

AKTUÁLNY VÝSKUM V OBLASTI HYGROTERMÁLNEHO REŽIMU KONŠTRUKCIÍ DREVOSTAVIEB

Ing. Richard Slávik, Ph.D.

¹ Ústav nauky o drevě a dřevařských technologiích, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika

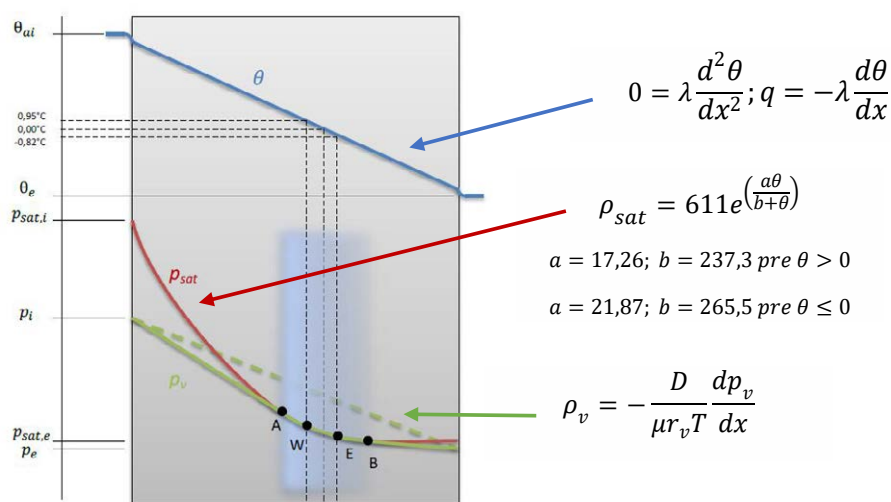
Pre správnu funkciu a primeranú životnosť vyžadujú stavebné konštrukcie s drevenými prvkami osobitý prístup. Výpočtom je potrebné overiť, že nevzniknú také podmienky, za ktorých môže tento materiál stratiť svoje vlastnosti alebo degradovať, či byť napadnutý škodcami alebo hubami. Práve preto má v tomto smere stavebná fyzika a špeciálne oblasť zvaná tepelná technika celkom zásadný význam. Tento odbor má dlhú tradíciu a jeho vývoj dlho sledoval aktuálne trendy a riešil vzniknuté problémy v stavebníctve. Drevo ale v tej dobe nebolo až tak rozšírené ako je tomu dnes, preto aj posudzovanie drevených konštrukcií u nás nie je ešte stále dostatočne etablované. Používané technické normy spomínajú konštrukcie s drevom iba okrajovo a uvádzajú iba niekoľko obmedzení či doporučení. Tento stav rozhodne nezodpovedá vedomostiam a možnostiam, ktoré dnes v rámci stavebnej fyziky máme, a tak si táto téma zaslúži v našej spoločnosti pozornosť a ďalší rozvoj. V Českej a Slovenskej republike používame v inžinierskej praxi pre hodnotenie stavebných konštrukcií stále iba jednoduché nástroje, ktoré sú založené na celom rade zjednodušených predpokladov. Nemôžu tak vystihnúť vierohodne skutočný stav, ale sú pre tieto typy hodnotení aj tak uznávané. Existujú aj pokročilejšie metódy, ktoré sú odbornej verejnosti menej známe. Tieto síce dokážu ďaleko lepšie vystihnúť reálny stav ale na druhej strane ich aplikácia vyžaduje ďaleko väčšiu odbornosť a skúsenosti v oblasti modelovania. Zároveň pokročilejšie modely vyžadujú aj pokročilejšie vstupy, a nie vždy sú k dispozícii relevantné materiálové parametre a okrajové podmienky. V ďalšom texte je priblížená podstata a rozdielnosť jednotlivých modelov, spolu s ich limitmi. Následne sú prezentované činnosti, ktoré na Mendelovej univerzite v Brne realizujeme s cieľom obohatenia vedného odboru stavebnej fyziky o nové výpočtové metodiky, postupným doplnením softwarových nástrojov, materiálových vlastností a okrajových podmienok.

Z hľadiska zachovania správnej funkcie konštrukcie s drevenými prvkami, je kľúčové overenie tepelne-vlhkostného režimu. Modely pre predikciu vlhkostného režimu stavebných konštrukcií môžeme rozdeliť na tri základné skupiny, a to:

- modely pre overenie rizika kondenzácie
- modely pre ročnú bilanciю množstva kondenzátu
- numerické modelovanie.

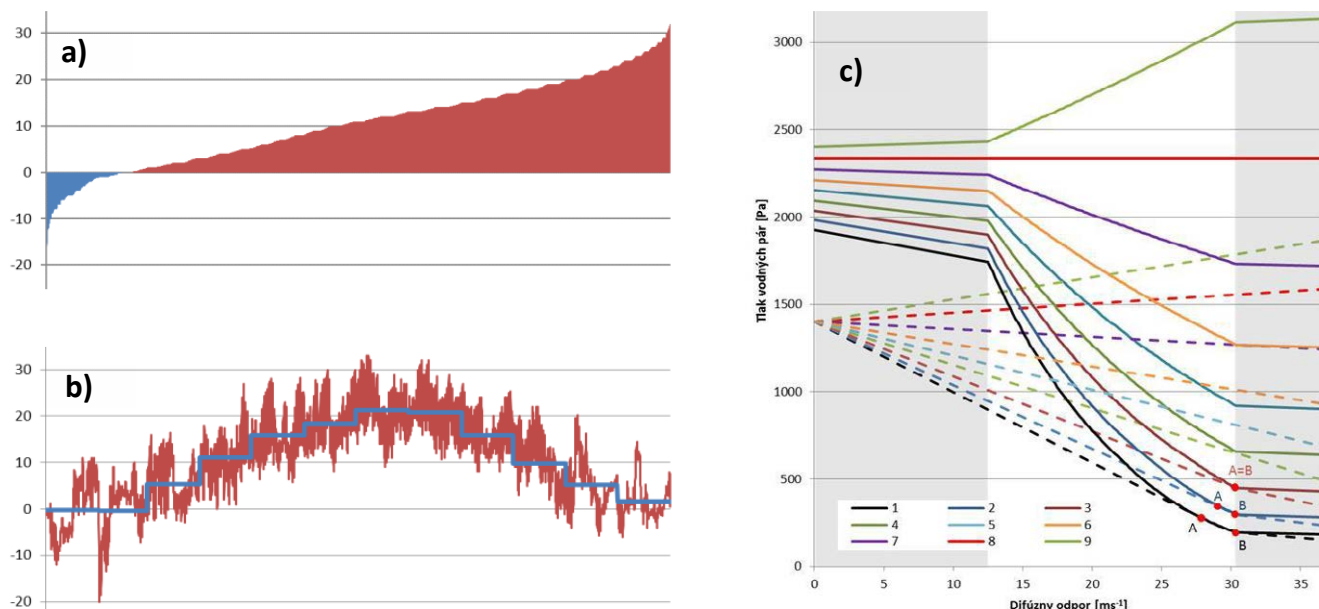
Modely pre overenie rizika kondenzácie vychádzajú z úvahy, ustáleného teplotného a vlhkostného stavu konštrukcie. Predpokladá sa, že rozdiel teploty medzi interiérom a exteriérom vytvorí v konštrukcii teplotný profil, zodpovedajúci pomerom tepelných odporov jednotlivých vrstiev. Podobne, rozdiel parciálneho tlaku medzi interiérom a exteriérom v konštrukcii sa rozdelí v pomere difúzných odporov jednotlivých vrstiev konštrukcie. Takto rozdelený priebeh parciálneho tlaku sa porovná s maximálnym parciálnym tlakom vodných pár, ktorý je funkciou teploty. Postup overovania je znázornený na obr. 39. Z teplotného profilu θ sa určí profil nasýteného tlaku vodných pár ρ_{sat} a na základe gradientu ρ_i a ρ_e a difúzných odporoch sa určí tlak ρ_v . Pokiaľ sa v konštrukcii nachádza miesto, kde tlak ρ_v prevyšuje funkciu ρ_{sat} , predpokladá sa vznik kvapalného kondenzátu a z krajných

bodov ρ_i a ρ_e sa hľadajú dotyčnice k funkcii ρ_{sat} . Nový priebeh tlak ρ_v v konštrukcii musí následne tvoriť spodnú obalovú krivku kde teoretický tlak ρ_v nikde neprevyšuje hodnotu nasýteného tlaku ρ_{sat} . Pokiaľ parciálny tlak vodnej pary ρ_v pri návrhových podmienkach nikde nedosahuje hodnoty nasýteného tlaku vodnej pary ρ_{sat} , kondenzáciu v konštrukcii je možné vylúčiť a tým považujeme riešenie za dostatočne bezpečné pre dané návrhové podmienky. Tento prístup overovania rizika kondenzácie je u nás známy ako Glaserova metóda, ktorá bola publikovaná približne okolo roku 1959 [1]. Uvedený postup sa inžiniersky premietol do metodiky návrhu, ktorá sa snaží aby tepelný odpor vrstiev z interiéru do exteriéru narastal, čím sa dosiahne vyššia teplota v konštrukcii a tým aj pomalší pokles nasýteného tlaku ρ_{sat} . Zároveň sa odporúča aby difúzny odpor vrstiev z interiéru, smerom do exteriéru klesal, čím sa zas dosiahne zvýšeného poklesu parciálneho tlaku ρ_v už na strane interiéru. Takýmto návrhom spravidla vytvoríme predpoklad, že ku kondenzácii vodnej pary vôbec nedôjde. U konštrukcií, kde by skondenzovaná vodná para mohla ohroziť jej požadovanú funkciu, musí byť kondenzácii zabránené. Pojmom ohrozenie požadovanej funkcie, autori aktuálne platnej normy predpokladajú podstatné skrátenie životnosti, zníženie povrchovej teploty, objemové zmeny, zvýšenie hmotnosti konštrukcie nad rámec statickej rezervy, a zvýšenie hmotnostnej vlhkosti materiálu nad úroveň spôsobujúcu degradáciu.



Obr. 39: Ilustrácia Glaserovej metódy a určenia kondenzačnej zóny

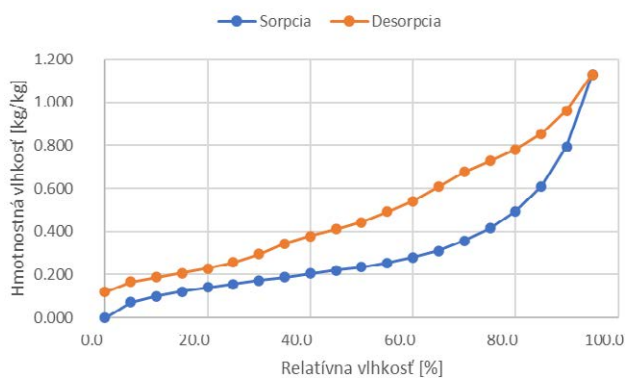
Mnoho konštrukcií ale nedokáže takýto predpoklad dosiahnuť, jedná sa najmä jednoplášťové strešné konštrukcie alebo konštrukcie obklopujúce vnútorný priestor so zvýšenou vlhkosťou. K tomuto účelu sa postupne vytvoril **model pre predikciu ročnej bilancie** kondenzátu, ktoré pokiaľ tomu nebránia použité materiály, tak určité množstvo skondenzovanej vodnej pary v konštrukcii za rok umožňujú pripustiť. Tieto modely uvažujú niekoľko po sebe ustálených teplotných a vlhkosťných stavov konštrukcie, ktoré sú základom tejto bilancie. Česká norma ČSN73 0540 [2] a jej slovenský ekvivalent STN 73 0540 [3] využíva k tomuto početnosť niekoľkých referenčných teplôt v roku. Európsky model založený na EN ISO 13788 [4] využíva pre referenčné teploty mesačné priemerné teploty. V metodike sa postupuje následne tak, že sa tieto referenčné teploty zoradia za sebou od najnižšej teploty, a pre každú referenčnú teplotu sa vyhodnocuje sa vznik kondenzátu v konštrukciu a jeho množstvo. Pokiaľ pri nejakej referenčnej teplote ku kondenzácii dochádza, násobí sa rozdiel hustoty difúzneho toku z a do kondenzačnej zóny časovými trvaním danej referenčnej teploty, čím sa získa predpokladané množstvo vzniknutého kondenzátu. Pri referenčných teplotách kde ku kondenzácii nedochádza sa uvažuje, že dochádza k odparovaniu a vysychaniu kondenzačnej zóny. Rozdiel hustoty difúzných tokov sa v tomto prípade násobí dĺžkou trvania referenčnej teploty a od celkového množstva kondenzátu v zóne sa toto množstvo odpočítava. Uvedený postup a rozdielnosť metodík je uvedená na obrázku 39. Národná metodika obsahuje nižšie referenčné teploty ako je tomu u medzinárodnej normy, ktorá využíva mesačné priemery. Spravidla pokiaľ nedochádza ku kondenzácii podľa národnej metodiky, nemalo by ku nej dochádzať ani u medzinárodnej metodiky. Pokiaľ ale ku kondenzácii dochádza v oboch režimoch, môže sa stať, že dokonca európska metodika bude dávať menej priaznivý výsledok. Výpočet sa tak odporúča realizovať oboma metodami a prevziať menej priaznivý výsledok.



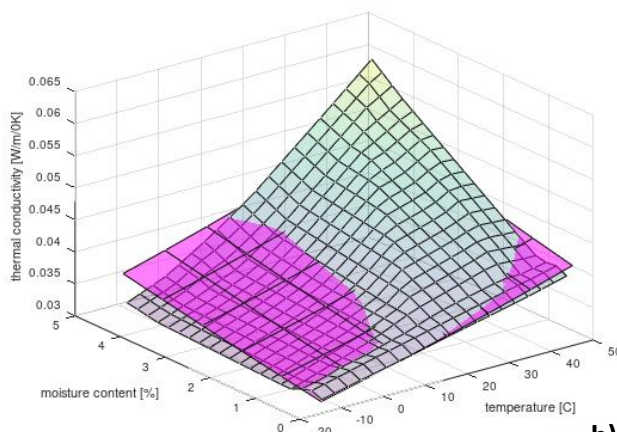
Obr. 40: a) početnosť teploty v rámci roku zoradená od najnižšej po najvyššiu, ktorú využívajú národné metodiky ČSN a STN, b) medzinárodná metodika založená na priemerných mesačných teplotách c) priebeh parciálnych tlakov vodnej pary a nasýtených tlakov vodnej pary pre jednotlivé referenčné teploty

Národná norma požaduje, aby sa v prípade, kde množstvo kondenzátu v konštrukcii neohrozi jeho funkciu z roku na rok nezvyšovalo, čo znamená že množstvo kondenzátu, ktoré sa môže z konštrukcie odpariť musí byť väčšie, ako to ktoré môže v konštrukcii skondenzovať. Zároveň bývajú tieto množstvá limitované maximálnou hodnotou $0,1 \text{ kg.m}^{-2}$ za rok pre obvodové konštrukcie ako sú jednoplášťové strechy, konštrukcie so zabudovanými drevenými prvkami, konštrukcie s vonkajším zateplovacím systémom, prípadne konštrukcie s difúzne málo priepustnými vonkajšími vrstvami. Mimo tejto hodnoty býva množstvo obmedzované ešte percentami z plošnej hmotnosti, kde pre tento typ konštrukcií sa pripúšťa maximálne 3% z plošnej hmotnosti materiálu v ktorom ku kondenzácii dochádza pokiaľ je jeho objemová hmotnosť vyššia ako 100 kg.m^{-3} , pre menšie objemové hmotnosti sa uvažuje až 6%. U ostatných typov konštrukcií sa pripúšťa hodnota až $0,5 \text{ kg.m}^{-2}$ pri obmedzení 5% z plošnej hmotnosti materiálov s objemovou hmotnosťou nad 100 kg.m^{-3} a 10% u materiálov s plošnou hmotnosťou menšou. Pre drevené prvky sa vyžaduje, aby pri zabudovaní do konštrukcie nemali hmotnostnú vlhkosť vyššiu ako 16% a zároveň boli náležite ošetrované. Tieto požiadavky sa týkajú iba národnej normy, európska norma požiadavky neuvádza.

Z uvedeného textu vyššie plynie, že obe metodiky sú relatívne jednoduché, a snažia sa o zabránenie kondenzácii vodnej pary v konštrukcii, prípadne jej obmedzenia a zároveň udržania drevených prvkov mimo rizikovú oblasť relatívnej alebo hmotnostnej vlhkosti. Realita šírenia vlhkosti v konštrukcii je však o dosť zložitejšia, a uvedené modely majú niekoľko slabých miest, ktoré môžu výsledky značne skresľovať. Jedným z celkom zásadných je skutočnosť, že konštrukcie podliehajú celkom dynamickým zmenám teploty najmä na vonkajšom povrchu, preto očakávať ustálený teplotný stav v konštrukcii po dobu celého mesiaca nie je úplne správny predpoklad. Zároveň sú vonkajšie povrchy konštrukcie vystavené slnečnému a dlhovlnnému žiareniu, ktoré môže výrazne ovplyvniť priebeh teploty popri atmosférických zrážkach, ktoré zas môžu byť nezanedbateľným zdrojom vlhkosti. Ustálený vlhkovitý stav obvodovej konštrukcie je ešte menej pravdepodobný, lebo veľa materiálov je hygroskopických a kapilárne aktívnych, takže ustálený vlhkovitý stav sa nedosahuje tak rýchlo a dochádza v nich pri kapilárnej kondenzácii k redistribúcii. Hygroskopickosť materiálu, teda schopnosť prijímať vodu, býva najčastejšie vyjadrená závislosťou rovnovážnej vlhkosti od relatívnej vlhkosti, ktorá sa nazýva sorpčná izoterma. Mnohé materiály majú dokonca určitú hysterézu, čo znamená že pri vlhnutí býva závislosť medzi hmotnostnou vlhkosťou a relatívnou vlhkosťou odlišná ako je to pri vysychaní. Preto ich do zjednodušených ustálených modelov nie je možné implementovať. Nemožno opomenúť, že súčiniteľ tepelnej vodivosti je závislý na teplote a vlhkosti materiálu. Tieto súvislosti sú uvedené na obr. 41. Vlhkosť tak ovplyvňuje rozloženie teploty v konštrukcii, spolu s teplom uvoľňovaným alebo pohlcovaným fázovými zmenami.



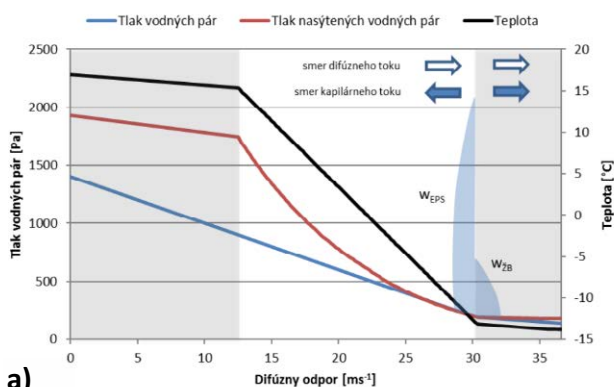
a)



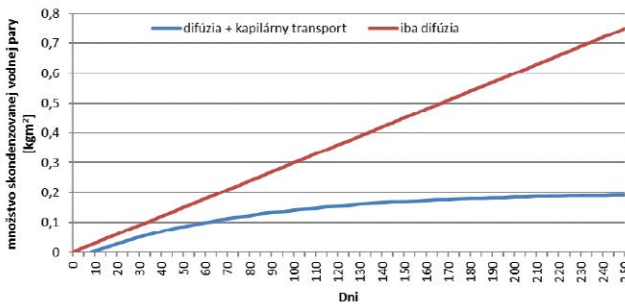
b)

Obr. 41: a) Sorpcia hygroscopickeho materiálu b) závislosť tepelnej vodivosti na vlhkosti a teplote

Druhým aspektom je šírenie kvapalnej vody v materiáloch. Pokiaľ dôjde ku kondenzácii vodnej pary v konštrukcii, v závislosti od teploty a charakteru materiálu v ktorom sa takto deje, sa tento kondenzát môže prejavíť vo forme ľadu alebo kvapalnej vody. Pokiaľ dôjde ku kondenzácii v kvapalnej forme, mnohé materiály dokážu túto vodu transportovať sieťou kapilár, a hovoríme tak o kapilárnej vodivosti. Snaha zahrnúť tento fenomén do zjednodušených modelov je možné vidieť v odbornej publikácii [5] aj niektorých softwarových riešeniach. Tento model predpokladá, že kvapalný kondenzát bude z kondenzačnej zóny odvádzaný a nebude tak narastať do nekonečna, tak ako to predpokladá zjednodušená metóda.



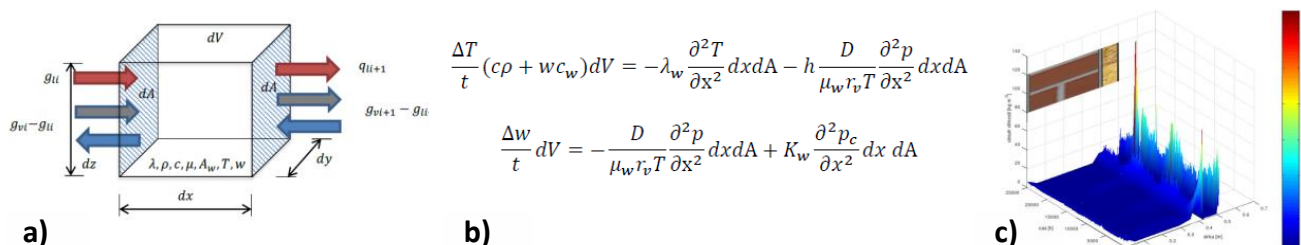
a)



b)

Obr. 42: a) ukážka aktivovanej oblasti vplyvom kapilárneho transportu b) rozdiel nárastu skondenзованej vlhkosti v konštrukcii u zjednodušenej Glaserovej metódy a Glaserovej metódy s integrovaným kapilárnym transportom

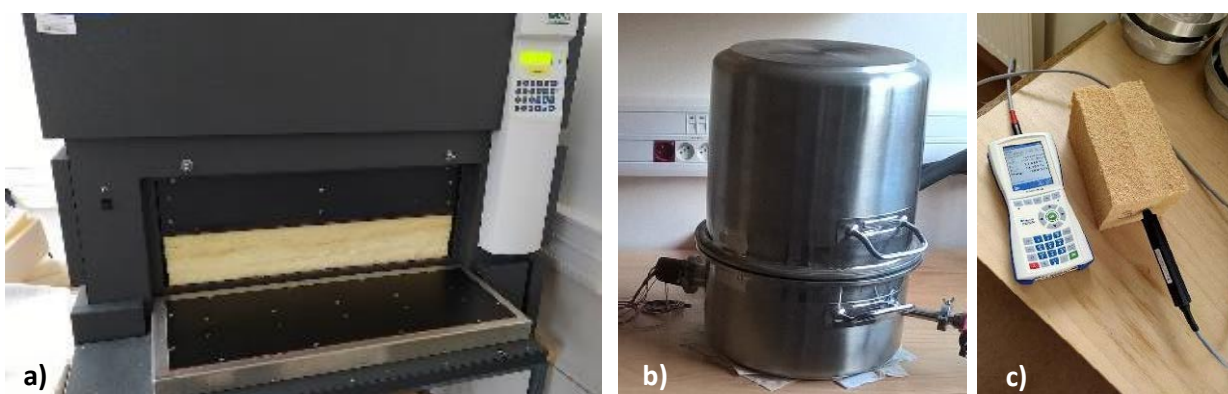
Tieto disproporcie viedli k vývoju ďalších pokročilejších modelov, ktoré sa vďaka rozvoju nových numerických metód a dostupnosti počítačovej techniky v posledných dekádach stali pre nás dostupné. Tieto nám umožnia lepšie a komplexnejšie modelovať tepelnú a vlhkosťnú záťaž konštrukcii, a predikovať rozloženie teploty a vlhkosti v konštrukcii ako aj riziká zabudovaných materiálov. **Numerické modelovanie** predstavuje aktuálne najpokrokovejšiu možnosť hodnotenia vlhkosťného režimu konštrukcií a k dispozícii je už aj ne jeden komerčný software. Táto metóda rozdelí výpočtovú oblasť na niekoľko vzájomne prepojených elementov. Namiesto predpísania teploty a tlakov do jednotlivých bodov na základe analógie ustáleného stavu sa tieto vypočítajú dynamicky v čase podľa meniacich sa okrajových podmienok. Takýto výpočet dokáže veľmi podrobne a vierohodne modelovať teplotný a vlhkosťný režim konštrukcie. Matematických modelov pre túto problematiku je viac, niektoré používajú dokonca rôzne hnacie potenciály pre pole vlhkosti. Najčastejšie býva numerický model zostavený na základe dvoch navzájom prepojených rovníc, ktoré sú uvedené na obr. 43. Prvá rovnica predstavuje rovnicu vedenia tepla, rozšírenú o prírastok tepelných ziskov prípadne strát v diferenciálnom objeme, ktorý je zapríčinený fázovými premenami vody. Druhá rovnica popisuje zmenu obsahu vody v diferenciálnom objeme, ktorá je zapríčinená difúziou vodnej pary zapríčinenou rozdielnymi tlakmi parciálneho tlaku a kapilárneho transportu vzniknutého v nadhygroscopickej oblasti hnaného kapilárnym tlakom.



Obr. 43: a) diferenciálny objem pre jednorozmerný model spolu, b) transportné rovnice pre jednorozmerný model c) pole vlhkosti ako výsledok numerického výpočtu

Vyššie uvedený model predstavuje základný jednorozmerný príklad sústavy spriahnutých rovníc. Model môže byť rozšírený do viacerých rozmerov, prípadne doplnený o ďalšiu rovnicu, napríklad uvažujúci transport vzduchu alebo solí. Numerické modelovanie vyniká najmä tým, že jeho riešením je získaný priebeh teploty a vlhkosti pre jednotlivé body výpočtovej siete v čase. Mimo informácií o obsahu vody v materiáli, sú dnes už vyvinuté aj metódy predikcie degradácie materiálov podľa rôznych modelov ako sú napríklad VTT [6], WTA [7]. Z komerčných software, ktoré sú dnes bežne dostupné sa dajú sa pre tieto účely využiť sú napríklad Comsol Multiphysics [8], WUFI vyvíjané Fraunhofer inštitútom [9] alebo Delphin vyvíjaný na univerzite v Drážďanoch [10]. Algoritmy vynímané na Mendelovej univerzite sú zatiaľ vo verzii prototypov pre interné použitie a plánuje sa ich zverejnenie až v ďalších rokoch. Nemožno však nespomenúť, že aj pri numerickej metóde narážame na určité problémy, ktoré sú príčinou, že nie je ešte natoľko rozvinutá jej aplikácii v inžinierskej praxi. Prvý problém sú relevantné materiálové parametre, ktoré ešte stále nie sú charakterizované pre všetky materiály. Spravidla určitá oblasť je opísateľná veľmi dobre a jednoducho, ale získanie komplexného modelu pre materiál nie je také jednoduché ako by sa mohlo na prvý pohľad zdať. Niektoré materiály boli už v minulosti popísané a existujú databázy, v ktorých je možné materiál vyhľadať, prípadne každý komerčný software má aj dostupnú svoju knižnicu. V našich krajinách ale používame materiály, ktoré bývajú často odlišné od materiálov uvedených v týchto knižniciach. Nemusíme tak mať k dispozícii dáta pre všetky materiály a hlavne ich podrobnosť, akú simulačný program vyžaduje. Druhou oblasťou s veľkou neistotou sú okrajové podmienky simulácie. Aktuálne nie sú pre naše územie dostupné klimatické dáta, ktoré by bolo možné použiť pre bezpečnú simuláciu. Existujú síce referenčné roky, ale tie majú charakter skôr predikcie energetickej náročnosti ako návrhového klimatického roku.

Aby bolo možné odstrániť nedostatky pokročilejších modelov v našich lokalitách, realizujú sa na Mendelovej univerzite v Brne a vo výskumnom centre Josefa Ressela Mendelovej univerzity niektoré aktivity pre doplnenie chýbajúcich dát. Výskumné centrum disponuje celým radom laboratórií a jedným z nich je aj laboratórium pre výskum tepelných a vlhkosťných vlastností materiálov. Toto laboratórium je plne vybavené pre meranie základných ale aj pokročilých materiálových vlastností.



Obr. 44: a) Heatflow meter Netzsch 436 Lambda, b) zariadenie RTB Transient, c) Isomet 2441

Pre meranie tepelných vlastností materiálov laboratórium disponuje jednou stacionárnou a dvoma dynamickými metódami. Stacionárna metóda využíva meranie tepelného toku „heat flow meter“ zariadením NETZSCH 436 Lambda pre vzorky s rozmerom 600 × 600 mm a hrúbkou do 20 cm. Zariadenie je vhodné hlavne pre meranie izolačných materiálov. Zariadenie má dve

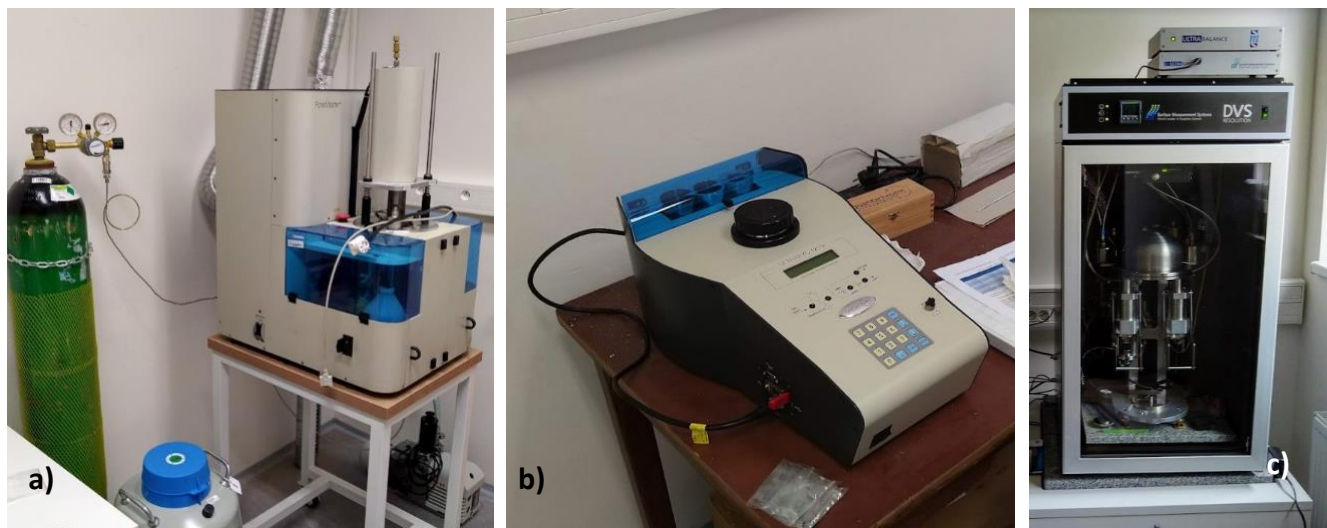
dosky, kde horná je ohrievaná a spodná chladená na určité teploty. Gradient tepla vytvorí tepelný tok, ktorý je meraný snímačmi tepelného toku. Zo známej hrúbky vzorky a výkonu ohrevu sa vypočíta súčiniteľ tepelnej vodivosti. Ďalšie dve zariadenia využívajú dynamickú metódu, každé trochu inak. Kým RTB Transient tester využíva odozvu na teplotný impulz v polo priestore, ISOMET využíva meranie vývoja teploty sondy, ktorá je zároveň teplotným zdrojom v čase pri jej známom výkone. RTB Transient tester je vhodný pre meranie vzoriek s hrúbkou niekoľko milimetrov až centimetrov s rozmerom až do 10×10 cm. Meranie prebieha na troch vrstvách vzorky položených na sebe, kde medzi prvú a druhú rozhranie sa vloží vykurovacia fólia, a medzi druhú a tretie rozhranie sa vloží termočlánok. Podľa predbežného výpočtu sa vykurovacou fóliou vytvorí tepelný impulz, ktorého odozva sa meria termočlánkom v druhom rozhraní. Práve oneskorenie maximálnej hodnoty v meracom bode spolu s jeho veľkosťou determinuje teplotnú vodivosť a mernú tepelnú kapacitu materiálu, z ktorej sa následne určí tepelná vodivosť. Isomet využíva pre meranie dva typy sond. Jedna je príložná s kruhovým priemerom, táto je vhodná najmä pre tuhé materiály s hladkým povrchom. Druhá sonda, ihlová, je vhodná na meranie mäkkých penových alebo vláknitých materiálov. Odozva teploty v čase na sonde lineárne rastie v závislosti od materiálových vlastností až kým sa táto tepelná vlna nedostane na okraj vzorky, takže rozmer vzorky musí byť dostatočne veľký na to, aby meranie bolo dokončené kým sa tak stane.



Obr. 45: a) komora s difúznymi miskami b) difúzne misky pre štúdiu vplyvu perforácií parozábran c) kondicionovanie vzoriek pri meraní sorpcie

Vlhkostné vlastnosti sú v laboratóriu merané štandardnými normovými metódami ako aj novými pokročilejšími metódami. K tradičnými štandardizovaným metódam je možné spomenúť klasické postupy na meranie difúzne vlastností materiálov podľa EN 12572. tieto využívajú misky naplnené vysúšadlom alebo roztokom, ktoré sú umiestnené v klimatizovanom prostredí a v čase je zaznamenávaná ich hmotnosť. Difúzne vlastnosti sa prejavujú ako zmena hmotnosti misky. Miskové metódy sú používané aj pre štúdie zaoberajúce sa vplyvom perforácie parozábran na ich difúzne vlastnosti. Pre identifikáciu sorpčných vlastností podľa EN 12571 sú využívané sklenené exikátory ako aj klimatické komory. Vzorky sa kondiciujú a priebežne vážia. Stav kedy sa v po sebe idúcich meraniach nezaznamená výrazná zmena hmotnosti sa považuje za ustálený stav.

Pokročilejšiu metódu pre meranie vlhkostných vlastností v laboratóriu reprezentuje duálny sorpčný analyzátor SMS DVS Resolution. Ten umožňuje popri meraní sorpcie a desorpcie meranie ďalších pokročilých vlastností materiálu ako je merný povrch podľa teórie Langmuira alebo BET, difúzne parametre, amorfný obsah a iné. Metódu dynamickej sorpcie dopĺňa ešte ortuťový porozimeter a héliový pyknometer. Tieto zariadenia majú za účel dopomôcť so stanovením retenčnej krivky, ktorá sa zostaví na základe informácií o sorpčných izotermách z dynamickej sorpcie, distribúcii mezo a makro pórov z pyknometrie a celkového objemu pórov z pyknometra. Zariadenia sú uvedené na obrázku 0.8 a popis princípu jednotlivých prístrojov a meracích metód nie je možné uviesť s ohľadom na rozsah textu. Meranie vlhkostných vlastností zameraných na nasiakavosť a pohyb vody v kapilárnom prostredí zatiaľ nie je k dispozícii, ale malo by byť dostupné spolu diferenčným skenovacím kalorimetrom a termogravimetrickým analyzátorom, ktoré majú rozšíriť laboratórium v priebehu roku 2023. Zariadenia laboratória sú aktuálne využívané pre charakterizáciu materiálov použitých v experimentálnom module woodenHAT a majú ambíciu vytvoriť lokálny materiálový katalóg, ktorý bude dostupný v našom regióne pre širokú odbornú verejnosť.



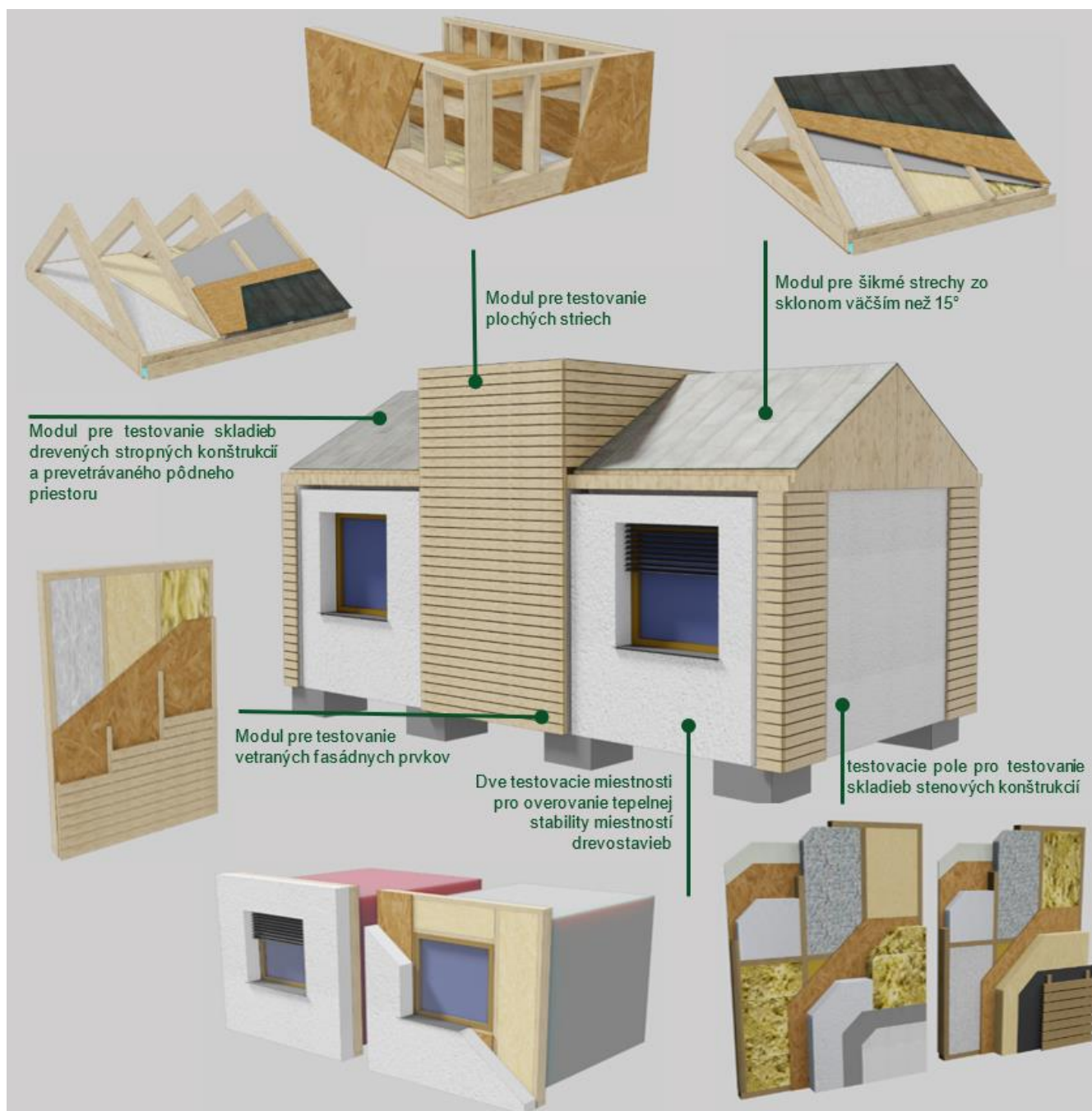
Obr. 46: a) ortuťový porozimeter, b) héliový pyknometer c) duálny sorpční analyzátor

V roku 2020 bola v rámci projektu TP2020009 v areáli Mendelovej univerzity v Brne vybudovaná experimentálna drevostavba. Experimentálny modul „wodenHAT“ vznikol ako testovací objekt pre experimentálny výskum stavebných konštrukcií drevostavieb. Objekt s rozmermi 6,5×3,5 m pozostáva z troch stenových a troch strešných modulov. Tieto umožňujú dlhodobý výskum stenových, stropných a strešných konštrukcií, prípadné čiastočné alebo úplne prestavanie modulu. Experimentálne možnosti a zámery sú uvedené na obr. 48.



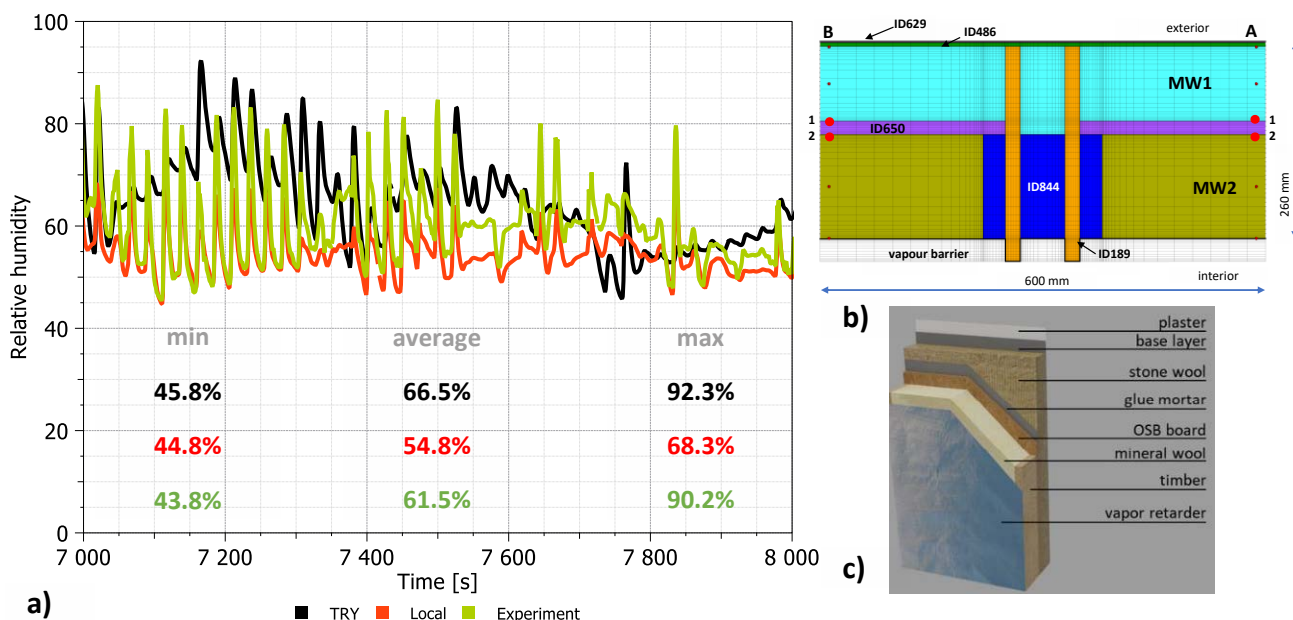
Obr. 47: a) experimentálny modul woodenHAT, b) pohľad na experimentálne steny drevostavieb z interiéru

Od začiatku roku 2021 sú merné experimentálne skladby stien orientované na juhovýchod a severozápad. Na juhovýchode je skladba steny drevostavby zateplená kontaktným zatepľovacím systémom na báze minerálnej vlny. Na severozápadnej strane je použitý kontaktný zatepľovací systém s izolantom z drevo vlákna. Nosnú časť stien tvorí stĺpiková konštrukcia s hrúbkou 140 mm izolovaná izoláciou z minerálnej vlny s nízkou objemovou hmotnosťou. Z interiéru sú jednotlivé steny ukončené rôznymi vrstvami, čo sleduje predmet výskumu, ktorým je porovnanie vlhkostných režimov konštrukcií. Skladby sú osadené senzormi, ktoré zberajú dáta približne v dvoj minútových intervaloch. Vnútorne prostredie má upravovanú klímu vzduchotechnickou jednotkou a vonkajšie prostredie je monitorované komplexnou meteorologickou stanicou.



Obr. 48: Skladba experimentálneho modulu „woodenHAT“

Popri výskume reálnej odozvy konštrukcií drevostavieb sú v mieste merané aj podrobné klimatické dáta lokálnou meteorologickou stanicou. Mimo bežných parametrov vonkajšieho prostredia, meriame aj intenzitu slnečného žiarenia a dlhovlnnú radiáciu. ambíciou je na základe meraných dát vytvoriť návrhové parametre pre hygrotermálne simulácie v danej lokalite. Dáta z experimentálnych skladiieb boli priebežne vyhodnotené a obr. 49 uvádza priebežné výsledky, kde je vidieť dobrú zhodu medzi numerickým modelom s materiálovými parametrami charakterizovanými v rámci laboratórií VJRC doplnenými o lokálne klimatické dáta v porovnaní s experimentálnym meraním.



Obr. 49: a) výsledok numerického výpočtu v konfrontácii s experimentálnymi dátami b) 2D model pre numerický výpočet c) skladba steny experimentálneho modulu

Cieľom príspevku bolo naznačiť problematiku posudzovania drevených konštrukcií z pohľadu fyziky a poukázať na nové možnosti. Tieto nástroje ešte stále nie sú v inžinierskej praxi etablované, práve pre niektoré problémy, ktoré sťažujú ich nasadenie. K tomuto na Mendelovej univerzite prebiehajú niektoré výskumné aktivity, ktoré majú za cieľ postupne doplniť chýbajúce dáta a sprístupniť tak numerické modeli širšej odbornej verejnosti.

Použitá literatúra:

- [1] GLASER, Helmut. 1958. Vereinfachte Berechnung der Dampfdiffusion durch geschichtete Wände bei Ausscheidung von Wasser und Eis. Kältetechnik.
- [2] ČSN 73 0540. 2011. Tepelná ochrana budov. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [3] STN 73 0540. 2012. Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Tepelná ochrana budov. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo.
- [4] EN ISO 13788. 2012. Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- [5] HÄUPL, Peter. 2008. Bauphysik. Berlin: Ernst und Sohn. ISBN 978-3-433-01842-2
- [6] HUKKA, A.; VIITANEN, H. 1999. A mathematical model of mould growth on wooden material. Wood Science and Technology, 33(6), 475–485.
- [7] KEHL, D. 2013. Humidity-related dimensioning of timber constructions according to WTA - Hygrothermal evaluation of the other kind. HOLZBAU - die neue quadriga. Issue 06-2013. Wolnzach: Kastner Verlag.
- [8] COMSOL. 2022. COMSOL Multiphysics® v. 6.1. [software]. Stockholm, Sweden: COMSOL AB. Dostupné na: www.comsol.com
- [9] KÜNZEL, Hartwig. 2018. WUFI [online]. Dostupné na: <http://www.wufi.de/> [cit. 20. 1. 2018].
- [10] GRUNEWALD, John. 1996. Diffusiver und konvektiver Stoff- und Energietransport in kapillarporösen Baustoffen. Dizertačná práca. Dresden: TU Dresden.

Kontakty

Ing. Richard Slávik, Ph.D.: richard.slavik@mendelu.cz