

## Oponentský posudek na habilitační práci

### **Ing. Richarda Hřčku, PhD. – Prenos tepla cez drevo**

Oponentský posudek jsem vypracoval na základě žádosti děkana Dřevařské fakulty Technické univerzity ve Zvoleni ze dne 29. 11. 2016.

#### 1 Úvod

Během vývoje lidské společnosti si člověk osvojil dovednost používat nejrůznější materiály jako kámen, bronz, železo, dřevo či keramiku. Zvládnutí výroby a použití těchto materiálů vždy posunulo úroveň uspokojování potřeb člověka a potažmo i úroveň techniky na kvalitativně vyšší úroveň. I v současné době si nelze představit další pokrok ve všech oblastech lidské činnosti bez nových materiálů. V současné době mají projektanti, designéři, umělci a další profese k dispozici přes 20 tisíc různých materiálů nabízených ve stovkách modifikací. Typickým a pravděpodobně nejdynamičtěji se rozvíjející skupinou nových materiálů jsou polymery a kompozity na jejich bázi. Do této skupiny materiálů lze po právu zařadit i dřevo a materiály na bázi dřeva. Jedním z témat, která si vynucují mnohem hlubší znalosti vztahů mezi chemickou konstitucí materiálu, technologií jeho výroby a zpracování, mikrostrukturou a jeho vlastnostmi, je popis pohybu tepla a vlhkosti.

Modelování pohybu tepla (a vlhkosti u materiálů) u materiálů jako jsou polymery a dřevo je věnována značná pozornost. Konkrétně u dřeva jsou tyto modely založeny buď na mechanistickém přístupu, který popisuje přenos hmoty a energie obecnými Fickovými a Fourierovými zákony, nebo na termodynamických principech a změnách entropie v systému. Oběma přístupy se zabývá i předložená habilitační práce, která si klade za cíl popsat sdílení tepla dřevem se zaměřením zejména na proces vedení tepla se zohledněním vlastností charakteristických pro dřevo (anizotropie, nehomogenita, navlhavost a pórovitost).

#### 2 Hodnocení metodických postupů

Předložená habilitační práce má charakter vědecké monografie o rozsahu 80 stran textu. Zaměřena je na teoretický popis termodynamických dějů probíhajících během sdílení tepla pomocí soustavy diferenciálních rovnic. Jejich řešení je často omezeno předpokladem konstantního charakteru materiálových vlastností. To vede k nutnosti formulovat matematické modely neomezené složitostí jejich vlastního řešení či nedostatkem znalostí o chování dřeva vyjádřených příslušnými materiálovými konstantami.

Habilitant si proto vytkl řadu cílů, kterými se pokusil výše uvedené východisko řešit. Rozhodl se proto nejprve popsat tok tepla rovnicí kontinuity termodynamických veličin, dále hledal jejich řešení, řešení použil pro hodnocení experimentálních metod měření tepelných vlastností, popsal faktory ovlivňující tepelné vlastnosti dřeva, navrhl metodu měření materiálových konstant vázaného pohybu fyzikálních polí ve dřevě, zohlednil variabilitu vlastností dřeva závislostí materiálových konstant na hustotě a vlhkosti dřeva a nakonec se zabýval také teplotní roztažností.

Použité řešení současného nestacionárního pohybu fyzikálních polí ve dřevě vychází ze vztahů Luikova (1966, 1968, 1975). Na základě teoretických či experimentálních postupů lze stanovit příslušné materiálové konstanty dřeva, jak habilitant ve své práci také dokládá. Matematický model využívající těchto předpokladů byl následně verifikován pro popis nestacionární distribuce tepla s danými počátečními podmínkami dílčími experimenty. Výsledkem tedy bylo sestavení modelů isotermického i neisotermického pohybu fyzikálních polí ve dřevě. Z metodického hlediska habilitant detailně rozebral a důkladně matematicky popsal fyzikální děje při sdílení tepla a navrhl konkrétní východiska pro sestavení modelů co nejbližších realitě procesů.

Teoretické analýze současného pohybu fyzikálních polí ve dřevě se na Slovensku ale také v České republice nevěnuje mnoho pracovišť. Teoretické přístupy a numerická řešení pohybu nestacionárních teplotních (a vlhkostních) zón ve dřevě navrhli v minulosti Trebula, Številová (1979), Viktorin (1991a,b), Babiak et al. (1987, 1989a, 1989b) a Kurjatko (1974). Jejich přístup je založen také zpravidla na Luikových rovnicích (Luikov 1968). Habilitant na tyto práce bezesporu navazuje a posouvá kupředu.

Připomínku mám k formálním náležitostem práce. Přivítal bych standardní členění problematiky do hierarchicky navazujících kapitol a podkapitol věcně odpovídající dílčímu problému či tématu. Nečíslování kapitol a neuvádění podkapitol veden ke značné nepřehlednosti textu a splývání významu jednotlivých částí. Způsob uvažování autora není zcela jednoduché pochopit, proto by lépe strukturovaná práce značně napomohla sledování toku myšlenek autora. Práce navíc působí nevyrovnaným dojmem – volený jazyk, argumentace a celková čtivost práce se dle mého názoru velice liší od strany 51 Optimalizace procesu vedení tepla ve dřeva – tato část se mi po formální stránce líbí mnohem více.

Druhá připomínka se týká nápadné absence citací v habilitační práci. Byť má práce teoretický charakter, vychází z poznatků předchůdců a řada použitých fenomenologických zápisů a vztahů je přebírána z literatury. Specialistovi na danou problematiku tudíž nemusí být zřejmé, kde končí poznatky předchůdců a začínají úvahy a nové přístupy autora habilitační práce. Netvrdím, že práce musí být bestsellerem, ale ke kvalifikaci docenta patří i jistá didaktická úroveň.

### 3 Hodnocení výsledků práce

Výsledky předložené práce jsou v kondenzované podobě shrnuty v poslední kapitole Závěr. Východiskem práce byl popis sdílení tepla vedením, prouděním a radiací, přičemž vedení tepla byla věnována převažující pozornost. Rovnice vedení tepla byla sestavena a řešena s cílem zlepšení experimentálních metod měření tepelných veličin. Model vedení tepla není omezen pouze na jednu hybnou sílu (jeden gradient), ale zohledňuje současné šíření více fyzikálních polí. To vedlo k nutnosti určení křížových koeficientů pro soustavu diferenciálních rovnic (zde zejména Luikových).

Přínosem práce je také hodnocení metod měření tepelných vlastností dřeva, odvození a řešení přímých a nepřímých úloh. Materiálové konstanty jsou v úlohách považovány buď jako nezávislé na dalších faktorech nebo závislé zejména na vlhkosti, hustotě a teplotě dřeva. Druhá alternativa je také ověřena a potvrzena experimentálními výsledky. Ty také vedly k zobecnění kvazistacionární metody měření tepelných vlastností dřeva a to nejen pro velké objemy těles ale i pro rovinnou a válcovou ortotropii. Z celé práce vyplývá upřímná snaha popsat a vyřešit sdílení tepla (tepelný tok) ve dřevě co nejobecněji s využitím teorie termodynamiky a dynamiky kontinua.

Autorský podíl habilitanta na monografické práci je nesporný, vysvětlení si ale žádá rozhraní mezi pracemi např. Babiaka a Kurjatka a pokračováním autora. Z předložené práce je obtížné dovodit, které myšlenky jsou nové a které vycházejí z již publikovaných prací jeho předchůdců. Prosím o vysvětlení při obhajobě práce. Tím její význam nijak nesnižuji a řadu výsledků považuji za závažná vědecká zjištění.

### 4 Připomínky a dotazy

V práci jsou uváděny matematické zápisy vztahů s odkazem na seznam zkratk a značek. V samotném seznamu je několik nepřesností (např. rozměr v tangenciálním směru, koeficient teplotní roztažnosti, chybějící elektrický odpor), ale více postrádám jednotky.

V kapitole Mechanismy přenosu tepla ve dřevě postrádám uvedení základních zákonů a definičních vztahů – Fourierova zákona, Newtonova zákona ochlazování a Stefan-Bolzmana zákona.

V kapitole Vedení tepla přes dřevo mi chybí popsání Fourierova zákona pro stacionární a nestacionární podmínky. Záporné znaménko v rovnici (11) lze podle mne interpretovat jako tepelný tok proti směru teplotního gradientu. Vedle rovnic (16) a (17) mi chybí obecná rovnice vycházející z transformace koeficientů tepelné vodivosti pro obecně ortotropní stav. Autor dále píše, že Fourierův zákon explicitně neobsahuje čas. Jak je potom definována hustota tepelného toku, kterou tento zákon popisuje?

V kapitole Zdroje a prepady tepla ve dřevě mi chybí odkaz na technickou normu pro stanovení vlhkosti dřeva; prosím o vysvětlení konkrétní teploty 105°C. prosím o vysvětlení zkratky SMC v Tab.1. V Tab.2 jsou uvedena tzv. jádrová dřeva. Znamená to, že tato nemají běl?

V kapitole Rovnice vedenia tepla jsou (správně) uvedeny rovnice (34) a (36). Prosím o úvahu, kdy jsme oprávněni předpokládat, že materiálové konstanty jsou skutečně konstantní. Rovnici (38) lze použít výlučně na 1-D případy, u desky (2-D) nelze druhý směr pominout. Prosím o vysvětlení, kdy jsme oprávněni použít rovnici (40) místo (38) při zanedbání členu  $w$ .

V kapitole Riešenie rovnice vedenia tepla vo výreze jsou uvedena Biotova kritéria (61). Existují hraniční hodnoty resp. intervaly  $Bi$ , ve kterých se liší rozložení teploty po průřezu těles?

V kapitole nestacionárna metóda merania koeficienta tepelnej vodivosti je uveden Obr. 7. Prosím o vysvětlení překvapivých změn teploty v podélném a příčných směrech (na Obr. 8 výsledky již odpovídají teorii). Jaké jsou možné příčiny? Jak je definována tepelná efuzivita?

Je možné nějak kvantifikovat vliv faktorů (vlhkost, teplota, hustota dřeva) na tepelné vlastnosti dřeva? Lze stanovit citlivost tepelných vlastností na tyto faktory?

## 5 Celkové hodnocení práce

Na základě předložené habilitační práce mohu konstatovat, že ing. Richard Hřčka, PhD., prokázal odbornou erudici. Práce představuje významný vědecký příspěvek v oblasti fyziky dřeva zaměřené na sdílení tepla, resp. pohyb fyzikálních polí ve dřevě. Doporučuji, aby byla práce přijata k obhajobě, a po zodpovězení dotazů a připomínek doporučuji udělení titulu docent ve vědním oboru Štruktúra a vlastnosti dreva.

V Brně dne 5.2. 2017

prof. Dr. Ing. Petr Horáček