

PARAMETRIZACE NUMERICKÉ SIMULACE PROCESU SUŠENÍ V ATYPICKÉ KOMOROVÉ KONDENZAČNÍ SUŠÁRNĚ ŘEZIVA

J. Zejda, P. Koňas

Došlo: 20 května 2003

Abstract

ZEJDA, J., KOŇAS, P.: *Parametrication of numerical simulation of drying process in atypical condensation lumber kiln*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2004, LII, No. 1, pp. 169-174

This work deal with modelling of the process of drying, air flow, temperature and moisture distribution in a condensation lumber kiln. This model was made and solved in the computing system ANSYS with the use of the finite element method. There are comparationes of the 2D and 3D models, shape of wood stacks and variability of their parameters (height, width, length, cross section) in the work. The flow velocity and orientation, pressure and temperature field were observed.

ANSYS, FLOTTRAN, FEM, drying process, wood kiln, numerical simulation

Dřevo jako biologický materiál musí být během svého zpracování vhodně ošetřeno. Těmito opatřeními rozumíme hydrotermickou úpravu dřeva. Nejčastější alternativou úpravy je vysoušení dřeva na požadovanou vlhkost. Do procesu vysoušení řeziva vstupuje hned několik faktorů jako jsou teplota, vlhkost, rychlost proudění, počáteční vlhkost řeziva atd. A právě dodržení nebo nedodržení jednotlivých faktorů může výraznou měrou ovlivnit výstupní kvalitu vysoušeného materiálu.

Pokud budeme chtít lépe pochopit zákonitosti, které probíhají uvnitř hraně při vysoušení, narazíme v praxi na značné omezení, jelikož v praxi nelze získávat hodnoty uvnitř hraně s určitou přesností. Numerická simulace (matematický model) do jisté míry toto omezení odstraní. Ve virtuální sušárně je možné pozorovat změnu v okamžiku, kdy nastane a podle této změny je možné ihned reagovat a změnit vysoušecí proces. Dále tento model umožní sledovat pohyby jednotlivých polí v sušárně a lépe tak pochopit k jakém zákonitostem při vysoušení dochází.

Příspěvek úzce navazuje na práci optimalizace procesu sušení vzhledem k hrani řeziva (Tippner, 2003),

kde byla řešena pevná část úlohy (část vstupní hraně). Zde se zaměříme jen na část vzdušnou (sušárnu) a děje vyskytující se v okolí vysoušeného materiálu.

CÍL PRÁCE

Práce si klade za cíl analýzu fyzikálních dějů při procesu vysoušení dřeva a pomocí zvolené numerické metody vyhodnotit stávající možnosti výpočetní techniky na problémech s podobnou tematikou a stanovit hranice současných možností. Cílem je sestavení obecného modelu sušárny a jejího bezprostředního okolí. Důraz je kladen na spolehlivost vypovídajících údajů v procesu vysoušení a tvorbu samotné sušárny s ohledem na uživatelskou pohodu a jednoduchost zadání vstupních parametrů. Tento cíl je rovněž omezen technickými parametry výpočetního systému.

MATERIÁL A METODIKA

Konečně prvkový model

Při vytváření konečně prvkového modelu ve výpočetním systému ANSYS postupujeme v následujících krocích. Nejprve je vytvořen geometrický model s drobnou idealizací tvaru sušárny, následuje určení

elementu a příslušných materiálových tabulek. Takto vytvořený geometrický model převede program sám do podoby konečně prvkového modelu (dále jen MKP modelu). Do tvorby MKP modelu vstupuje uživatel zadáním vhodných parametrů pro samotné síťování v jednotlivých oblastech vytvářeného modelu. Zvolený element musí odpovídat vybrané analýze a způsobu řešení. V modelu byl použit 2D element FLUID 141 a odpovídající 3D element FLUID 142. Tvorba modelu až po grafické výstupy je tvořena parametricky pomocí skriptovacího jazyku APDL (Ansys Parametric Design Language).

Tvorba sušárny a hráně

Článek úzce navazuje na zmíněnou práci Tippner (2003) zabývající se ději uvnitř vysoušené hráně. Čistě z technických důvodů bylo přistoupeno k následující hierarchii tvorby MKP těchto dvou oddělených modelů. V prvním kroku byl vytvořen MKP model hráně s příslušnými materiálovými vlastnostmi s definovanými okrajovými podmínkami. V dalším kroku byla tvořena geometrie a MKP model sušárny s okolím. Tyto modely byly spojeny tzv. vazebnými entitami a byl vytvořen MKP model celku.

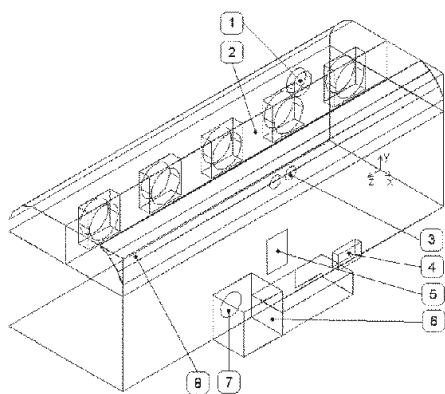
Kondenzační sušárna a její okolí

Geometrický model vychází z výkresové dokumentace (Kolínek, 2002). Model je tvořen od horní části, která je pro všechny výpočty neměnná (do této oblasti nezasahuje žádná cizí entita). Objemová entita usměrňovací plechu se vzduchovody byla určena reálnou konstantou izotropní vlastnosti vzduchu se sníženou propustností. Následně byl vytvořen model spodní části sušárny, tato oblast je vytvořena v návaznosti na velikost vstupní hráně (velikost

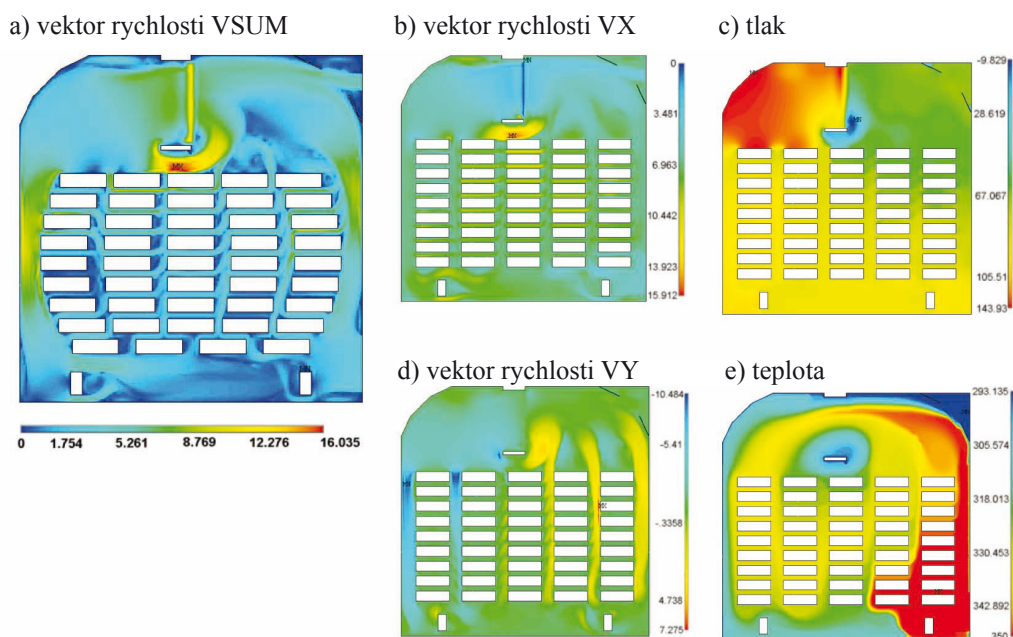
otvoru odpovídající rozměrům vstupní hráně s jejím bezprostředním vzdušným okolím). Po bocích komory sušárny se dále vytvoří dva průduchy, které simulují výměnu vzduchu mezi sušárnou a okolím. Jedním z těchto průduchů jsou netěsnosti sušárny (řeší ztráty sušárny s okolím), druhým je pak odvětrávací ventilátor (nucená výměna vzduchu). Velikost otvoru netěsnosti je v sušárně řešena parametry šířky a výšky. V okolí ventilátorů přídavných topných těles a výstupů z kondenzační jednotky se nastaví hustota dělení sítě konečných prvků, čímž zajistíme zjemnění konečně prvkového modelu v těchto místech. Takto připravený geometrický model se převede na konečně prvkový (a můžeme tak uměle zvýšit přesnost řešení). V dalších fázích modelování je vytvořeno vzdušné okolí sušárny. Obdobným způsobem je také převeden do podoby MKP. Na model jsou zadány okrajové podmínky, příslušné rychlosti proudění na ventilátorech (ve směru osy x), teplota na přídavném topném tělese (na ostatní plochy je definována nulová rychlost proudění ve všech směrech proudění v_x , v_y a v_z). V konečné fázi přípravy modelu před výpočtem jsou nastaveny parametry proudícího média (teplota a tlak vzduchu), a volba řešení (laminární, turbulentní proudění, stacionární, nestacionární analýza). Řešený problém je nelineární v geometrickém i materiálovém modelu. Z vypočteného modelu jsou získány sady grafických výstupů (řezů sušárnou) vertikálních k osám hlavních ventilátorů a horizontálních po výšce sušárny, dále pak hodnoty uzlového řešení v požadovaných oblastech. Obdobnou tvorbou byl zhotoven 2D model. Jelikož se jedná o jednodušší konstrukci, nebyla zde její tvorba popisována. Na oba modely byly aplikovány stejné okrajové podmínky (pokud se jedná o slučitelnost 2D a 3D problematiky) a byly řešeny stejnými způsoby. Popis interakce „pevné“ a „vzdušné“ části popisuje Tippner (2003).

VÝSLEDKY

Z velkého množství výsledků (číselných, grafických) je třeba se zaměřit na vybrané případy. Důležitými pak jsou: rozložení teploty (analogicky vlhkosti), tlaku a rychlosti proudění vzduchu. Tyto veličiny jsou sledovány v každé vrstvě řeziv a komoře sušárny jako celku. Na Obr. 1 jsou znázorněny tyto děje modelované ve 2D prostoru. Zde je možné spatřit detailní proudění uvnitř tělesa hráně. V horní části se vytvořila výrazná sekundární cirkulace vzduchu mezi poslední vrstvou uloženého řeziva a rampou hlavních ventilátorů (Obr. 3). Je zde též patrný (Obr. 1d) vliv vertikálních komínů, kdy na vstupní straně proudění do hráně byl zaznamenán přesun vzduchu směrem dolů, naopak na straně výstupní (podtlak) ventilátor nasává vzduch z hráně, proudící médium stoupá komíny směrem vzhůru. Distribuce teploty odpovídá charakteru proudění.



- 1: 1 - těleso odvětrávacího ventilátoru,
- 2 - horní rampa s hlavními radiálními ventilátory,
- 3 - výstupy z obvodu kondenzační jednotky,
- 4 - otvor netěsnosti,
- 5 - vstup do kondenzační jednotky
- 6 - topné těleso,
- 7 - axiální ventilátor přídavných topných těles.
- 8 - usměrňovací plech se vzduchovody

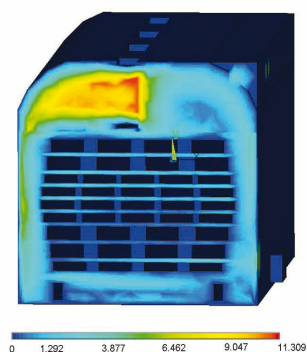


1: Rozložení jednotlivých polí 2D model

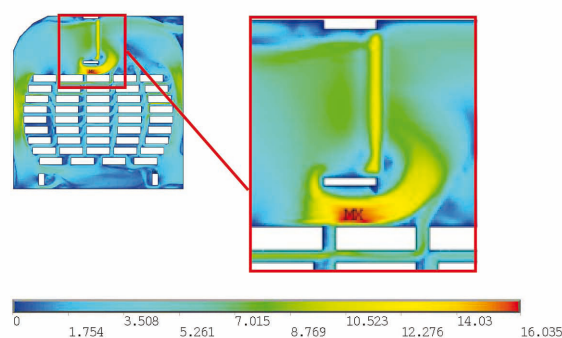
Jednotlivé výsledky můžeme analogicky spatřovat i ve 3D zobrazení. Zde počítáme ještě se složkou vektoru rychlosti VZ. Tento neopominutelný fakt je velmi významný, je tedy možné spatřit rozložení jednotlivých sledovaných veličin po délce sušícího procesu. Třetí složka prostoru má na všechny uvedené pole výrazný vliv. Velká část proudícího média

se přesouvala na čelních plochách hráně (místa s největšími průřezy pro volný průstup média). Na modelu byly zaznamenány rozdíly v rozložení teploty v jednotlivých místech hráně po délce sušárny (poloha přidavného topného tělesa). Na tomto modelu byl těž sledován vznik sekundární cirkulace a vliv sušárenského vozíku na charakter proudění.

vektor rychlosti VSUM



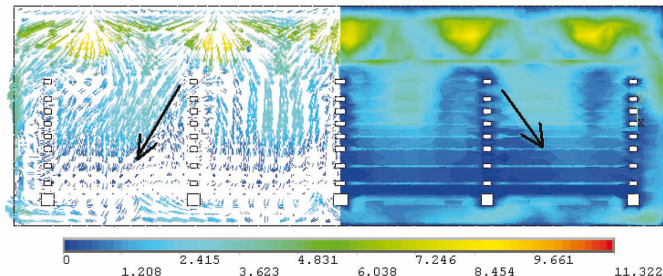
2: Rozložení jednotlivých polí 3D model



3: Vliv výšky vyskládání hráně

Na numerickém modelu bylo posuzováno proudění po délce sušárny. Na vstupní straně proudění do hráně došlo k odchýlení hlavního proudu od svislé roviny vlivem přečnivajících prokladů. Toto vychýlení způsobily proklady druhé a čtvrté řady v hráni, které

byly umístěny mimo střed hlavních ventilátorů. Ve spodních řadách příslušných vrstev došlo ke snížení rychlosti proudění patrné na Obr. 4. Při délce hráně 3,8 m docházelo k intenzivnímu proudění mezi čely hráně a přední a zadní stěnou sušárny.



4: Vliv přečnivajících prokladů na proudění vzduchu v sušárně

DISKUSE

Pokud se jedná o modelování, detailnější charakter proudění a distribuce ostatních veličin poskytují 2D modely. Vysvětlení je jednoznačné. Ve 2D prostoru je možné navrhnout výrazně vyšší hustotu dělení než ve 3D prostoru (omezení v počtu elementů, kapacita hardware). Výrazné omezení lze však spatřit právě v absenci třetího rozměru. Tento má výrazný vliv na charakter proudění a rozložení teploty (vlhkosti). Distribuce těchto veličin po délce tedy můžeme sledovat jen ve 3D prostoru. Na příčném řezu se v prázdné sušárně proudění vzduchu rozložilo ve tvaru kružnice. Domněnkou bylo, že i tvar hráně by měl odpovídat to-

muto proudění. Největší podobnost tvaru s uváděným prouděním má průřez ohraničený kružnicí. Dalo by se předpokládat, že i distribuce teplotních a vlhkostních polí bude napříč i podél tohoto tvaru rozložena nejrovnoměrněji. Na základě tohoto rozložení bude probíhat i proces vysoušení v uložené hráni. Tento závěr byl však z uvedených výstupů vyvrácen. Aby došlo k rovnoměrnému rozložení výše zmiňovaných polí uvnitř hráně, musela by se změnit její střední šířka. Tímto opatřením dojde ke snížení objemu materiálu uloženého v hráni a to je při sušení značně neekonomické. Malá základna hráně s průřezem blízcím se kruhu zapříčiňuje proudění velké části vzduchu mimo

tuto hraně mezi vozíkem a hraní v oblasti podkladních hranolů. Nejrovnoměrněji rozložené pole proudění bylo pozorováno na obdélníkovém a lichoběžníkovém průřezu. Tvary hraní s největší šířkou uprostřed hraně (kružnice) ukazují na intenzivnější proudění vzduchu v horní polovině hraně. Naopak tvary s nejmenší šířkou uprostřed vykazují intenzivnější pohyb vysoušecího média ve spodní polovině hraně. Tento jev je s největší pravděpodobností zapříčiněn lokálními tlakovými podmínkami. V zúžených místech dochází k nárůstu rychlosti proudění vzduchu. Podstatná část proudícího média vstupuje do hraně nad zúženou částí. Zbýlý proud vzduchu ztrácí svojí intenzitu a obtížněji vstupuje do tělesa hraně. Ve většině posuzovaných tvarů hraní docházelo ke zpětnému proudění podél stěny sušárny. Tento jev poukazuje na chybnou geometrii konstrukce sušárny (respektive vozíku, případně dalších aerodynamických opatření). Vhodnou úpravou vozíku či naváděcích prvků lze do jisté míry ovlivnit tento zpětný proud. Hodnota rychlosti uvnitř hraně se v průměru ustálila na 2 – 2,5 m/s. Norma pro sušení udává rychlosti proudění uvnitř hraně 3 m/s (ON 49 0651). Tato hodnota také nasvědčuje tomu, že s největší pravděpodobností byla nesprávně aplikována počáteční hodnota rychlosti proudění na hlavních ventilátorech. Velký vliv na celkové proudění a objem vzduchu vstupující do hraně má výška hraně. Při dostatečné výšce hraně, kdy je mezera mezi rampou hlavních ventilátorů a horní vrstvou sušeného materiálu do 0,05 m, nedochází k navýšení rychlosti a cirkulaci mimo samotnou hraně. Pokud se tato mezera zvyšuje, dochází v těchto místech k cirkulaci vzduchu, aniž by vstupoval do hraně. Jednoduchým opatřením jak zamezit této sekundární cirkulaci, je vystavět hraně co nejvýše, pokud to dimenze řeziva dovoluje. Dále je možné do horní části vložit distanční prvek, proložený prokladem od poslední vrstvy řeziva tak, aby vyplnil prostor mezi hraní a rampou hlavních ventilátorů. Pokud je mezi stěnou sušárny a boční plochou hraně velký prostor, dochází ke zpětné cirkulaci. Tento zpětný proud vzniká odrazem od sušárenského vozíku a dále na krajích sušárny odrazem od zadní a přední stěny sušárny. Tento protiproud z velké části vychyluje hlavní proud vzduchu od svého přímého směru a je dále tlačěn do hraně. Pokud tento prostor snížíme, nedovolí hlavní proud vzduchu vzniku tohoto zpětného proudění a nedojde k víření u vstupu do hraně. Zjištěná hodnota kdy ještě nedochází ke zpětnému proudění je 0,12 m mezi hraní a stěnou sušárny při zvolených okrajových podmínkách.

Další neopominutelnou skutečností je, že k intenzivnímu proudění dochází především v prostoru okolí hraně (pod vozíkem, nad hraní, po jejích bocích), což patrně způsobuje snížení intenzity sušícího procesu, ovšem i zmírnění jeho „tvrdosti“, jak již bylo sděleno výše. Velký vliv na rozložení veličin jednotlivých

polí má ventilátor přídavných topných těles. Nachází se v přední části sušárny. Naopak výstup z přídavných topných těles do komory je umístěn v zadní části. Toto řešení se autorům jeví jako odpovídající. Z výpočtu bylo zjištěno, že v zadní části sušárny bude docházet k intenzivnějšímu ohřevu než v přední části, vycházejícímu z polohy vstupu od ohřívacích těles. Tímto konstrukčním řešením dochází k nasávání chladnějšího vzduchu z přední části sušárny. Přechňovací proklady mají též velký vliv na rozložení vstupního proudění do hraně. Námi namodelované proklady měly konstantní hodnoty délky. Délka byla odvislá od šířky hraně i bezprostředního vzdušného okolí. Tyto přechňovací proklady znemožňují rovnoměrné proudění mezi prkny hraně. Pokud je proklad výrazně mimo osu hlavního ventilátoru, vzniká prostor v okolí prokladu se sníženou rychlostí proudění. Tento jev můžeme částečně odstranit přesně dlouhými proklady v jednotlivých vrstvách hraně. Toto řešení však není zcela optimální. V praxi se hojně využívá prokládání dvěma proklady, které se uprostřed překrývají. S největší pravděpodobností bude však docházet k víření uvnitř hraně. Pokud by byly proklady umístěny v osách hlavních ventilátorů, nedocházelo by k tomuto jevu, to ale není možné z normy pro ukládání řeziva. Nejvíce byl model zjednodušen v oblasti usměrňovacího plechu se vzduchovody. Toto zjednodušení bylo zavedeno z technických důvodů. Pokud by se v dalších verzích výpočetního systému objevila možnost vytvořit tento prvek pomocí superelementu, dala by se tato oblast detailněji popsat. Při spojování obou řešení vyvstal technický problém jak tyto dílčí části řešení sloučit. Proto, aby mohly být oba modely funkčně spojeny, musely se v obou modelech vytvářet vazebné entity, které zkomplikovaly celou oblast. Navíc tyto entity zapříčinily nárůst celkového počtu vytvořených elementů a zbytečně tak zatěžovaly výpočetní techniku. Jako nejlepší se nabízí modelovat hraně a její okolí ve tvaru odpovídajícího spodní části sušárny. Stávající řešení však nabízí přenesení modelu hraně na jakýkoli jiný typ modelu sušárny bez větších úprav. Pro řešení je tedy zcela jistě rozhodující včasné určení některého z možných postupů, jaký při vytváření modelu bude zvolen.

ZÁVĚR

Byl splněn vytýčený cíl této práce, a to vytvořit parametrický model atypické kondenzační sušárny. Parametrický model umožňuje snadno definovat počáteční a okrajové podmínky. Podařilo se v okolí sušárny namodelovat virtuální místnost. Tento vytvořený prostor umožnil detailní zkoumání vlivu funkce sušárny na okolní prostředí. Model sušárny byl vytvořen tak, aby bylo možné provést posouzení jednotlivých dějů v prázdné sušárně nebo s vloženou hraní (Tippner, 2003). Podařilo se vytvořit spojení mezi

dílčími úlohami (modelu sušárny a hráně). Na tomto společném řešení byl pozorován vliv proudění a distribuce teploty v hrani při zvoleném tvaru průřezu hráně. Byly posouzeny jednotlivé tvary hrani. Rychlost proudění ve zkoumaných tvarech hrani se ustálila na hodnotě 2 – 2,5 m/s. Nejrovnoměrnejší proudění po výšce hráně bylo pozorováno u obdélníkových a lichoběžníkových průřezů. Ostatní tvary hrani vykazovaly rozdílné rychlosti v horní a spodní polovině hráně. Dále byl do modelu zahrnut vliv netěsnosti sušárny. Tento prvek simuluje výměnu fyzikálních polí teploty a vlhkosti mezi komorou sušárny a okolním prostředím, tak aby se co nejvíce proces vysoušení přiblížil skutečnosti. Model vykazuje výměnu vzduchu směrem ven z komory sušárny, tedy ztráty teploty do okolního prostředí vlivem zvýšeného tlaku uvnitř sušárny. Opačná výměna vzduchu nastala jen pokud

byl v činnosti odvětrávací ventilátor v současné nečinnosti ostatních ventilátorů. Nezanedbatelný vliv na rozložení proudění v sušárně má výška vložené hráně. Jestliže je mezi rampou hlavních ventilátorů a poslední vrstvou řeziva vzduchová mezera, dochází zde k sekundární cirkulaci. Zúžený profil a podtlak zapříčiní proudění o rychlostech 7 – 9 m/s. Zvolený postup při samotném vytváření modelu se jeví jako optimální. S největšími omezeními se v tomto ohledu setkáváme v nedostatečné kapacitě hardware. Další velké omezení klade zvolený výpočetní systém ANSYS. Toto omezení bylo shledáno na úrovni řešení „pevné“ i „vzdušné“ části. Podařilo se prokázat a popsat vliv šíření fyzikálních polí ve vnějším prostředí hráně na šíření polí v jejím vnitřním prostředí a následně i prostředí samotného materiálu.

SOUHRN

Tato práce se zabývá modelováním procesu vysoušení, vyšetřováním proudění vzduchu, rozložením hodnot teploty a vlhkosti v kondenzační sušárně řeziva. Tento model byl sestaven a řešen ve výpočetním systému ANSYS za využití metody konečných prvků. V práci jsou srovnávány jednotlivé modely 2D a 3D, dále pak tvar hráně a variabilita jejich parametrů (výška, šířka, délka, příčný průřez). Byly sledovány rychlosti a orientace proudění, tlakové a teplotní pole.

ANSYS, FLOTTRAN, FEM, proces sušení, sušárna řeziva, numerická simulace

Autoři děkují Dr. Ing. Petru Horáčkovi a pracovníkům Ústavu nauky o dřevě LDF MZLU v Brně za podporu a mnohé cenné připomínky k dané problematice.

LITERATURA

- KOHNKE, P. ANSYS Thermal Analysis Guide, Release 5.5 ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, USA, 1998.
KOHNKE, P. ANSYS Theory Reference, Release 5.5 ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, USA, 1998.
KOLÁŘ, V., NĚMEC, I., KAMENICKÝ, V. FEM Principy a praxe metody konečných prvků. Praha:

- Computer Press, 1997 ISBN 80-7226-021-9
KOLÍNEK, J. Analýza sušícího prostředí atypické kondenzační sušárny a popis její funkce, diplomová práce, Brno: MZLU Brno, 2002.
TIPPNER, J. Numerická simulace procesu sušení v atypické komorové kondenzační sušárně řeziva, diplomová práce, Brno: MZLU Brno, 2003.

Adresa

Ing. Jiří Zejda, Ing. Petr Koňas, Ph.D., Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika