

Definice vnitřních zisků jako okrajových podmínek pro energetickou simulaci administrativních budov

Citation for published version (APA):

Duska, M., Drkal, F., & Hensen, J. L. M. (2006). Definice vnitřních zisků jako okrajových podmínek pro energetickou simulaci administrativních budov. In *Proc. 4th national IBPSA-CZ conference Simulace Budov a Techniky Prostředí, Praha, November 2006, International Building Performance Simulation Association - Czech Republic, Prague* (pp. 6-CD.)

Document status and date:

Published: 01/01/2006

Document Version:

Accepted manuscript including changes made at the peer-review stage

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.



DEFINICE VNITŘNÍCH ZISKŮ JAKO OKRAJOVÝCH PODMÍNEK PRO ENERGETICKOU SIMULACI ADMINISTRATIVNÍCH BUDOV

Michal Duška¹, František Drkal¹, Jan Hensen²

¹Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze

e-mail: michal.duska@fs.cvut.cz

²Building Physics & Systems, Technische Universiteit Eindhoven

www.bwk.tue.nl/bps/hensen

ABSTRAKT

Článek zdůrazňuje význam volby vhodných okrajových podmínek pro správnost energetických simulačních výpočtů. Okrajové podmínky musí být vázány na účel, pro který se simulační výpočty provádí. Je předložen teoretický rozbor, metodologie a výsledky výpočtu různých okrajových podmínek stanovených z tepelných zisků počítačů a monitorů využívaných pro administrativní práci. Jsou identifikovány klíčové parametry pro volbu typu okrajových podmínek - počet zařízení, která se na vnitřních tepelných ziscích podílí, a obecně známý rozdíl mezi statistickým a extrémním průběhem tepelných zisků (pro počítače velmi výrazný). Prezentovaná metodologie výpočtu různých typů okrajových podmínek se opírá o teorii chyb a statistickou analýzu. Tyto nástroje jsou důležité pro stanovení relevantních okrajových podmínek.

ÚVOD

Energetické simulační výpočty jsou účinným nástrojem využívaným při řešení mnoha komplexních problémů. Od prvních pokusů o detailní energetickou analýzu budov a jejich systémů, vyvolaných ropnou krizí v 70. letech, prošly energetické simulace velkým vývojem, především v oblasti hledání vhodných matematických modelů pro popis fyzikální reality a v oblasti komplexní validace těchto nástrojů, zahrnující analytickou verifikaci, srovnávací analýzu a experimentální validaci [1]. Současně také byly hledány vhodné okrajové podmínky; toto úsilí se soustředilo především na definici venkovních klimatických podmínek [2]. V nedávné době byl ukončen výzkum zaměřený na ucelení současných poznatků o vnitřních okrajových podmínkách v podobě faktoru současnosti světla a zařízení [3].

Přestože simulační energetické výpočty představují komplexní výpočetní nástroj, stále platí, že vzhledem k použitým matematickým modelům (platným pro zjednodušenou fyzikální realitu) v rámci daného simulačního programu a dostupným okrajovým podmínkám, lze přesné a správné výsledky očekávat pouze pro určitou oblast problémů. Použití přesných a správných okrajových podmínek je pouze nutná nikoli postačující podmínka pro získání přesných a správných výsledků.

Uvědomění si této skutečnosti je klíčové pro správnou aplikaci simulačních energetických výpočtů.

V článku je věnována pozornost definici okrajových podmínek tepelných zisků ze zařízení v administrativních budovách, konkrétně tepelných zisků od počítačů a monitorů. Nejprve je prezentována stručná sumarizace dosavadních poznatků, dále jsou popsány výsledky měření tepelných zisků z těchto zařízení, na jejichž základě je předložena rozvaha o metodice stanovení okrajových podmínek pro různé typy energetických simulačních výpočtů. Tato úvaha má ovšem obecnější platnost.

Informace o tepelných ziscích vybavení administrativních budov, které jsou k dispozici, můžeme rozdělit do dvou skupin. První jsou údaje založené na laboratorních experimentech. Z nich jednoznačně vyplývá, že pro zjištění skutečného příkonu zařízení nelze použít štitkový výkon udávaný výrobcem, ani žádný výpočet na tomto údaji založený, ale musí být provedeno měření [4]. Mezi další důležité informace o tepelných ziscích v administrativních budovách patří metodika měření [5], měření radiační a konvekční složky [6] a jejich ovlivnění změnou podmínek vnitřního prostředí [7]. Podrobný přehled a analýza citovaných a dalších publikací byly předloženy v [8].

Klíčová práce zabývající se stanovením profilu tepelných zisků byla provedena v rámci výzkumného projektu ASHRAE RP-1093 „Compilation of Diversity Factors and Schedules for Energy and Cooling Load Calculations“. Studie obsahuje podrobnou rešerši prací na téma profilů vnitřních tepelných zisků [9]. Převážná část prezentovaných profilů byla stanovena měřením příkonu zařízení pro celé budovy, z něhož byly odvozeny profily jednotlivých zařízení (k dispozici nebylo monitorování jednotlivých zařízení). Přehled metodik takového vyhodnocení obsahuje práce [9]. Profil tepelných zisků byl převážně uváděn v podobě faktorů současnosti definovaných jako poměr sumy aktuálního příkonu skupiny zařízení a sumy maxima výkonu těchto zařízení.

Okrajové podmínky vyjadřující tepelné zisky z počítačů a monitorů předložené v tomto článku byly vytvořeny z dat získaných měření v administrativní budově firmy Škoda Auto Mladá Boleslav. Měření probíhalo od srpna do prosince roku 2004. Bylo

změřeno téměř 200 zařízení v týdenních cyklech. Příkon zařízení byl měřen v třiminutových intervalech. Tento interval byl definován [5] jako relevantní časová integrační konstanta pro stanovení maximálního tepelného zisku ze zařízení.

TEORIE

Vytvoření a následná aplikace okrajových podmínek závisí na účelu, pro který se energetický simulační výpočet provádí. Ve srovnání s problematikou klimatu, kde je klíčovým problémem stanovení nejpravděpodobnějšího průběhu počasí (pro výpočet potřeby energie), nebo naopak extrémní či extrému blízké počasí (pro návrh výkonů zařízení), je stanovení okrajových podmínek tepelných zisků ze zařízení komplikováno dalším parametrem. Tím je počet zařízení, která se na tepelném zisku podílí. Okrajové podmínky vytvořené z průběhu tepelných zisků jednoho statisticky nejpravděpodobnějšího zařízení by v sobě neobsahovaly informaci o chování méně charakteristických zařízení, která se však ve velkém souboru nutně musí vyskytovat.

Volbu typu okrajových podmínek je tedy nutné rozdělit na případy, kdy se na výsledku výpočtu podílí omezený počet zařízení (energetická bilance zóny), a na případy, kde se na tepelné bilanci podílí velké množství zařízení (energetická bilance celého objektu). Pro energetickou bilanci zóny, kdy hledaným výsledkem mohou být parametry tepelného komfortu nebo výkonové parametry klimatizačního zařízení, bude rozhodující nalézt okrajové podmínky vycházející z chování jednoho zařízení, ať typického, nebo extrémního; v tomto případě bude použita statistická analýza naměřených dat. Okrajové podmínky pro energetickou bilanci objektu však musí být založeny na aplikaci odlišné teorie. Cílem bude nalézt takovou okrajovou podmínku, aby vyjadřovala spolupůsobení všech měřených zařízení a to pokud možno s takovou přesností, aby výsledek měl obecnou platnost a nebyl závislý na počtu měřených zařízení. Pro tento typ vyhodnocení bude nutné aplikovat poznatky z teorie chyb.

V rámci předloženého článku není možné uvést ucelený přehled použitého matematického aparátu, nebo poskytnout důkazy k jednotlivým tvrzením z něho vycházející. Důraz bude kladen na aplikaci základních principů; v případě, že půjde o ne příliš známou metodu, bude uveden její zdroj.

Jak bylo řečeno v úvodu, v literatuře se setkáváme s okrajovými podmínkami vyjádřenými časově proměnnými faktory současnosti. Jde o časovou závislost podílu aktuálního tepelného zisku souboru zařízení a sumy maximálních zisků jednotlivých zařízení v souboru. Okrajové podmínky se pak získávají násobením této časové řady faktorů současnosti maximálním výkonem všech zařízení uvažovaných v simulaci. Jde tedy o okrajové podmínky vhodné pro energetickou bilanci celého objektu. Tento postup vede k vyššímu vlivu zařízení s velkým výkonem na výslednou současnost, na úkor

málo výkonných zařízení. Vzhledem ke skutečnosti, že tento postup slouží k vytvoření souhrnné současnosti tepelných zisků ze všech zařízení bez důrazu na znalost současnosti jednotlivých zařízení, je možné jej použít.

V textu je zavedena následující terminologie:

- *druh zařízení* – například počítač, nebo monitor;
- *typ zařízení* – skupina zařízení, výrobcem definované typové sestavy, složené ze stejných komponentů (např. LCD monitor HP1825);
- *profil tepelných zisků* – časová závislost tepelných zisků ve zvoleném časovém intervalu.

Teorie chyb

Chceme-li vytvořit profil jednoho druhu zařízení (například počítačů), vzniká otázka, zda nebude vhodnější aplikovat postup odlišný od výše popsaného. Aby bylo možné vytvořit společný profil tepelných zisků pro jeden druh, vytvoříme ze skutečných tepelných zisků jednotlivých zařízení (získaných měřeními) relativní profil. To je podíl skutečných tepelných zisků a tepelného zisku, který by dané zařízení charakterizoval (např. maximální výkon zařízení). Z těchto relativních profilů jednotlivých zařízení je potom vytvořen střední profil. Tento postup by umožnil stanovit profil pro celý druh zařízení, tedy společný pro různé typy. Tento profil tepelných zisků budeme v dalším textu nazývat charakteristický.

Tento přístup umožňuje vytvořit umělou časovou řadu faktorů současnosti zohledňující chování všech vyhodnocených zařízení a současně stanovit její nejistotu. Tato nejistota zahrnuje jak nejistotu samotného měření tak nejistotu, se kterou byla střední hodnota nalezena. To je interval, kde se s definovanou pravděpodobností budou nacházet všechny střední hodnoty určené na základě jiných měření, majících stejnou pravděpodobnost výskytu tepelných zisků jednotlivých zařízení.

Statistika

Pomocí vhodné statistické metody je na základě zvolených parametrů vybrán ze souboru tepelných zisků jednoho typu nejpravděpodobnější tepelný zisk, nebo extrémní či extrému blízké zisky (podle účelu, pro který budou okrajové podmínky použity). Statistickými parametry mohou být tepelný zisk, začátek, konec, nebo doba, po kterou je zařízení v provozu atd. Nevýhodou této metody je, že výběr tepelných zisků jednoho statisticky pravděpodobného zařízení je možné provést pouze v rámci jednoho typu. Nelze očekávat, že by se podařilo nalézt postup, který by umožnil zobecnit nalezené tepelné zisky pro daný typ zařízení na charakteristický profil pro daný druh zařízení, jak tomu bylo u předchozí metody.

POUŽITÉ METODY

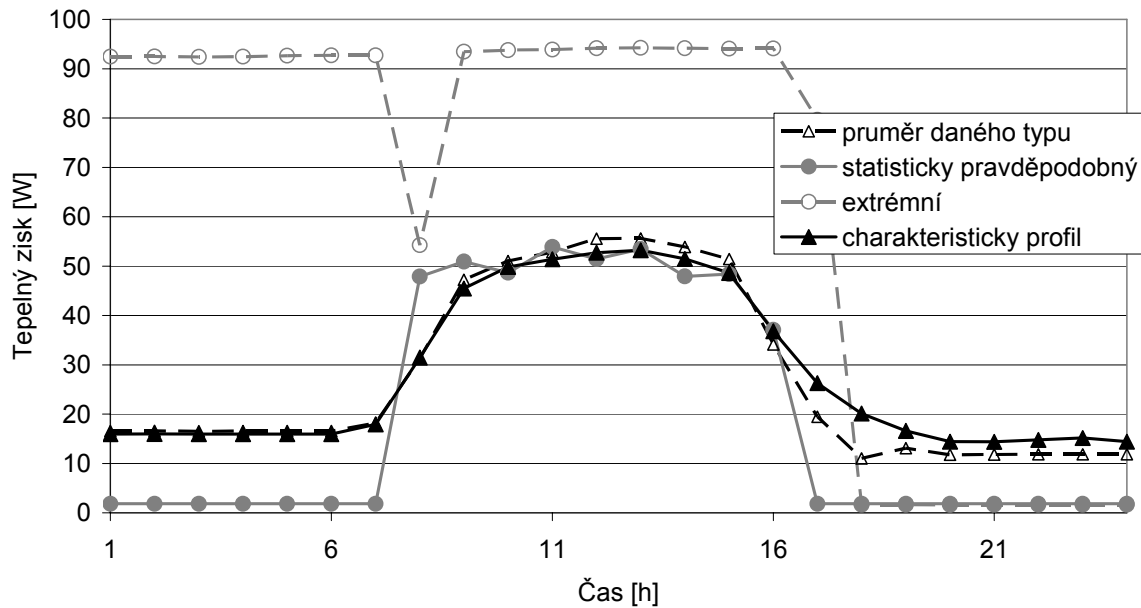
Vyhodnocení experimentálních údajů bylo provedeno s časovým krokem jedna hodina, pro každý pracovní den samostatně tak, aby vznikl výsledný týdenní profil tepelných zisků.

Aplikace teorie chyb

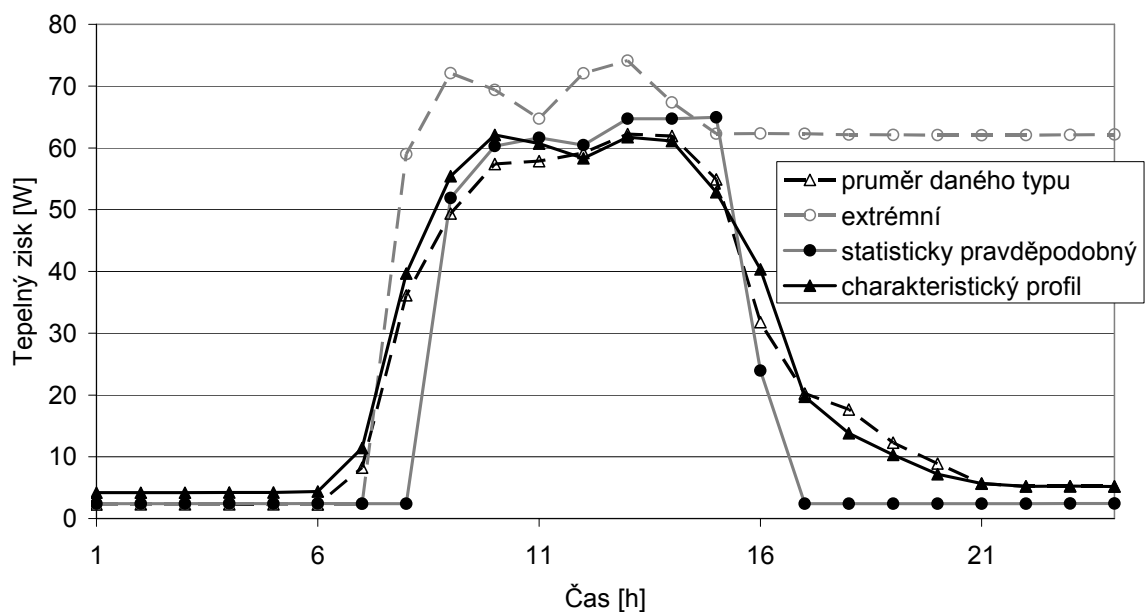
Z profilu tepelných zisků jednotlivých zařízení byl pro každý typ vypočten profil středních hodnot. Relativní profil tepelných zisků pro jednotlivé typy byl vypočten dělením řady středních hodnot reprezentativním výkonem pro daný typ. Jako reprezentativní výkon pro daný typ byl použit nejnižší provozní výkon. Volba vhodného

reprezentativního tepelného zisku pro vytvoření relativního profilu byla podrobena analýze v článku [10]. Z relativních profilů pro jednotlivé typy zařízení byl vypočten charakteristický profil daného druhu zařízení jako vážený průměr přes počet zařízení daných typů. Tento postup vedl k stanovení charakteristických profilů – příklady jsou znázorněny na obr. 1 a 2.

Výpočet nejistoty tohoto charakteristického profilu spolu s testováním nevhodnějšího reprezentativního výkonu je předmětem současného výzkumu a metodika ani výsledky nejsou v tomto článku prezentovány.



Obr. 1 – Denní profily tepelných zisků pro počítač COMPAQ Evo D5DP1,520j2128cG



Obr. 2 – Denní profily tepelných zisků pro monitor COMPAQ S720

Aplikace statistiky

Aby bylo možné provést kvalitativní srovnání s předchozí metodou (přestože konečná data nejsou k dispozici), byl proveden výběr zařízení, které by bylo možné považovat za statisticky pravděpodobné.

Výběr byl proveden v souladu s Finkelstein-Schaferovou statistikou [11], pouze byl nahrazen rozdílem distribučních funkcí statistického parametru rozdílem průměru parametru a jeho hodnotou. Jako statistický parametr pro předběžné vyhodnocení byl zvolen pouze tepelný zisk od zařízení.

Vyhodnocení je prováděno v rámci jednoho typu zařízení, přičemž je hledán pravděpodobný výkon zařízení pro každý den zvlášť. Tato část práce je předmětem současného výzkumu a proto metodika ani výsledný výběr není v současné době k dispozici.

VÝSLEDKY

Výsledky jsou prezentovány formou grafu pro jeden typ počítače (obr. 1) a monitoru (obr. 2) a jeden pracovní den. Pro monitor je to pondělí a pro počítač úterý. Výběr dnů a typů zařízení byl proveden náhodně a slouží jako ilustrace možných výsledků. V grafech je ukázán výsledný charakteristický profil pro daný druh zařízení vynásobený zvolenou reprezentativní hodnotou pro daný typ (pro počítač 40 W, pro monitor 60 W) a dále průměrný tepelný zisk od daného typu. Z předběžné statistické analýzy byl vybrán nejpravděpodobnější a extrémní tepelný zisk.

DISKUSE

Z výsledků (obr. 1 a obr. 2) je zřejmá velmi dobrá shoda mezi charakteristickým profilem (zohledňující tepelné zisky všech typů zařízení daného druhu) vynásobená reprezentativním výkonem pro zvolený typ, v porovnání s průměrným profilem zvoleného typu (vypočteným z naměřených hodnot). Lze říci, že předpoklad o možnosti sjednotit tepelné zisky v rámci jednoho druhu vytvořením relativního profilu je správný. Metodika pro výpočet tohoto druhu okrajových podmínek, založená na teorii chyb, je vhodná pro případy, kdy je hledán výsledek energetického simulačního výpočtu ovlivněn velkým množstvím zařízení.

Tepelný zisk nejpravděpodobnějšího zařízení je ve velmi dobré shodě s charakteristickým profilem v pracovní době. V čase, kdy narůstá vliv individuálního využívání zařízení (například vlivem doby příchodu a odchodu z pracoviště), narůstá rozdíl mezi charakteristickým profilem a profilem pravděpodobným, což je plně v souladu s teorií. V této oblasti je nárůst a pokles výkonu pravděpodobného profilu výrazně strmější (téměř skoková změna), než je tomu u profilu charakteristického. Velký rozdíl mezi těmito profily je v době, kdy zařízení nejsou přímo využívána k práci (období zcela mimo pracovní dobu). Tepelný zisk dle charakteristického profilu je výrazně vyšší

v důsledku skutečnosti, že některé počítače nepřecházejí do úsporného režimu.

Pro určité případy by snad bylo možné nahradit pravděpodobný profil profilem charakteristickým. Záměna profilu extrémního profilem pravděpodobným je zcela vyloučena, je-li hledaným výsledkem simulace energetická bilance pro extrémní okrajové podmínky zóny. Rozdíl mezi pravděpodobným a extrémním výkonem nelze především u počítače zanedbat. Extrémní tepelný zisk je v pracovní době téměř dvojnásobný oproti výkonu pravděpodobného zařízení, v mimopracovní době je rozdíl ještě vyšší. Pro monitor není nárůst tepelného zisku v pracovní době tak dramatický, ale i u tohoto druhu zařízení se vyskytují případy, kdy zařízení nepřecházejí po skončení aktivní práce do úsporného režimu.

Na základě výše uvedených skutečností je nutné pro simulace, kde se na výsledku podílí omezený počet zařízení, doporučit okrajové podmínky stanovené na základě statistické analýzy - profil pravděpodobný a profil extrémní. A to s ohledem na skutečnost, zda hledáme extrémní či pravděpodobné okrajové podmínky.

Prezentované profily byly stanoveny pro administrativní práci. Je možné, že pro jiný druh práce by se mohly lišit.

ZÁVĚR

Předložený příspěvek je zaměřen především na návrh možných metod pro stanovení okrajových podmínek popisujících tepelné zisky od elektronických zařízení. Na výsledcích měření v administrativní budově je ukázáno praktické uplatnění navržených metod.

Z předloženého teoretického rozboru i výsledků výpočtů okrajových podmínek v podobě tepelných zisků z počítačů a monitorů vyplývá, že volba správných okrajových podmínek je velmi důležitá. Bez správných okrajových podmínek není možné očekávat relevantní výsledky energetických simulačních výpočtů.

Klíčovým parametrem při stanovení tepelných zisků zóny je rozhodující počet zařízení jednoho druhu. Při velkém počtu zařízení je vhodné pracovat s charakteristickými profily, při malém počtu zařízení s profily stanovenými statistikou.

PODĚKOVÁNÍ

Tato studie je součástí výzkumného záměru MSM 6840770011 Technika životního prostředí.

LITERATURA

- [1] Bloomfield, D. P. An overview of validation methods for energy and environmental software. *ASHRAE Transactions* 105 (2): 685-693, 1999.
- [2] Crawley, B. D. Which weather data should you use for energy simulations of commercial buildings? *ASHRAE Transactions* 104: 498-515, 1998.

- [3] Abushakra, B., Haberl, J. S., and Claridge, D.E. Overview of Existing Literature on Diversity Factors and Schedules for Energy and Cooling Load Calculations (RP-1093). *ASHRAE Transactions* 110 (1): 164-176, 2004.
- [4] Wilkins, C. K., Hosni, M. H. Heat gain from office equipment. *ASHRAE Journal* 42 (6): 33-43, 2000.
- [5] Hosni, M. H., Jones, B. W., Hanming Xu. Experimental results for heat gain and radiant/convective split from equipment in buildings. *ASHRAE Transactions* 105 (2): 527-539, 1999.
- [6] Jones, B. W., Hosni, M. H., Sipes, J. M. Measurement of radiant heat gain from office equipment using a scanning radiometer / Discussion. *ASHRAE Transactions* 104 (1B): 1775-1783, 1998.
- [7] Hosni, M. H., Jones, B. W., Sipes, J. M., Hanming Xu. Total heat gain and the split between radiant and convective heat gain from office and laboratory equipment in buildings. *ASHRAE Transactions* 104 (1A): 356, 1998.
- [8] Duška, M., Drkal, F., Lain, M. Tepelné zisky z vnitřních vybavení administrativních budov. Vytápění větrání instalace 4: 2004.
- [9] Abushakra, B., Haberl, J. S., and Claridge, D. E. Overview of Existing Literature on Diversity Factors and Schedules for Energy and Cooling Load Calculations (RP-1093). *ASHRAE Transactions* 110 (1): 164-176, 2004.
- [10] Duška, M., Drkal, F., Hensen, J., Lain, M. Dynamics of thermal gains from office equipments *Buildings & Systems Simulation, PhD. Symposium*, Prague 20 May 2005
- [11] Finkelstein, J. M., Schafer, R. E. Improved goodness-of-fit tests. *Biometrika* 58 (3): 641-645, 1971.