na počáteční podmínky. Uvažovali jsme při tom jak případ, kdy je tlumicí výplň s vnějšími deskami prvku spojena, tak případ volně vložené výplně. Výpočet naznačil, že uvolnění výplně výrazně zlepšuje útlum dělicího prvku. Na druhé straně, s výjimkou odrazu pružného tělesa od tuhé podložky, jsme nezaznamenali očekávanou nadřazenost implicitní integrační metody nad explicitní.

2. Integrační metody

Integrační metody slouží pro numerické řešení rovnic následujícího typu:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} = \mathbf{f}(t). \quad (1)$$

Zde je $\mathbf{M}$ matice hmot, $\mathbf{B}$ matice tlumení, $\mathbf{K}$ matice tuhosti a $\mathbf{f}(t)$ je časově proměnný vektor vnějších sil.

Výpočet provádíme po krátkých časových úsecích, tzv. krocích. Vždy musíme znát stav systému na začátku kroku a potom určitým způsobem určíme stav na jeho konci. Mnoho metod používá krok neměnné délky h . Řešení rovnice tak dostáváme v okamžicích $h, 2h, 3h, \dots$

Integrační metody můžeme rozdělit na metody explicitní a implicitní. Explicitní metody se snaží stav systému na konci integračního kroku nějak „uhádnout“. Dají se jednoduše realizovat na počítači, jejich principiální nevýhodou je, že nezaručují splnění pohybové rovnice v novém časovém okamžiku. Proto se obecně považují za nepřesné a v komerčních systémech metody konečných prvků se s nimi obvykle nesetkáváme. Splnění pohybové rovnice na konci integračního kroku zaručují implicitní metody. Jsou numericky náročnější, protože dynamickou rovnováhu zajišťují iteracním postupem. V případě lineárních dynamických soustav existuje možnost nahradit iteraci řešením soustavy lineárních rovnic.

Jiné hledisko rozděluje integrační metody na podmíněně a nepodmíněně stabilní. Toto dělení souvisí s chováním metod při dlouhých integračních krocích. Pro každou metodu existuje určitá kritická délka integračního kroku, po jejímž překročení budou výsledky nepřesné. U podmíněně stabilní metody však překročení kritické délky znamená naprosté znehodnocení celého výpočtu. Nepodmíněně stabilní metoda sice také dá nepřesný výsledek, ale vypočtené hodnoty si udrží přiměřenou velikost. To má význam u soustav s velkým počtem stupňů volnosti. V nich se často vyskytují kmity o vysokých frekvencích, které však nesou jen malou energii a v podstatě nás nezajímají. Nepodmíněně stabilní metoda proto může pracovat s integračním krokem odpovídajícím energeticky významným pohybům a vysoké vlastní frekvence ignorovat. Podmíněně stabilní metoda musí naopak délku kroku přizpůsobit nejvyšším frekvencím, které soustava obsahuje. Explicitní integrační metody jsou vždy podmíněně stabilní.

Existuje také dělení na jednokrokové a vícekové metody. Jednokrokové metody vycházejí jen ze stavu systému na začátku integračního kroku. Vícekové metody berou navíc v úvahu stav systému v několika předchozích časových okamžicích. Mohou být velmi rychlé, ale vždy se v nich skrývají určité předpoklady o chování hledané funkce. A ty nemusejí být např. u kontaktních úloh splněny.

Typickým představitelem explicitních metod jsou Runge-Kuttovy metody. Pro integraci pohybové rovnice je vhodná Nyströмова modifikace Runge-Kuttovy me-

tody 4. řádu, viz [5]. Pohybovou rovnici nejprve vyjádříme v obecnějším tvaru

$$a = a(t, x, v), \quad (2)$$

kde a je zrychlení, t čas, x poloha a v rychlost. Potom použijeme následující vztahy:

$$k_1 = \frac{1}{2}h^2 a(t, x(t), v(t)) \quad (3)$$

$$k_2 = \frac{1}{2}h^2 a\left(t + \frac{1}{2}h, x(t) + \frac{1}{2}hv(t) + \frac{1}{4}k_1, v(t) + \frac{1}{2}k_1\right) \quad (4)$$

$$k_3 = \frac{1}{2}h^2 a\left(t + \frac{1}{2}h, x(t) + \frac{1}{2}hv(t) + \frac{1}{4}k_1, v(t) + \frac{1}{2}k_2\right) \quad (5)$$

$$k_4 = \frac{1}{2}h^2 a\left(t + h, x(t) + \frac{1}{2}hv(t) + k_3, v(t) + \frac{2}{h}k_3\right) \quad (6)$$

$$x(t + h) = x(t) + hv(t) + \frac{1}{3}(k_1 + k_2 + k_3) \quad (7)$$

$$v(t + h) = v(t) + \frac{1}{3h}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (8)$$

Prohlédneme-li si výrazy pro čtyři pomocné koeficienty a způsob, kterým je určena poloha na konci integračního kroku, vidíme, že se jedná o snahu nalézt jakousi střední hodnotu zrychlení a tu potom použít pro stanovení nové polohy a rychlosti.

Nejznámější implicitní metodou je Newmarkova metoda, viz [3]. Ta vychází z rozvoje hledané funkce do Taylorovy řady. První tři členy řady se použijí přesně, vliv čtvrtého se upraví pomocí dvou číselných koeficientů γ a β a další členy se zanedbají. Dále se zavede předpoklad, že uvnitř integračního kroku má zrychlení lineární průběh. Následně dostaneme Newmarkovu formuli:

$$a(t + h) = a(t + h, x(t + h), v(t + h)) \quad (9)$$

$$x(t + h) = x(t) + hv(t) + \left(\frac{1}{2} - \beta\right)h^2 a(t) + \beta h^2 a(t + h) \quad (10)$$

$$v(t + h) = v(t) + (1 - \gamma)ha(t) + \gamma ha(t + h) \quad (11)$$

Všimněme si, že pro výpočet zrychlení v novém časovém okamžiku potřebujeme znát novou polohu a rychlost, ty jsou ale funkcí hledaného zrychlení. Obecně je Newmarkova formule řešitelná iteracním postupem. V případě lineární dynamické soustavy lze použít Wilsonovu metodu, která nahrazuje iteraci řešením soustavy lineárních rovnic.

Číselné parametry γ a β zavedené Newmarkem ovlivňují chování metody tak výrazně, že některé jejich kombinace dostaly zvláštní názvy. Viz tabulku 1.

U centrální difference se doporučuje, aby integrační krok nepřekročil jednu třetinu periody nejrychlejšího vlastního tvaru studované soustavy. Lineární akcelerace by měla snést kroky až do poloviny nejkratší periody.

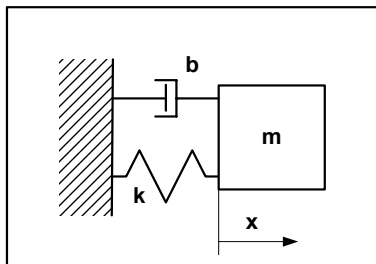
Metoda	γ	β	Stabilita
Centrální difference	1/2	0	Podmíněná
Lineární akcelerace	1/2	1/6	Podmíněná
Střední akcelerace	1/2	1/4	Nepodmíněná

Tabulka 1: Vybrané varianty Newmarkovy metody

Newmarkova formule představuje soustavu nelineárních rovnic. Řešení této soustavy minimalizuje rozdíl mezi levou a pravou stranou soustavy. Proto jsme předpokládali, že neznámý vektor zrychlení budeme schopni nalézt některou z minimalizačních metod. Ačkoli kniha [5] před takovým postupem výslovně varuje, nám se osvědčil. Nezaznamenali jsme žádnou tendenci k zastavení minimalizace v některém z četných lokálních minim, jak zmíněná kniha předpovídá. Naopak, zdá se, že odchylka od dynamické rovnováhy jako funkce hledaného vektoru zrychlení má při použití rozumného integračního kroku charakter funkce s jediným minimem, v němž nabývá nulovou hodnotu.

3. Dynamická odezva jednoduchých soustav

Přesnost numerického výpočtu jsme nejprve prověřovali výpočtem odezvy soustavy s jedním stupněm volnosti na počáteční rychlost. Viz obrázek 1.



Obrázek 1: Dynamická soustava s jedním stupněm volnosti

Parametry soustavy a počáteční rychlost zvolenou pro výpočet uvádí tabulka 2.

m	1 kg	T	1 s
b	1 N/(m/s)	T_f	1,003 s
k	$4\pi^2$ N/m	v_0	6 m/s

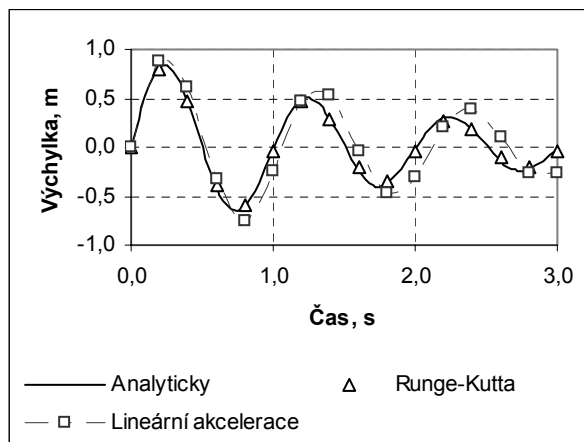
Tabulka 2: Parametry dynamické soustavy

Časový průběh výchylky lze v tomto případě vyjádřit následujícím výrazem

$$x(t) = \frac{3}{\pi} e^{-t/2} \sin\left(\frac{0,997}{2\pi} t\right) \quad [\text{m}]. \quad (12)$$

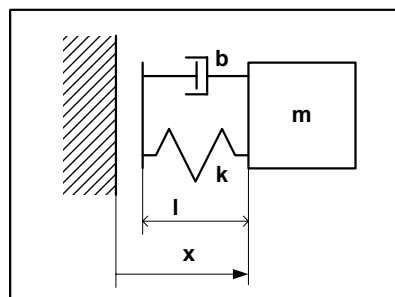
Obrázek 2 porovnává průběh analytického řešení s výsledky numerické integrace. Délku integračního kroku jsme

nastavili na 1/5 periody volných kmitů. Vidíme, že explicitní Runge-Kuttova metoda dává v tomto případě přesnější výsledek než implicitní metoda lineární akcelerace. Vysvětlujeme si to tím, že Runge-Kuttova metoda bere v úvahu hodnotu akcelerace na začátku, v jedné polovině a na konci integračního kroku, zatímco metoda lineární akcelerace se zaměřuje jen na koncový bod.



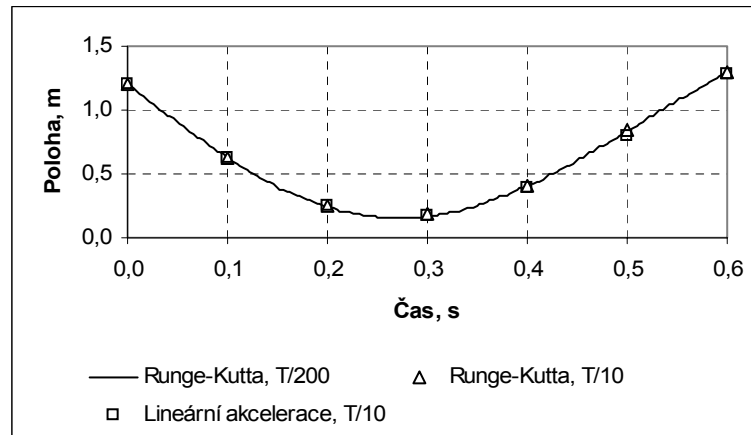
Obrázek 2: Časový průběh výchylky při různých způsobech integrace

Jako další úlohu jsme řešili dopad pružného tělesa na pevnou podložku a jeho následný odraz. Model pro výpočet uvádí obrázek 3. Parametry tělesa odpovídají předchozí úloze, přibyla pouze délka pružného členu l , již jsme přisoudili hodnotu 1 m. Počáteční rychlost je nyní záporná, $v_0 = -6$ m/s. Výchozí polohu tělesa jsme zvolili $x_0 = 1,2$ m. Ke kontaktu s podložkou dojde v poloze $x = l = 1$ m.



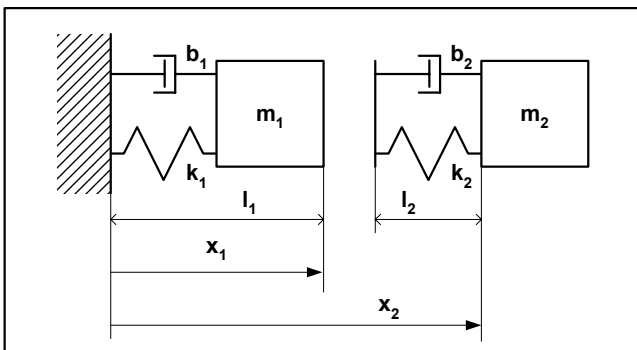
Obrázek 3: Model soustavy pro kontaktní úlohu s jedním stupněm volnosti

Jako referenční výpočet jsme použili Runge-Kuttovu metodu s jemným krokem. Pro srovnání jsme pak počítali touž metodou s krokem 1/10 vlastní periody a podobně metodou lineární akcelerace. Ukázalo se, že za těchto podmínek dávají všechny postupy prakticky shodné výsledky. Je to zajímavé, protože ke spojení a rozpojení kontaktu dojde v případě hrubého kroku vždy uvnitř kroku výpočtu. Výsledek výpočtu přináší obrázek 4.



Obrázek 4: Odraz tělesa od pevné podložky

Posledním výpočtem úvodní série byl odraz tělesa od pružné podložky. Tuhost podložky jsme však zvolili velmi vysokou a očekávali jsme, že výsledky se budou blížit předchozí úloze, to je odrazu od tuhé podložky. Nejde však o totožné úlohy. Vysoká tuhost přináší vysokou vlastní frekvenci a ta si v případě podmíněně stabilní integrační metody vynucuje krátký integrační krok. Nepodmíněně stabilní metoda naopak dá přijatelný výsledek i pro relativně dlouhé kroky.



Obrázek 5: Model pro úlohu odrazu tělesa od pružné podložky

Parametry tělesa 2 odpovídají předchozí úloze. Těleso 1, představující podložku, se s tělesem 2 shoduje v hmotnosti m a koeficientu tlumení b , jeho tuhost jsme volili $k_1 = 40k_2$. Počáteční polohy jsou $x_1 = 1$ m, $x_2 = 2,2$ m. Těleso 1 je na počátku v klidu, počáteční rychlost tělesa 2 je -6 m/s. Perioda vlastních netlumených kmitů tělesa 1 je $T_1 \sim 0,158$ s, tedy o něco méně než $1/6 T_2$.

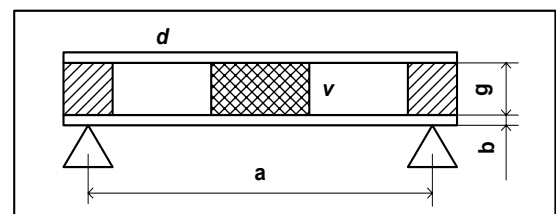
Opět jsme porovnávali Runge-Kuttovu metodu s jemným krokem, Runge-Kuttovu metodu s krokem $1/10$ vlastní periody tělesa 2 a Newmarkovu metodu s tímž hrubým krokem, tentokrát ve variantě střední akcelerace. Obrázek 7 ukazuje výsledek. Délka integračního $1/10 T_2$ překročila u Runge-Kuttovy metody kritickou hranici a výpočet přestal být stabilní. Kdybychom počítali dále, za-

znamenal bychom divoké oscilace, a to paradoxně i u tělesa 1, které se díky své vysoké tuhosti ve skutečnosti odchýlí od své rovnovážné polohy jen nepatrně. Metoda střední akcelerace je nepodmíněně stabilní a dráhu tělesa 2 vypočte správně. Pohyb tělesa 1 je samozřejmě určen chybně, ale velikost vypočtené výchylky při tom zůstává ve správném rozmezí.

Úloha demonstruje nadřazenost nepodmíněně stabilní integrační metody. Závěr, s nímž se lze v literatuře setkat, totiž že explicitní metody, jež z principu vykazují pouze podmíněnou stabilitu, jsou méněcenné a neměly by se používat, by však byl unáhlený. Nestabilitu v našem případě vyvolala přítomnost velmi tuhého členu. Jeho výchylky jsou však tak malé, že bychom mohli zmenšit rozsah úlohy a polohu tuhého elementu fixovat. A pokud nás zajímá pohyb všech členů, pak hrubý integrační krok u nepodmíněně stabilní metody stejně k přesnému výsledku nevede. Přiznáváme ovšem, že tato úvaha má smysl jen u úloh menšího rozsahu.

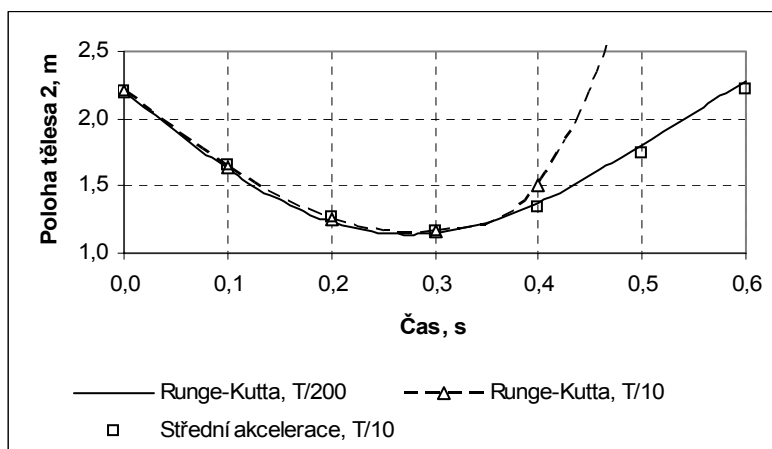
4. Simulace odezvy dělicího prvku

Na obrázku 6 vidíme zjednodušený řez vrstevnatým dělicím prvkem. Prvek chápeme jako nosník pracující na ohyb. Desky d představují vnější pláty prvku, blok v odpovídá tlumicí výplni, a je rozpětí nosníku, b tloušťka desek a g tloušťka výplně.

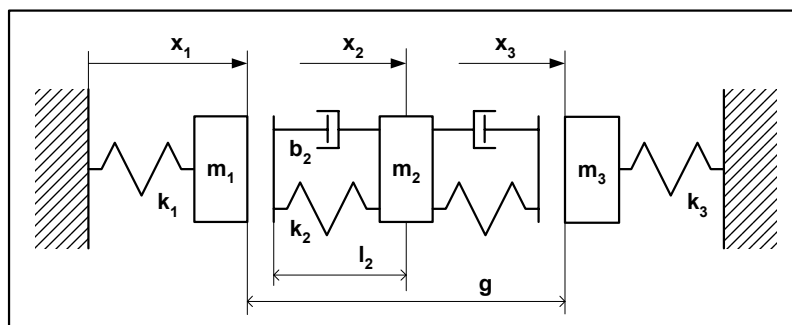


Obrázek 6: Schematizace vrstevnatého dělicího prvku

Smykové spojení mezi výplní a deskami nepředpokládáme. Zatížíme-li prvek v polovině rozpětí, budou vnější



Obrázek 7: Odraz tělesa od podložky s vysokou tuhostí. Runge-Kuttova metoda s hrubým krokem selhává



Obrázek 8: Dynamický model dělicího prvku s volnou výplní

desky namáhány ohybem a výplň tlakem. Obrázek 8 uvádí model dělicího prvku pro dynamický výpočet. Tuhosti k_1 a k_3 odpovídají ohybovým tuhostem vnějších desek, m_1 a m_3 jsou jejich hmotnosti, k_2 vyjadřuje tuhost jedné poloviny výplně v tahu a tlaku. Útlum uvažujeme jen u výplně a zadáváme jej koeficientem viskózního tření b .

Počítali jsme se dvěma variantami dělicího prvku. V první variantě jsme předpokládali pevné spojení výplně s deskami. Druhá varianta uvažovala kontaktní vazbu, při níž se deska spojila s výplní jen tehdy, byla-li výplň vystavena tlaku. Jinými slovy, vazba mezi deskou 1 a výplní se objeví v případě, že $x_2 - x_1 < l_2$, podobně v případě desky 2. Výšku výplně jsme volili $g = 2l_2$. To znamená, že v klidovém stavu není mezi výplní a deskami šterbina. Jako počáteční podmínku jsme použili rychlost výplně $v_0 = 6 \text{ m/s}$.

Obrázek 9 zobrazuje časový průběh rychlosti výplně pro případ pevného spojení výplně s deskami a pro volně vloženou výplň. Vidíme, že při pevném spojení soustava rychle přejde do ustáleného kmitání, jehož amplituda si udržuje téměř konstantní hodnotu. Důvod spočívá ve tvaru prvního vlastního módu kmitání. Při něm se obě vnější desky dělicího prvku pohybují ve fázi, deformace výplně zůstává konstantní a její tlumicí potenciál zůstává nevyužit. Při uvolnění výplně k takovému sfázování nedojde, výplň se

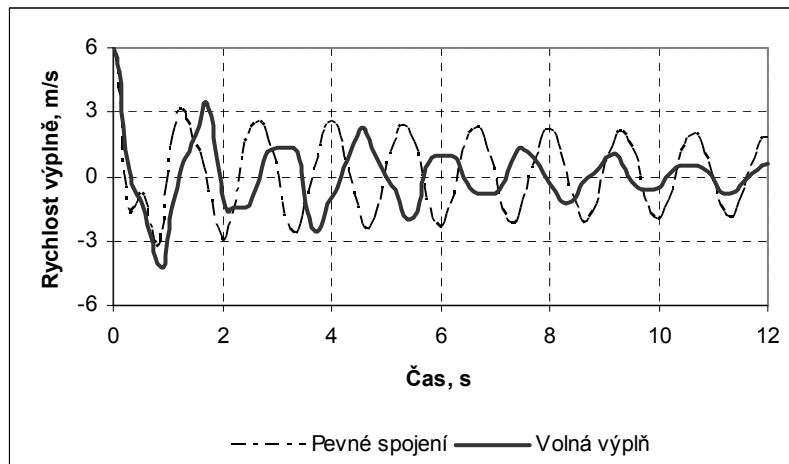
pohybuje nepravidelně, dostává se do kontaktu s vnějšími deskami, deformuje se, a při tom a rozptyluje mechanickou energii.

Důkladnější studium tohoto jevu bude vyžadovat zavedení vhodné míry útlumu soustavy. Některé práce používají pro tento účel odmocninu ze střední hodnoty čtverce rychlosti. Nám se zdá vhodnější pracovat se střední hodnotou ztrátového výkonu, případně podílem energie rozptýlené ku celkové střední energii soustavy. Tyto veličiny lze snáze použít u nucených kmitů. Bylo by také zajímavé sledovat frekvenční obraz vyvolaných kmitů, který by měl být výrazně ovlivněn nepravidelností v pohybu výplně.

5. Závěr

Zabývali jsme se otázkou přesnosti numerického výpočtu dynamické odezvy vrstevnatého dělicího prvku s volnou výplní. Nejprve jsme porovnávali výsledky získané různými integračními metodami při výpočtech lineárních dynamických soustav s jedním a dvěma stupni volnosti. Vyšlo nám, že Runge-Kuttova metoda v Nyströmově modifikaci, kterou jsme používali jako představitel explicitních metod, počítá v takových případech přesněji a je také rychlejší než implicitní metoda Newmarkova.

Newmarkova integrace vyžaduje řešit v každém kroku soustavu nelineárních rovnic. Osvědčil se nám postup, při



Obrázek 9: Průběh rychlosti výplně pro dvě varianty dělicího prvku: výplň spojená s vnějšími deskami a volně vložená výplň

němž jsme řešení soustavy hledali numerickou minimalizací rozdílu mezi levou a pravou stranou. Navzdory tomu, že učebnice numerických metod varují před nebezpečím výskytu většího počtu lokálních minim, my jsme podobné problémy nezaregistrovali.

Vyšší přesnost Runge-Kuttovy metody jsme registrovali i u kontaktní úlohy dopadu tělesa na pružnou podložku. Když jsme však zvýšením tuhosti podložky dosáhli toho, že se v dynamické soustavě objevil tvar kmitání s vysokou vlastní frekvencí, bylo již bezpečnější použít nepodmíněně stabilní metodu střední akcelerace.

Touto metodou jsme nakonec počítali odezvu jednoduchého modelu vrstevnatého dělicího prvku. Pracovali jsme se dvěma variantami modelu: pevná a volná výplň. Prosté srovnání výsledků nás přivedlo k přesvědčení, že uvolnění výplně může výrazně zlepšit tlumicí vlastnosti takových prvků.

Otevřenou otázkou zůstává zavedení veličiny, která by byla mírou útlumu soustav s kontaktními členy. Zajímavé by bylo porovnání frekvenčního obsahu odezvy obou variant dělicího prvku. Další úsilí bychom také rádi zaměřili na výpočty nucených kmitů a nalezení frekvenčních charakteristik.

Reference

- [1] Cheng, C. C., Wang, J. Y.: Free vibration analysis of a resilient impact damper, *International Journal of Mechanical Sciences*, 45, 589–604, 2003.
- [2] Rajalingham, C., Rakheja, S.: Analysis of impact force variation during collision of two bodies using a single-degree-of-freedom system model, *Journal of Sound and Vibrations*, 229(4), 823–835, 2000.
- [3] Bathe, K.-J.: *Finite Elements Procedures*, Prentice-Hall, 1996.
- [4] Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P.: *Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computing*, Second Edition, Cambridge University Press, 1992.
- [5] Rektorys, K.: *Přehled užití matematiky*, třetí vydání, SNTL, 1973.

Akustické listy: ročník 11, číslo 1 březen 2005

ISSN: 1212-4702

Vydavatel: Česká akustická společnost, Technická 2, 166 27 Praha 6

Vytisklo: Ediční středisko ČVUT

Počet stran: 16

Počet výtisků: 200

Redakční rada: M. Brothánek, O. Jiříček, J. Kozák, R. Čmejla, F. Kadlec, J. Štěpánek, P. Urban

Jazyková úprava: R. Štěchová

Uzávěrka příštího čísla Akustických listů je 27. května 2005.

© ČsAS
NEPRODEJNÉ!