

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ**

**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT
A DÍLCŮ**

**Komponenty energeticky úsporných
pasivních domů**

Pojednání ke státní doktorské zkoušce
v oboru 36-33-9, Fyzikálně materiálové inženýrství

Doktorand:

RNDr. Jan Hollan

Školitel:

Doc. RNDr. Ing. Stanislav Štastník, CSc.

Brno 2004

Komponenty energeticky úsporných pasivních domů

Jan Hollan

VUT v Brně, FAST, Ústav technologie stavebních hmot a dílců

pojednání ke státní doktorské zkoušce, květen 2004

Obsah

1	Stav poznání v oboru	3
1.1	Proč jít pasivní cestou?	3
1.1.1	O jaké problémy jde?	3
1.1.2	Jak je řešit?	3
1.1.3	Pasivní domy jako evropský standard	4
1.1.4	A co u nás?	4
1.1.5	Co přijde dál?	5
1.2	Situace u nás a některé mé příspěvky k osvětě	6
1.3	Některá má původní zjištění	7
1.3.1	Přesušené interiéry jsou důsledkem netěsného pláště	7
1.3.2	V utěsněném domě jen nezbytný fungující vlhkoměr	7
1.3.3	Vodní páru je v zimě škoda pouštět nevyužitou ven	8
1.3.4	Materiály coby akumulátory vlhkosti	8
1.3.5	Levné úpravy oken	9
1.3.6	Zlepšení oken neprůhlednými vrstvami	9
1.3.7	Zastaralost vakuových solárních kolektorů	10
1.3.8	Těsnost budovy 0,6 nemusí stačit	10
1.3.9	Regulace topení v masivních budovách	11
1.3.10	Vnitřní izolace	11
1.4	Rámcově možné oblasti doktorské práce	11
1.4.1	Okna	11
1.4.2	Izolační schopnosti neprůhledných vrstev	12
1.4.3	Optimalizace podílu masivních a izolačních částí budovy	13
1.4.4	Zářivé ochlazování pláště budovy	14
1.4.5	Publikování nejen pro scientiometrii	14
2	Předpokládané cíle doktorské práce	14
3	Metody řešení	15
3.1	Laboratoře	15
3.2	Stínicí prvky s nízkou emisivitou	15
3.3	Termografie	15

1 Stav poznání v oboru

1.1 Proč jít pasivní cestou?

(psáno původně jako předmluva k českému překladu brožury Das Passivhaus in Niederösterreich, kterou vydá Veronica v létě 2004)

Pamětníci nebo znalci historie si možná vzpomenou na Gándhího taktiku pasivního odporu (proti britské vládě nad Indií). Ta byla účinná díky vyspělosti britské kultury a politické scény, svobodnému a kvalitnímu tisku a váze veřejného mínění. Pasivní domy mají s pasivní rezistencí cosi společného: k existujícím problémům nabízejí řešení nenásilné, neužívající složitou a drahou techniku, dostupné celé veřejnosti.

1.1.1 O jaké problémy jde?

O rostoucí koncentraci skleníkových plynů v ovzduší a převážně jí způsobenou změnu klimatu. O to, že na změně složení atmosféry, již dnes změně ohromné a dále se zvětšující, má rozhodující vinu užívání fosilních paliv. O to, že většina jejich spotřeby padá na vrub vytápění a vůbec užívání budov. O to, že vyspělé země s odpovědným vedením si uvědomují, že užívání fosilních paliv je nutné co nejrychleji utlumit. Ostatně nejen kvůli ochraně klimatu, ale třeba i kvůli tomu, aby neposílaly stále více peněz do oblastí, kde se jich nekontrolovatelná část dostává do rukou teroristů. Aby se politika mocností nemusela řídit především starostmi o zdroje nafty, kterou se leckde dosud potřebují i na topení.

Jde také o to, že v dosud běžných budovách je i přes mohutné otopné systémy a velkou spotřebu energie často nepříjemné prostředí. Za mrazů chladné kouty, průvan pod dveřmi či kolem oken, nepříjemně suchý vzduch. Jindy vzduch dosti zapáchající (hlavně, je-li v budově spousta lidí), chladná místa zdí plesnivá, v zimě se rosící okna. V létě pak často vedro, kterému se lze těžko ubránit (leđa za cenu ještě vyšší spotřeby elektřiny a opět chladného průvanu) – ostatně letních veder vinou změny složení ovzduší přibývá a bude přibývat.

1.1.2 Jak je řešit?

Špatnou kvalitu budov a velkou spotřebu energie v nich se snažili ve Skandinávii, ve Spojených státech a pak především v německy mluvících zemích řešit použitím důkladnějších tepelných izolací a užitím rozsáhlé důmyslné techniky řešit již od sedmdesátých let dvacátého století. Některá řešení se podobala spíše složitým strojům než domům: vyžadovala komplikovanou obsluhu, byla drahá a poruchová.

Nosnou ideu, která se plně osvědčila, formuloval až dr. Wolfgang Feist začátkem devadesátých let, a vzápětí též ověřil v praxi: použít konstrukci tak kvalitní, že v domě žádná složitá, drahá a poruchová technika není potřeba. Dokonce může odpadnout samostatný otopný systém. K tomu se právě vztahuje ono „pasivní“: na změny venkovní teploty nemusí rychle reagovat mohutná otopná soustava, výtečně izolovaný a utěsněný dům na ně reaguje pomalu, a drobné korekce (mírné topení či chlazení) dokáže zajistit větrací systém, který v domě tak jako tak kvůli komfortu je.

Pasivní dům je definován jen hrstkou požadavků. Hlavní z nich je ten, aby jeho potřeba vytápění byla tak malá, že ji lze zajistit jako vedlejší funkci běžného větrání: přihřátím čerstvého vzduchu na nejvýše padesát stupňů. Pro běžné budovy z toho vyplývá požadavek, aby na jeden metr čtvereční obytné plochy stačil příkon deseti wattů (tedy pro velký byt o ploše sta metrů čtverečních příkon jednoho kilowattu). A také důsledek: *pasivní domy spotřebují na topení jen asi desetinu energie než domy dosud běžné.*

Ještě v osmdesátých letech dvacátého století bylo takový přísný požadavek těžké splnit: příliš mnoho tepla utíkalo z budov okny. Devadesátá léta ale řešení přinesla: trojitě zasklení užívající hi-tech (či kouzelné, chcete-li) vrstvy ve svých dutinách, radikálně snižující únik tepla oknem ven.

Kromě této techniky (která žádnou údržbu ani obsluhu nevyžaduje) už potřebují pasivní domy jen jednu, totiž mechanické větrání s vynikající energetickou účinností. Tu lze docílit snadno, jen chtít: dnešní soustavy vymění teploty odpadního a čerstvého vzduchu více než z devadesáti procent. To dělají pasivně, jen protiproudým předavačem tepla (aneb výměníkem teplot). Některé mohou malým tepelným čerpadlem (jen o chlup větším, než je v chladničce) odpadní vzduch ochladit ještě dále až k bodu mrazu (čímž využijí i skupenské teplo páry) získaným teplem přitopit nebo ohřát vodu. Podmínkou úspěchu je vynikající těsnost budovy, aby vzduch skutečně procházel jen přes větrací zařízení. Docílit těsné budovy je pak věc pečlivosti při stavbě a následného měření a oprav vadných míst. V praxi se to bez vskutku daří, a jak ukazuje nový výzkum, těsnost se s léty nezhoršuje.

1.1.3 Pasivní domy jako evropský standard

Možnost, že by se tak úžasně kvalitní domy mohly stát běžnými, se ještě před deseti lety zdála v nedohlednu. Díky projektu CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standards) se ale velmi přiblížila. Pasivních domů je v Evropě už k začátku roku 2004 tisíce, bytů řada tisíc. Odborné odhady říkají, že k roku 2010 se v německy mluvících zemích bude v tomto standardu stavět alespoň pětina novostaveb. Možnost nárůstu podílů tak kvalitního stavění je omezená jen tempem, jak se rychle lidé od architektů přes výrobce až k řemeslníkům stihnou rekvalifikovat – někdo se učí rychleji, jiný pomalu. Zájem o pasivní domy mnohokrát převyšuje nabídku.

Evropská unie má ohromný zájem na snížení spotřeby fosilních paliv jak v absolutní tak v relativní míře. Jakékoliv budovy, které se staví nebo opravují, by měly mít spotřebu jen velmi malou, jak je to lze hospodárně dosáhnout. U novostaveb je hospodárnost pasivního standardu evidentní, náklady na stavbu jsou už dnes, když se technologie teprve začaly rozvíjet, jen nevýznamně menší než na stavění „klasické“ (zvýšení je do deseti procent, což je mnohem méně, než bývají rozdíly mezi různými nabídkami na stavění běžných budov). I při opravách se lze pasivnímu standardu alespoň velmi přiblížit a staré domů tak změnit na velmi pohodlné, trvanlivé a provozně levné. Rozhodnout se pro pasivní standard je to nejlepší penzijní přípojištění budoucích cen paliv se ten, kdo v pasivním domě bydlí, nemusí bát.

1.1.4 A co u nás?

Naše výhoda je v tom, že vývoj stavění v pasivním standardu začal a probíhá daleko nejrychleji kolem nás, v Německu a Rakousku. A také v tom, že technické tradice těchto zemí a naše jsou velmi podobné, vždyť jejich vývoj byl až do druhé světové války vlastně společný. Měli bychom být schopni do rozjetého vlaku naskočit daleko snáze než jiné země. Jedinou bariérou je zřejmě dnešní neznalost cizích jazyků, v tomto případě hlavně němčiny. Náš překlad dolnorakouské brožury, určené široké veřejnosti, chce tuto bariéru pomoci překonat. I u nás už je zájem o nejvyšší stavební kvalitu, kterou pasivní domy představují. K zájmu je nutné přidat i znalosti, na straně zákazníků i dodavatelů.

Další naší výhodou je možnost, že když se najdou výrobci komponent pro pasivní domy, nebudou zdaleka omezeni na český trh. V sousedních zemích se po jejich výrobcích jen zapráší Poptávka tam skutečně vysoce převyšuje nabídku.

1.1.5 Co přijde dál?

Již desetiletí se píše a mluví o domech, které dokonce žádné umělé dodávky energie zvenčí nepotřebují. Existují takové, ale je jich věru málo. V našem podnebném pásmu s krátkými zimními dny, kdy často po celé týdny nevysvitne slunce, je mnohem rozumnější využít nějakou snadno dostupnou formu energie nasrádanou přes léto. Pro byt v pasivním domě stačí na jeden rok pro účely topení i ohřevu vody jeden až dva „kubíky“ dřeva – a to je množství, které je opravdu dobře dostupné.

Pasivní domy jsou vlastně moderní obdobou domů tradičních. V těch venkovských bývala v zimě na půdě tlustá vrstva sena nebo slámy, takže stropem neutíkalo prakticky žádné teplo, a topilo se jen v jediné místnosti. Na topení stačilo snadno dřevo z okolí. Dnešní požadavky na bydlení jsou jiné, ale také je lze pokrýt jen tím, co nám naše krajina poskytuje. Technologie pasivních domů je zásadním předpokladem k tomu, abychom se vymanili z fatální závislosti na uhlí, ropě a zemním plynu, tohoto prokletí devatenáctého a dvacátého století.

Pasivní dům je stavebním standardem, který u kterého si je těžké představit důvod, proč a jak by se měl dále vyvíjet či zlepšovat. Samozřejmě, domy, které jsou o kousek lepší, než požaduje limit, jsou vítány, a také se takových už spousta realizovalo. Jestli ale dům spotřebuje na topení o sto kilogramů dřeva více nebo méně, je už z hlediska nákladů i z hlediska národohospodářského dost malý rozdíl.

Smysl má samozřejmě snažit se o to, aby i při stavbě domu byla zátěž pro životní prostředí co nejmenší. Prostředkem pro to je užití místních materiálů, zvláště dokonalá se jeví kombinace dřeva, hlíny a slámy – příklady takových budov již v Dolním Rakousku jsou. Jakkoliv to zní až neuvěřitelně, už samotná postavení domu z takových materiálů může znamenat příspěvek k ochraně klimatu: tuny uhlíku, který by jinak unikl do ovzduší, jsou na dlouhá desetiletí, ne-li staletí, bezpečně uloženy do stěn, stropů a střechy domu.

Jiným aspektem je, že každá opravovaná nebo nově budovaná stavba má nemalé plochy, na které dopadá sluneční záření. Je škoda, když dopadá bez užitku. I když se v pasivním domě během léta nedá všechno využít, je jistě možné, aby bylo využito v domech sousedních. Pokrytí střechy nebo té části fasády, která není využita coby okna, vrstvou, která funguje jako solární kolektor, je rozhodně rozumné. Koneckonců, oproti jinému pokrytí je zde rozdíl jen v tom, že na vnější straně je sklo a pod ním je přidána tmavá vrstva pohlcující sluneční záření. Dům v takové úpravě jistě vypadá jinak než domy klasické, ale i auta vypadají dnes jinak než před sto lety. Stavět samostatná energetická zařízení v krajině může být na pováženou, nevyužít ale ploch již beztak zastavěných, tím, že se jim přidá další funkce, je prostě plýtvání.

Možným doplněním pasivního domu je tak jeho navržení v takové podobě, že v celoroční bilanci se stává zdrojem, nikoli spotřebitelem energie. To je možné všude v husté zástavbě, kde je pro solární teplo dostatečný odběr. Totéž se může týkat topného systému: moderní biomasový kotel, či dokonce domovní teplárnu s vysokou účinností lze umístit do nového nebo opraveného domu a zásobovat i domy okolní. Problémem pasivních domů je totiž to, že tak malá topidla, která by dávala jen tolik tepla, kolik je tam potřeba, vlastně neexistují (až na ony kompaktní větrací jednotky v provedení s malým tepelným čerpadlem, ty ale spotřebovávají elektřinu, což není optimální volba). Vynikajícím příkladem takové varianty je dům z jiné části Rakouska, totiž z Villachu v Korutanech, sloužící jako sídlo tamní AEE (Sdružení pro obnovitelné energie, www.aee.at, viz ev. přímo www.aee.at/aee/infos/dokumentation_aee_buerohaus.pdf).

Jakkoliv je ale snaha získávat energii z přírodních koloběhů rozumná a pro budoucnost nezbytná, tím hlavním krokem je přestat s dosavadním ohromným plýtváním. Pasivní domy jsou, zdá se, konečným vyústěním této snahy v případě stavebnictví.

1.2 Situace u nás a některé mé příspěvky k osvětě

Příležitostí k zamyšlení nad tím byla zpráva o vývoji zejména na Moravě, kterou jsme s manželkou připravili pro dubnové „osmé zasedání k pasivním domům“ [19], čili pro světový kongres *passivhaustagung.at* – v onom textu jsou některé rozvedeny podrobněji než zde, kde se zaměřím na své vlastní příspěvky k vývoji.

V převážné většině šlo o činnost osvětovou – od přednášení jen o skleníkovém jevu a změně klimatu jsem se dostal k psaní a přednášení o hospodaření s energií, stavební problematice jsem se věnoval ve stejnojmenné brožůře [1]. Významným počinem byla série seminářů o nízkoenergetických budovách pořádaná v Domě ochránců přírody na Panské 9 v Brně v polovině devadesátých let minulého století. Ta přispěla ke vzniku okruhu vážných a poučených zájemců o architekturu nejvyššího ekologického standardu, jaká bohužel existovala jen v zahraničí. Na tomto seriálu se podíleli i další fyzici, kromě mé manželky Yvonne Gaillyové též Jiří Svoboda (ten v dalších letech pokročil tak daleko, že se rozhodl postavit vlastní rodinný dům blízky pasivnímu standardu, který letos již dokončuje [28]).

Během seminářů začalo fungovat také energetické poradenství v rámci Ekologické poradny Veronica, což bylo zpočátku na mých bedrech a jak se záhy ukázalo, týkalo se zpoloviny právě stavění a oprav budov. Na základě zkušeností z těchto kontaktů jsem v letech 1997 a 1998 vyvíjel první texty, které shrnovaly základní pravidla nízkoenergetického stavění – postupně se dle zkušeností s dotazy vyvíjející brožurku [7] a leták [8].

Samostatnou kapitolou byly práce na tom, aby se i v České republice zařadila ovčí vlna mezi materiály používané jako tepelné izolace ve stavebnictví, podobně jako v sousedním Rakousku. Šlo současně o to, aby se k tomu využila hrubá vlna z domácích chovů, pro kterou je jinak málo použití. Originální technologii vyvinul Vladimír Štork z Textilního zkušebního ústavu, moje role byla změřit její izolační vlastnosti, navrhnout vhodná použití a také tento materiál uvést do povědomí české veřejnosti. Texty k tomu viz [24].

V novém tisíciletí jsem kromě umístění již existujících textů na Internet (www i ftp) založil také několik elektronických konferencí (mailinglistů) s archivy, s použitím moderního softwaru umožňujícího kompletní ovládání pomocí běžných prohlížečů (např. `amper.ped.muni.cz/ekodum`). Záhy poté vznikl obdobný mailinglist „ekodum“ i na pražské technice (`web.fsv.cvut.cz/mailman/listinfo/ekodum`) a postupně, vzhledem k aktivitě sdružení Ekodům (`www.ecn.cz/ekodum`), se stal mailinglistem nejživějším, nověji i s plným uživatelským komfortem. Do těchto konferencí jsem zpočátku hodně přispíval. Využíval jsem je i k tomu, že na dotazy jsem takto odpovídal veřejně, s tím, že odpověď na svou otázku v nich najdou pomocí prohlížečů i další zájemci. Tak to také již léta funguje.

Novější alternativou psaní do takových konferencí je prosté zveřejňování některých dopisů, které jsem dostal nebo poslal, formou obdobnou, jako mají archivy mailinglistů, což již také léta činím ([26], takových dopisů lze pak využít formou udání jejich URL, aniž by bylo nutno stejnou věc popisovat znovu).

Milníkem ve vytváření povědomí o stavění nejvyšší kvality byl seminář uspořádaný skupinou Archall na naší fakultě v zimě 2001. Pro seminář jsem připravil zárodek rozsáhlého souboru poznámek k typickým omylům a nedorozuměním, se kterými jsem se jako ekologický poradce v případě budov setkával, „Opravník“ [13] (název je samozřejmě inspirován kdysi známou Součkovou knihou). Na semináři jsem hovořil jen krátce o jedné otázce, kterou si publikum vybralo, více času nebylo.

Dalším krokem na jaře téhož roku byl seminář Masarykovy univerzity, jehož hlavním cílem bylo ovlivnit zadání nového kampusu tak, aby zcela vybočil z dosavadní české stavební praxe a alespoň se přiblížil pasivnímu standardu – má přednáška na něm viz [11].

V dalších letech jsem napsal několik článků do nového časopisu ERA21, přednášel, a účastnil se dvou projektů: přípravy regenerace panelových domů v Novém Lískovci v Brně a v menší míře též příprav Seminárního centra v Hostětíně, přednášky o tom viz [16] a [17]. Inicioval jsem českou účast na první evropské dílně stavění z balíků slámy (Rakousko 2002) a pak se podílel na dvou realizacích v Hostětíně (kromě [17] podrobněji viz [21]). Pro zejména evropské odborníky jsem zřídil a udržuji mailinglist amper.ped.muni.cz/strawbale.

To byly ale hlavně aktivity osvětové nebo organizační, pro mou činnost doktoranda je relevantnější, co jsem vykonal na poli badatelském.

1.3 Některá má původní zjištění

Jde mnohdy o poznatky až překvapivě prosté, až se sám divím, že jsem je nenašel nikde publikované dříve, než jsem na ně přišel sám. Opanovaně si ale ověřuji, že i zkušeným architektům, stavařům a stavebním fyzikům jsou mnohé neznámé.

1.3.1 Přesušené interiéry jsou důsledkem netěsného pláště

Snad nejstarším z nich je poznatek, proč mívají lidé dnes v zimě doma či v práci tak suchý vzduch, že je jim to nepříjemné a že se tomu snaží čelit jeho zvlhčováním. I v naší rodině jsme to tak s manželkou, ač oba fyzici, ještě před patnácti lety dělávali. Setkal jsem se i s radami, že nízké vlhkosti je potřeba čelit vyvětráním. **Nízká relativní vlhkost v interiéru je ale důsledkem příliš vydatného zimního větrání**, často nevědomého – daného netěsností domu. Větrání netěsnostmi je tím vydatnější, čím je venku větší mráz. Zatímco v době, když je venku absolutní vlhkost dostatečně vysoká, není vydatné větrání na újmu komfortu, v mraze znamená přílišné větrání významný diskomfort. Kdysi se projevoval i tím, že někde studeně táhlo, a lidé tak nalezené netěsnosti opravovali. V době ústředních a jiných topení s velkými výkony bývá uvnitř tak horko, že si lidé průvanu nevšimnou, a netěsnosti ponechávají. Na vině ovšem není topení, ale právě jen malá těsnost budovy. Pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší v mrazivých měsících roku je její utěsnění nezbytností. Pak zejména v domácnostech, kde jsou kromě dýchání a pocení i jiné zdroje vlhkosti (koupelny, pračky, vaření, květiny) rozhodně problém nepříjemně nízké vlhkosti (pod čtyřicet procent) nenastává. Naopak, u domu bez důkladné vnější tepelné izolace může být potřeba vlhkost nad padesát procent odvětrat (ač je příjemná), aby studené plochy nevlhly a nerostla na nich plíseň.

S tímto zjištěním souvisí má kritika označení „přirozené větrání“, pokud se vztahuje na větrání netěsnostmi. Netěsnosti vedou vždy k diskomfortu, a nepohodlné interiéry nejsou ničím přirozeným.

1.3.2 V utěsněném domě jen nezbytný fungující vlhkoměr

Aby ale člověk mohl v neizolovaném, ale alespoň trochu utěsněném domě snížit vlhkost na neškodnou úroveň, musí vědět, jaké parametry vzduch v interiéru má. Je nezbytností věnovat kromě prostředků na utěsnění také šest set korun na vlhkoměr, nejlépe digitální spojený s teploměrem. A je také nezbytné údaje vlhkoměru ověřit psychrometricky pomocí měření vlhkým a suchým teploměrem. Vlhkoměry totiž často měří chybně, staré vlasové a membránové vlhkoměry dokonce nemusejí na změny vlhkosti reagovat vůbec – v neutěsněném domě to může mít pozitivní důsledek v tom, že lidé jsou spokojeni, že doma „mají“ stále oněch příjemných řekněme 55 %. To je ovšem vyloučeno, interiérová vlhkost v mraze a v létě je velmi různá, i při minimálním vhodném větrání klesá až ke čtyřiceti procentům (ba i níže, ke třiceti, pokud se nehospodaří vhodně se zdroji vlhkosti), v českém létě pak bývá i přes sedmdesát procent. O nezbytnosti spolehlivého

měření vlhkosti jsem psal v [6] či v poznámkách k projektům utěšňování (nevhodně nazývaného „zateplování“) [23],

Kontrola vlhkosti je snadná a její možnost zcela vyvrací námitku, že utěsnění by nemělo být příliš dokonalé, aby interiér nezplsnivěl. Mělo by být co nejdokonalejší. Vytětrání je pak v mraze otázka pár minut, pokud by se ukázalo jako vhodné (čichově, přijdeme-li zvenčí, nebo vlhkoměrem).

1.3.3 Vodní páru je v zimě škoda pouštět nevyužitou ven

V interiéru bez opravdu vydatných zdrojů vlhkosti bývá i při mírně utěsněném plášti zbytečně sucho. Tím spíše u domů s důkladnou tepelnou izolací, které mají celý vnitřní povrch pláště teplý, vylučující tvorbu plísně – u nich není v zimě na závadu ani příjemná vlhkost přes šedesát procent, obdobná vlhkosti letní. Opakovaně jsem proto kritizoval praxi, že se často celoročně odvádí vlhký vzduch z koupelny, přestože by v zimě byl v interiéru velmi užitečný. Místo odvodu ven by v mrazivých měsících bylo na místě posílat vzduch z koupelny do zbytku interiéru, alespoň když není olfaktoricky nevhodný. Větrací systémy by takovou možnost měly na zimu zahrnovat, mohly by tak být i automaticky řízeny (minimem je omezení zimního odtahu na kuchyni a záchod). O této možnosti se zmiňuji např. v [4]. Tam se i odvolávám na shodný názor vídeňské architektky, jak jsem jej slyšel na jednom z nedávných seminářů k pasivnímu stavění (citaci doplním).

Jinde jsem takové doporučení nezaznamenal, jen zmínky o tom, že tempo automatického „větrání pro komfort“ je vhodné v mraze snížit, aby se jeho vinou komfort nekazil.

1.3.4 Materiály coby akumulátory vlhkosti

Při projektu stavebního využití ovčí vlny jsem ve shodě se zahraničními vzory zdůrazňoval její schopnosti přijímat a vydávat vodní páru. Postupně jsem si ale uvědomil, kdy má taková schopnost vůbec nějakou výhodu.

Je to jen tehdy, když jsou v interiéru nárazové zdroje vlhkosti (vaření, sprchování, příp i praní), která není ihned odvětrána odtahy. Materiály, které vodní páru z ovzduší rychle odjímají, ji pak mohou opět vracet, až např. nárazovým vytětráním (nebo i trvalým větráním) poklesne. Rychlé snížení vlhkosti sorpcí do interiérových materiálů lze docílit toho, že ani v neizolovaném domě nehrozí přechodné přílišné zvlhčení studených míst (koutů, ploch za skříněmi stojícími u vnější zdi apod.).

Za ideální materiál se považují omítky z nepálené hlíny. Ovčí vlna reaguje snad ještě rychleji, ale není snadné tuto schopnost využít. Ve více textech jsem odmítl blud, že akumulační schopnost interiéru může zvýšit absence parozábrany – v zimě tlak par směrem ven klesá, a tedy difuzní tok je také směrem ven. Tok dovnitř se může odehrávat jen v povrchové vrstvě omítky (je-li ona sama parozábranou), nebo prostě na vnitřní straně od parozábrany, v prostředí, které je daleko od rosného bodu.

Pro ovčí vlnu jsem tak navrhl unikátní použití, kdy se její tenká vrstva (max. pětina celkové izolační tloušťky) umístí v podkroví pod parozábranu. Tam se její příjemné vlastnosti mohou projevit. Valná většina izolační tloušťky pak může být z materiálu levnějšího, vně od parozábrany. Dobré vlastnosti vlny se ale uplatní jen tehdy, když do ní může pára volně difundovat, což se nestane, je-li např. schovaná za souvislou sádkartonovou plochou. Doporučil jsem místo toho jen látkový potah, nebo alespoň mezeru za neprodyšným obkladem, umožňující dostatečnou konvekci [25].

I tak je to ale řešení jen nouzové. Podkroví zůstávají méněcenným obytným prostorem, omítnuté zdi, nejlépe hliněnou omítkou, poskytují komfort vyšší i v ohledu vlhkostním.

Uvedl jsem někde i hypotézu, že příjemné vnitřní klima budov z nepálené hlíny, jakých je v mnoha venkovských oblastech dosud převážná většina, je dáno sezónním vyrovnáváním vlhkosti: i když jsou netěsné a v mraze příliš větrané, vlhkost se doplňuje z masivních zdí, v parném létě se tam naopak odčerpává. (Hypotézu uvádějí i jiní, je-li ověřená, nevím, mělo by to být snadné). Pro utěsněné budovy s tzv. komfortním větráním (tichým mechanickým, se zemním kolektorem a rekuperací) je sezónní vyrovnávání málo významné a vyrovnávání denních cyklů zajistí pouhá omítka.

1.3.5 Levné úpravy oken

Vyzkoušel jsem a publikoval dvě úpravy, radikálně zvyšující komfort, a přitom levné a rychlé. Jedna z nich se týká těsnění oken: alternativou k modernímu frézování drážek a použití silikonových dutých těsnicích profilů je lepení proužků pěnového polyetylenu. Problémy, které přitom mohou nastat, a jak na ně, jsem popsal v [6] (jde hlavně o problém, že nově instalované těsnění klade odpor při zavírání – řešením je přidávat každý týden další úsek těsnění, aby předchozí části byly mezitím už vytvarované a odpor nekladly). Trvanlivost tohoto velmi levného a rychlého řešení je pozoruhodně vysoká: omezená jen příštím natíráním (jinak rozhodně přes deset let).

Pokud vím, v Evropě ojediněle byly mé instalace průhledných fólií na okenní rámy namísto donedávna doporučeného přídatného skla. O takové americké praxi jsem si přečetl v publikacích Amoryho Lovinse – ve Spojených státech takové soupravy pro zimní úpravu oken jsou i na trhu (firma 3M).

Přípevněním fólie na okenní rám vznikne nová dutina, jejíž vzduch se nemůže promíchávat se vzduchem v interiéru (nebo v meziokenním prostoru, u dvojitých oken). Kromě toho fólie částečně přerušuje i zářivý přenos. Úplně ne, na rozdíl od skla – to je také jediná její nevýhoda. Odhaduji, že dvojitě okno, kde jsou fólie na vnitřním i vnějším křídle, izoluje jen o málo lépe než okno se třemi vrstvami obyčejného skla.

Značnou propustnost všech běžných tenkých fólií pro dlouhovlnné infračervené záření jsem si ověřil jednoduchými pokusy se snížením sálání kamen, kvalitativními i kvantitativními, s užitím elektronického teploměru a parabolického zrcadla coby bolometru. Tenké čistě uhlovodíkové fólie jsou propustné téměř úplně, fólie obsahující kyslík (polyesterové) mohou mít propustnosti kolem jedné poloviny.

Přesto je jejich přípevnění jako další vrstvy okna často velmi užitečné – např. v kuchyni, kde se tak dá u běžného okna zabránit jeho zimnímu orosování.

Stručný text s obrázky viz [15].

1.3.6 Zlepšení oken neprůhlednými vrstvami

Neprůhledné nebo jen částečně průhledné vrstvy se v oknech užívají zejména v létě jako ochrana proti slunci, nověji též v noci jako ochrana proti venkovním lampám. Nenašel jsem ale v literatuře ani opakovanými dotazy u výrobců různých žaluzií a rolet žádný náznak povědomí o tom, jak takové vrstvy zlepšují tepelně izolační vlastnosti okna, tím méně pak nějaké konkrétní hodnoty. Co hůře, zcela absentuje znalost ohromného rozdílu mezi hliníkem nenatřeným a hliníkem pokaženým nátěrem, pokud jde o jeho vlastnosti v dlouhovlnném infračerveném oboru.

Pokud vím, nikdo na světě přede mnou nepublikoval upozornění, že nenatřená hliníková vrstva (žaluzie či pokovená roleta) může tepelné vlastnosti okna ohromně zlepšit, mnohem více než vrstva natřená. Jedinou neznámou zůstává vliv konvekce – pohyblivé zastínění není tak těsné jako zasklení.

Navrhl jsem také jednoduchou metodu kvalitativního posouzení emisivity jakékoliv plochy nepropustné pro dlouhovlnné záření: spočívá v tom, že plochou projdeme před svým obličejem,

nacházíme-li se v prostředí, které je zřetelně chladnější. Plocha s nízkou emisivitou (čili vysokou odrazivostí, jako čistý hliník) nás „hřeje“, neb vrací záření s teplé tváře zpět. Pocit je obdobný, jako když před tváří projde naše teplá dlaň.

Takovým jednoduchým testem i měřením s pomocí kamen jsem ověřil že úprava hliníku eloxováním jeho nízkou emisivitu nepokazí. Podobně nemají zvýšenou emisivitu ani obalové hliníkové fólie obarvené, ale zachovávající si kovový vzhled (o jakou technologii ale, si nejsem jist, možná též o eloxování).

1.3.7 Zastaralost vakuových solárních kolektorů

V rámci projektu v Novém Lískovci jsem porovnal vlastnosti různých typů solárních termálních kolektorů. Šlo přitom o vyvrácení dosud velmi rozšířené představy, že nejvíce tepla poskytnou kolektory s evakuovanými trubicemi.

Že to tak být nemusí, naznačuje už jejich podíl na rakouském trhu, nejvyspělejších v Evropě, jen několik procent. Rozhodně tedy nemají vhodný poměr cena/výkon. Ale co když máme na domě na kolektorovou plochu málo místa, nejsou ty vakuové lepší?

Dojem, že jsou lepší, vzniká jen tím, že jejich účinnost bývá vztahována na zcela nerelevantní plochu, totiž plochu absorberu. Vztáhne-li se na plochu, kterou kolektor na střeše či fasádě zabírá, tedy brutto plochu (na jiné stěží záleží), je to kupodivu jinak. Vakuové kolektory jsou buď úplně „děravé“, nebo (jsou-li trubice v ohniskových přímkách zrcadlových žlabů) přece jen na pohled méně černé než kolektory ploché. Při ohřevu na nízké teploty jsou tak vždy méně účinné. teprve při pracovních teplotách nad šedesát stupňů (přesněji rozdílu šedesáti stupňů oproti okolí) mohou mít vyšší účinnost než dnešní hi-tech ploché kolektory. Takové pracovní teploty ale nejsou v bytové oblasti typické, a tak je celoroční účinnost vakuových systému nižší...

Jediná oprávněná běžná nika pro vakuové kolektory tak vzniká tam, kde si takový vzhled přeje architekt či zákazník. Jinak by měly přijít ke slovu až v případech kdy je potřeba ohřívat na teploty přes sto stupňů.

Oblíbenost vakuových kolektorů u nás (a zčásti i v Německu) vzniká zřejmě nepochopením, že většina přenosu energie v dutinách (okna, kolektory) se děje zářením. A že zářivý přenos lze takřka eliminovat použitím vrstvy s nízkou emisivitou na jedné straně dutiny. Taková vrstva může být nápadná (hliník a většina jiných čistých kovových povrchů), téměř neviditelná („pokovení“ v dnešních izolačních dvoj a trojsklech), nebo téměř černá (přesněji namodralá, na solárních absorberech).

V textu pro Nový Lískovec [4] to též rozebírám, spolu s vhodností použití tlustých velkoplošných kolektorů s dřevěnou „vanou“ jako kompletní izolační vrstvy na jižní fasádě budovy. Vakuové trubice byly zajímavým řešením pro běžné účely jen v době, kdy ještě černé povrchy s nízkou emisivitou nebyly dostupné.

1.3.8 Těsnost budovy 0,6 nemusí stačit

V posudku pro Nový Lískovec jsem upozornil na skutečnost doposud opomíjenou. Stupeň těsnosti udávaný jako limit pro pasivní domy, totiž 0,6 objemu interiéru za hodinu při rozdílu tlaků uvnitř a venku 50 Pa, je adekvátní jen pro budovy jedno- či dvoupodlažní. U nich skutečně zaručí, že jen malý zlomek vzduchu obejde rekuperátor. U mnohopodlažních domů tomu tak ale není.

V mrazivém období je totiž tlakový spád uvnitř a venku natolik rozdílný že i drobné netěsnosti vedou k tomu, že domem „táhne jak komínem“. V lískoveckém případě (sklepní podlaží a osm obytných) může rozdíl tlaků dosahovat až třiceti paskalů. Ještě vyšší mohou být dynamické tlaky působené větrem ve výšce dvaceti metrů nad terénem.

Doporučil jsem proto pro tak vysoké domy, mají-li být vybaveny větráním s centrální rekuperací, limit $n_{50} = 0,2$. To je limit náročný, ale reálný: právě ten bývá v nejlepších realizacích pasivních domů dosahován.

1.3.9 Regulace topení v masivních budovách

Pro obec Hostětín, kde jsou prakticky všechny obývané domy napojené na štěpkovou výtopnu, jsem vypracoval návod, jak topit. Podstatnou radou v návodu bylo, že u tamních masivních domů (většinou dobře vodivá nepálená hlína tl. 60 cm) nemá valný smysl snažit se zapínáním a vypínáním topení během dne snížit spotřebu. Dům za několik hodin vystydne jen nepatrně a integrál rozdílu teplot uvnitř a venku za topné období, jemuž jsou topné náklady přímo úměrné, se tak téměř nezmění. Dokonce ani vypínání na víkend nemá mnoho smyslu, pokud dům není velmi netěsný a nestydne průvanem. Brožura [27] byla tak myšlena i jako protiváha k propagandě, jak mnoho se dá ušetřit regulací. Ušetření padá v úvahu jen tam, kde se jinak přetápí (a zimní teplota se reguluje větráním). Ani tam ale nemusí pomoci, pokud se bude podobně přetápět (vinou zvyku uživatelů) dál.

1.3.10 Vnitřní izolace

Zejména v posudku pro Nový Lískovec [4] jsem zdůraznil užitečnost vnitřních izolací u domů, jejichž vnější plášť izoluje velmi dobře. Bez vnitřních tepelných izolací je pak nutně téměř izotermický, což uživatelům nemusí vyhovovat. Pro regeneraci panelových domů jsem navrhl, aby nájemníkům byly nabízeny prefabrikované izolační panely, které si jako „tlustou tapetu“ mohou přiložit ke stěnám k sousedním bytům nebo např. ke stěnám ložnice. To má smysl hlavně když chtějí docílit prostoru chladnějšího, a to slušným způsobem, ne pouze mohutným odvětráváním příliš teplého vzduchu. V principu ale i v případě, že chtějí mít doma tepleji než mají sousedi.

Jako izolační materiál takových lehkých panelů s vhodnou povrchovou úpravou jsem navrhl ovčí vlnu. Podmínkou její plné využitelnosti je velmi dobrá difuze z interiéru do izolační vrstvy.

Takové obkladové panely by izolovaly i akusticky, tuto funkci by bylo vhodné optimalizovat. V úvahu přichází nabídka panelů různé tloušťky – vyššího komfortu za cenu zmenšení volného prostoru v interiéru.

1.4 Rámcově možné oblasti doktorské práce

plynou z některých problémů zmíněných výše i ze stavu oboru pasivního stavění ve světovém kontextu, jak jej do značné míry ukázal dubnový 8. kongres o pasivních domech *passivhaustagung* at. Jde o problémy fyzikální povahy, které doposud nebyly řešeny vůbec nebo jen nedostatečně, které mne zajímají a kterými jsem se už případně i zabýval. Všechno jsou to i problémy důležité pro praxi. Kterým případně věnovat pozornost, kromě hlavního, uvedeného na konci v „závazné“ části pojednání Předpokládané cíle doktorské práce, to je věc, kde uvítám rady odborníků z výzkumu i praxe.

1.4.1 Okna

Významnou oblastí je výzkum okenních souvrství s pohyblivými zastiňovacími prvky, pokud jde o jejich tepelné vlastnosti. Je pravděpodobné, že s jejich použitím lze na pasivní standard zlepšit i běžná dvojitá okna: vnější sklo změnit na nejlépe izolující dvojsklo a do dutiny okna pak umístit stínící zařízení z nepokaženého hliníku.

Celá taková okna lze stěží umisťovat do laboratorních zařízení, jejich vlastnosti je nutné měřit „in vivo“. Jedinou možností je zřejmě měření poměrové, totiž srovnávání povrchových teplot oken různých konstrukcí (nebo obecně různých souvrství) pomocí infrakamery.

Zlepšení starých „kastlových“ oken na pasivní standard (s přídatnými užitečnými vlastnostmi, jako eliminací letního přehřívání) je velkou výzvou. Opakovaně jsem upozorňoval na nesmyslnost náhrady takových vlastně ideálních oken jednovrstvými „eurookny“, s mohutným tepelným mostem kolem jejich rámu, a nemožností snadno integrovat trvanlivé a účinné stínění do jejich konstrukce. Je ale potřeba ukázat, jaká je ta správná cesta při rekonstrukcích domů.

Použití dobře tepelně izolujících stínících prvků umožní též zbavit se starostí, zdali okenních ploch není příliš mnoho. Za zimního slunného dne mohou být v provozu všechny, v noci žádné, v horkém létě jen jejich část. Pro úvahy a počítačové simulace je ale potřeba znát proměnné vlastnosti takových ploch.

U okenních souvrství je ještě jedna neznámá, totiž rozpor mezi výsledky standardního programu Window5 a údaji výrobců či stavebních tabulek. Ve druhém případě jde o vztah tloušťky dutiny a izolačních vlastností (tabulky udávají monotónní závislost, Window závislost s maximem pod třemi centimetry, různě pro různé plyny). V prvním případě by mohlo jít o vliv nočního „studeného nebe“, které laboratorní měření nesimulují.

1.4.2 Izolační schopnosti neprůhledných vrstev

Pro „ekologické“ stavění jsou žádoucí materiály místní, s minimem vložené energie, získané z přírodních koloběhů (a zase do nich vratné), s vysokým podílem místní práce tím i přínosem pro zaměstnanost a ekonomiku regionu. Dřevo je jedním z nich, dalším pak hlína, mě pak speciálně zájímá sláma. Ta na rozdíl od předchozích dvou je k dispozici v použitelné podobě jaks automaticky, v důsledku obhospodařování polí, kde se lisuje do balíků.

U slámy jako tepelné izolace je jedna záhada, totiž proč většina autorů v posledních desítkách let udávala, že izoluje dvakrát hůře než „pravé“ tepelné izolanty. Není tomu ale tak, balíky s objemovou hmotností kolem sta kilogramů na krychlový metr izolují takřka stejně... Jak jsem našel v databázi NIST, je to známo už od čtyřicátých let... [31].

Záhada má dvě možná řešení, nikoliv nezávislá. Jedno spočívá v možné nižší izolační schopnosti velmi málo slisovaných balíků. Druhé pak v roli, kterou v izolační vrstvě může hrát konvekce. Ta se samozřejmě u málo slisovaných balíků rozvíjí dříve.

Tepelný tok každou vrstvou s obsahem tekutin má složku zářivou, konduktivní a případně i konvektivní. Ta se neuplatní jen tehdy, když je zvrstvení vodorovné s vyšší teplotou nahoře (nebo, zahrneme-li do konvekce i nucené proudění, když eliminujeme i to).

Příkladem je prostor pod stropem sklepa. Není-li ve sklepě průvan, pak pouhým nalepením hliníkové fólie (či připevněním pokovené plastové fólie kovovou stranou dolů) na strop lze docílit snížení měrné tepelné prostupnosti stropu až na hodnotu blízkou $0.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, tedy na úroveň zářivého přenosu při emisivitě jednoho z povrchů 0,1 (viz např. údaj v [32]), neb vedení tepla tlustou vrstvou vzduchu je zanedbatelné. V případě průvanu to tak příznivé není, stejné hodnoty lze docílit jen napnutím fólie ve výšce až např. deset centimetrů pod stropem (pokovenou stranou nahoru) a důkladným utěsněním vzniklé dutiny, aby se fólie shora nezaprášila. Je to alternativa k použití až osmicentimetrové vrstvy pěnového polystyrénu. (Nejsem si jist, zdali takové doporučení někdo jiný publikoval.)

Konvekce se nemůže uplatnit u materiálů pěnových, uplatňuje se tam ale zářivý přenos, nejsou-li stěny bublin pro záření nepropustné, a to nejsou. Pěnové materiály lze zlepšit (přídavkem „dlouhovlnného tmavého pigmentu“, např. grafitu v případě polystyrénu (Isorast na výstavě k 8.

Passivhaustagung), používá se i přísada reflexní (hliník) [?]. Dosavadní zlepšení činí až dvacet procent.

U slaměné izolace máme založen velkorozměrový pokus, totiž tepelný akumulátor s izolační slaměnou vrstvou tloušťky téměř jeden metr. Konvekce byla při stavbě omezena vkládáním vrstev papíru mezi balíky, ale oddělení není asi dokonalé. V každém případě bude probíhat uvnitř jednotlivých balíků a také nad tankem, kde balíky bohužel nebyly oddělovány vůbec. Soustavné měření tepla dodaného a odebraného ze zásobníku by mělo začít už letos v létě, odtud vyplynou také izolační vlastnosti slámy v běžné stavební praxi.

Alternativní metodou zkoumání by měl být výpočetní model, použitelný pro všechny vláknité materiály, kdy izolují ve svislé vrstvě nebo v konfiguraci, že teplota směrem vzhůru klesá (zimní podkroví). U slámy speciálně lze studovat vliv anizotropie, kdy může být balík v jednom směru (podél vláken) prodyšnější.

Jakkoliv je sláma ohromně slibným a plně použitelným materiálem pro stavbu pasivních domů (jak už ukázala i praxe) i pro dodatečné izolace domů dosavadních, stojí za to znát její tepelné vlastnosti co nejlépe.

Jeden příklad izolace existující cihlové zdi realizujeme už letos, na nově postaveném skladu pro moštárnu v Hostětíně. Sklad má ambiciózní cíl aby ani v nejhorších zimách nepromrzl, tj. aby se stal nadzemním sklepem vyhříváním jen svou podlahou. V jeho případě nepůjde o zkoumání tepelných vlastností slámy, ale o ověření technologie jejího připevňování ke zdi, dle návrhů, které jsem vypracoval, i technologie omítání vzniklé, ne zcela hladké vrstvy.

1.4.3 Optimalizace podílu masivních a izolačních částí budovy

Jedna taková úloha je triviální: jediná místnost, u níž je předepsána tloušťka stěny. Pokud chceme, aby stačil co nejmenší příkon na udržování příjemné vnitřní teploty v mraze, věnujeme celou tloušťku zdi izolační vrstvě.

Pokud chceme, aby měla místnost co nejlepší tepelnou stabilitu, jsou-li podlaha i strop jen lehké, tj. tepelnou akumulaci mají převzít obvodové zdi, je to úloha na maximalizaci součinu dvou čísel, jejichž součet je dán. Jednomu z nich, tloušťce vnitřní masivní nosné zdi, je úměrná tepelná kapacita domu, druhému, tloušťce vnější izolační vrstvy, tepelný odpor pláště budovy. Maximum nastává pro rovnost obou čísel, tj. skladbě, kdy je masivní akumuláční část stěny stejně tlustá jako izolační vrstva. Požadavkům na pasivní domy může v tomto případě vyhovět zeď o tloušťce šedesáti centimetrů.

Takový případ je ale zjevně nereálný, podlaha a strop zanedbatelnou hmotnost nemívají a především mít nemusí. Kromě toho je známo, že „třicítká“ masivní zeď sice přispěje k pomalosti poklesu teplot řekněme za jeden týden, kdy se netopí, ale její zlomek (max. třetina) se uplatní při vyrovnávání teplot v denním cyklu.

Simulace pasivních domů i zkušenosti s nimi ukazují, že na akumuláčních schopnostech budovy záleží jen velmi málo. Přesto se přiznává, že masivnější konstrukce mohou mít v extrémních případech nějaké výhody. Jako úkol své práce si беру vyjasnit, v jakém rozmezí ještě masivní prvky v budově mají význam v cyklu denním (zimní insolace, letní vedra) a týdenním (možnost topit např. jen o víkendu místním dřívím), a to podle toho, z jakého jsou materiálu.

Část řešení je ovšem již známa, moderní zdící prvky umožňují stavět nosné zdi v tloušťkách jen dvacet centimetrů. Větší tloušťky smysl rozhodně nemají. Je zajímavé, že z oněch dvaceti centimetrů se uplatní v denním cyklu více v případě, že jde o cihly z nepálené hlíny, je totiž tepelně vodivější. Je potěšitelné, že Wienerberger už začal nabízet i nepálené varianty některých svých tvárníc (na výstavě k 8. Passivhaustagung).

Jako skutečně zajímavý problém vidím **použití tepelných izolací v interiéru** – pro možnost studenější ložnice, teplejší koupelny, a u vícebytových domů i pro možnost výrazně různých teplot v bytech. U domů, kde plášť i vnitřní zdi byly ze stejného materiálu, takový problém téměř neexistoval.

Optimalizace pro třetí tisíciletí nemůže ale zahrnovat jen tepelné vlastnosti domu. Jiným rozhodujícím kritériem je příspěvek budovy ke skleníkovému jevu, zhruba řečeno, množství uhlíku vázaného v budově a fosilního uhlíku emitovaného kvůli její stavbě a provozu.

1.4.4 Zářivé ochlazování pláště budovy

Drobné, ale pro praxi důležité téma se týká prevence periodického ochlazování pláště budovy pod rosný bod. U důkladně izolovaných staveb je pro to jediná cesta: snížit zářivé ochlazování tak, aby se teplota pláště i za jasných nocí přiblížila teplotě vzduchu. Cílem práce je porovnat možnosti silikátových omítek, pokud jde o snížení jejich emisivity, s ochranou konstrukční (stíněním bud' hned u fasády a stíněním vegetací či přídatnými budovami). Úvodní úvaha viz přednáška [20].

1.4.5 Publikování nejen pro scientometrii

V naprosté většině případů jsem se zatím spokojil s tím, že jsem nějaký problém vyřešil (nebo alespoň otevřel) a umístil text o tom na Internet. Však si jej tam vážní zájemci najdou. Věc má háček v tom, že jsem většinu z toho napsal jen česky, a českých zájemců je přece jen omezený počet. Věda je ale záležitostí světovou.

Rád bych proto umístil některé výsledky do prestižních světových médií s recenzním řízením a dobrým impaktním faktorem. Uvítám v tom pomoc zkušených badatelů. Vhodně publikované výsledky se také stanou užitečné pro mnohem širší publikum.

2 Předpokládané cíle doktorské práce

Z mnoha témat, která se nabízejí, nelze v rámci jedné disertace vyřešit všechna. Z hlediska rozvoje oboru mi jako nejdůležitější připadá téma zmíněné v části Okna, totiž **zjištění tepelně izolačních schopností oken doplněných stínícími prvky s různými emisivitami povrchů**.

Význam tematu daleko překračuje obor pasivních domů. Statisíce metrů čtverečních žaluzií, které jsou u nás instalovány v dutinách zdvojených oken, by mohly mít zřetelný přínos ke snížení nočních tepelných ztrát domů. A ještě mnohem větší, pokud by se nahradily žaluziemi, jejichž emisivita není zvýšená na dvacetinásobek nátěrem. Jen je potřeba zjistit, jak velký přínos by to byl.

Primární cíl mé práce lze tedy formulovat stručně: zjistit izolační vlastnosti okna, v jehož dutině je žaluzie. Samozřejmě pro různá provedení takových žaluzií, zejména zatím velmi vzácných čistých, jen oxidovaných hliníkových povrchů.

V oboru pasivních domů výsledek takového zkoumání otevře možnost nešetřit prosklenými plochami, a přesto nemít velké zimní ztráty ani přehnané letní zisky. Zato mít maximální zisky zimní, i maximální komfort z hlediska denního světla a výhledu ven.

Sekundární cíl je **zjistit tepelné vlastnosti pro další stínící systémy**, především vnější rolety různých provedení (zejména s nenatřeným hliníkovým povrchem).

„Vedlejším“ výsledkem takového zkoumání bude **vypracování metody měření tepelných vlastností oken v zabudovaném stavu, pomocí termografie**. Tento výsledek by ale mohl být pro praxi možná nakonec nejvýznamnějším.

3 Metody řešení

3.1 Laboratoře

Možný je **přístup čistě laboratorní**. Takovou laboratoř ale česká akademická půda nemá a asi není reálné ji vybudovat. Není nicméně vyloučeno, že taková měření již realizovaly nebo mohou mít zájem realizovat (pro své zákazníky nebo pro vlastní potřebu) i laboratoře komerční. Nebo i laboratoře akademické jinde na světě. Metoda, která z toho vyplývá, začíná navázáním kontaktů s řadou z nich, v první řadě s laboratoří ve Zlíně. Pokud by se taková cesta podařila, mělo by to výhodu v tom, že výsledné hodnoty by byly stavebním průmyslem brány se stejnou vážností jako obvyklé údaje o izolačních schopnostech různých zasklení.

3.2 Stínící prvky s nízkou emisivitou

Další, či v každém případě nutnou doprovodnou metodou je **nalezení výrobků (žaluzií, ale i rolet), jejichž povrchy nejsou poškozené nátěrem**. Takové výrobky jsem na výstavách již viděl, jde o to je sehnat. Alternativně bude nutné **obvyklé výrobky laku zbavit**, pro vědecké účely to dostačuje, a výsledky mohou pohnout výrobce k tomu, aby nelakované produkty začal nabízet.

3.3 Termografie

Vzhledem k nejistotě dostupnosti laboratorních měření, i vzhledem k verifikovatelnosti hodnot v praxi, bude ale nutno **vyvinout metodu měření „v terénu“**, tj. **u oken zabudovaných ve skutečných stavbách**. Tam je zřejmě možnost jediná: použít kameru zobrazující v oboru dlouhovlnného infračerveného záření, tedy tzv. **termografii**. Ohromnou výhodou je, že takový cenný přístroj již na ústavu máme. Využití termografie bude hlavní metodou mé práce, k ní proto připojuji několik závěrečných poznámek.

Termografická metoda má značnou komplikaci v tom, že nezjišťuje přímo teploty povrchů, ale jen „množství záření“ z nich (přesněji, zář modifikovanou nějakým filtrem, daným např. spektrální propustností optiky a citlivostí detektoru). To odpovídá teplotě jednoznačně jen v případě absolutně černého tělesa (např. malého otvoru do velké dutiny). Záření z reálných povrchů obsahuje sníženou složku emitovanou (nebo emisivita je menší než 100 %) a složku odraženou.

Odraz je zpravidla difuzní, nezcadlový, až právě na případ skel. Přímé porovnání hodnot pro sklo a zeď je tak obvykle nemožné, ve skle se zrcadlí vždy konkrétní scéna se zpravidla jinou září než je průměr řekněme přes celý poloprostor, a to zejména při snímkování z exteriéru. Jen snímkování z interiéru, je-li dostatečně izotermický, takové porovnání teplot „lesklých“ a „matných“ povrchů (lesklost se posuzuje v daném oboru vlnových délek) umožňuje. Při snímkování z exteriéru lze porovnávat jen dvě skleněné plochy odrážející prakticky tutéž scénu. Jinak je nutno použít matnou malou „nálepku“, která daný kus skla promění v plochu stejných difuzních vlastností, jaké má plocha srovnávací (nejlépe je, když kromě toho mají všechny plochy i stejnou emisivitu).

Reálná měření lze konat jen v době, kdy jsou teploty v interiéru a exteriéru dostatečně rozdílné, a navíc málo proměnné. V létě padají v úvahu rána po jasných nocích, je to ale možnost jen nouzová. Ideální jsou zimní dny se silně zataženým nebem a bezvětřím, s malým kolísáním teplot mezi dnem a nocí (např. vytrvalé inverze). V teplé části roku je lépe se věnovat teoretické práci, nebo pak zpracování dat.

Termografické stanovení měrné tepelné prostupnosti oken bude valnou většinou jen poměrové. Porovnávat lze různé varianty oken, případně lze nahradit okenní křídlo pěnovou vrstvou se spolehlivěji známými vlastnostmi. Ideální je stěna se dvěma nebo více okny vedoucími do téhož,

co možná izotermického interiéru (to může znamenat potřebu vypnout radiátory pod okny). Nabízí se např. měřit v rámci procesu, kdy někdo svá okna bude ve spolupráci s námi zlepšovat.

Absolutní stanovení hustoty tepelného toku skrze okno je možné pomocí termografie také, ale jen do té míry, do jaké je znám koeficient přestupu tepla z okna do prostoru, v němž snímujeme. Ten je nejistý minimálně o desítky procent, vzhledem k nejistotám ohledně proudění vzduchu kolem skla. Někdy takové odhady užitečné být mohou, výhodné jsou rychlostí získání i nezávislosti na znalosti parametrů jiných částí budovy.

Vyvinutí termografické metody pro tento účel a její ověření v praxi dá stavebnictví mocný nástroj. Jedním snímkem lze zjistit důležité vlastnosti budov starých i nových, např. pro jejich kolaudaci nebo pro úvahu o tom, jak je případně opravit. Lze kontrolovat vlastnosti oken po letech a desetiletích provozu. Lze ověřit, zdali údaje výrobců a dodavatelů nejsou v rozporu se skutečností.

Má práce zahrne s jistotou jen základní kroky, tj. vytvoří metodu měření se základním nezbytným vědeckým softwarem, a zjistí reálné hodnoty pro různé případy. Půjde o obdobu toho, co jsem v elementární podobě vykonal v případě měření jasů, viz rozsáhlá zpráva `amper.ped.muni.cz/noc`, jen o obdobu fyzikálně mnohem komplikovanější.

Samozřejmě se může rozvíjet dál, např. až k vytvoření pohodlného softwaru, který umožní zájemcům zjistit vlastnosti oken jen na základě toho, že jim někdo pořídí vhodné termografické snímky, a oni je pak sami zanalyzují nějakou online aplikací na webu. Praktická termografie by se tak stala nikoliv luxusem (jehož cena je daná časem a kvalifikovanou prací majitelů kamer), ale levnou záležitostí, kdy jedinou drahou částí by bylo pořízení snímků – těch ale lze v dané lokalitě pořídít mnoho pro řadu budov, stačí, aby se jejich majitelé domluvili.

Reference

- [1] Hollan J (ed): **Hospodaření s energií**. IV. zvláštní číslo časopisu *Veronica*, 1994. Vydává Regionální sdružení ČSOP Brno, Panská 9, 601 91 Brno.
(Publikaci dostaly díky podpoře MŽP i všechny české obce. Díky podkladům od rakouských kolegů v ní byly představeny tehdejší nejlepší příklady energeticky úsporného, ekologického stavění. Kromě hlavního tematu, totiž neplýtvání energií, se publikace věnovala i jejímu neškodnému čerpání z přírodních koloběhů. Jako inspirativní čtení může posloužit i dnes.)
- [2] Hollan J: **Remarks on a pilot project of renewing the Oblá 14 house in Brno, Nový Lískovec**. 2003, online as amper.ped.muni.cz/jenik/passiv/obl14_jhen.pdf. For an older Czech version, a bit outdated, see [4].
(The text is a response on an unpublished set of drawings etc., for a comprehensive info about the project see [5])
- [3] Hollan J: **Second remarks on a pilot project of renewing the Oblá 14 house in Brno, Nový Lískovec** 2003, online as amper.ped.muni.cz/jenik/passiv/obl14_jha.pdf
- [4] Hollan J: **Poznámky k pilotnímu projektu regenerace panelového domu na Oblé 14**, 2003, online (in Czech) as amper.ped.muni.cz/jenik/passiv/obla14_jh2.pdf or amper.ped.muni.cz/jenik/passiv/obla14_jh2.html. [2] is an updated English version of this text)
- [5] Lari A, Reinberg W, Treberspurg M: **Strategien zur Ökologischen Sanierung von Plattenbauten am Beispiel der Siedlung Kamenný Vrch in Brno Nový Lískovec, Tschechische Republik**. Wien 2001, online as www.eva.wsr.ac.at/publ/pdf/cz_bau.pdf
- [6] Hollan J: **Jak zlepšit okna a nejen ta**. *Veronica*, 1999, ISSN 1213-0699. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/okna/okna_tes.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/okna/okna_tes_html
(Text pro návštěvníky Ekologické poradny, probírající také těsnění a větrání.)
- [7] Hollan J: **Stavby pro třetí tisíciletí - levné, pohodlné a trvanlivé**. *Veronica*, 1998, ISSN 1213-0699. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/stavby.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/stavby.html
(Základní text o stavění a opravách budov, nabízený návštěvníkům Ekologické poradny, zastaralý v tom ohledu, že ani nezmiňuje pojem pasivního domu.)
- [8] Hollan J: **Prozíravé (odpovědné) stavění**. *Veronica*, 1998. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/prozir.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/prozir.html
(Leták A4 o stavění a opravách budov, nabízený návštěvníkům Ekologické poradny, zastaralý v tom ohledu, že ani nezmiňuje pojem pasivního domu.)
- [9] Hollan J: **Proč stavět pasivní domy**. *ERA 21*, 2002/1, ISSN 1213-6212. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/koncepty/proc_pas.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/koncepty/proc_pas.html

- [10] Hollan J: **Okna v pasívních domech**. *ERA 21*, 2002/1, ISSN 1213-6212. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/koncepty/okna_pas.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/koncepty/okna_pas.html
- [11] Hollan J: **Hlavní principy nízkoenergetické výstavby**. Přednáška na semináři Masarykovy univerzity, 2001, viz např. amper.ped.muni.cz/jenik/passiv/mu_passi.pdf (Výklad, který měl MU přesvědčit, že nový kampus má být postaven v pasivním standardu. Fólie k přednášce nejsou veřejně dostupné, protože mnohé jsou převzaty z Passivhausinstitutu, který má na ně copyright.)
- [12] Hollan J: **Recenze knihy Humm,O., Nízkoenergetické domy**. *Veronica* 1999, ISSN 1213-0699. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/recenze/humm.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/recenze/humm.htm. (Recenzi je možné užít i jako errata. Obsahuje řadu hypertextových odkazů.)
- [13] Hollan J: **Opravník oblíbených architektonických omylů**. Přednáška na semináři Nízkoenergetické domy, VUT v Brně 2001. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/koncepty/ooao.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/koncepty/ooao.htm. (Živě tehdy zazněla jen jedna kapitola z tohoto souboru. Často jde o omyly spíše „stavařské“, abych architektům nekřivdil. 19 stran A5.)
- [14] Hollan J: **EnergieSparMesse 2001**. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/clanky/wels01.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/clanky/wels01r.html. (Pobídka pro všechny, aby jeli na nejvýznamnější veletrh ve střední Evropě, pokud jde o neplýtvání energií a využití obnovitelných zdrojů. Stavební část veletrhu nese název Baumat. 15 stran A5.)
- [15] Hollan J: **A cheaply improved window**. Brno 2002, see astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/houses/win_adap.html
- [16] Drápalová J, Hollan J, Zlámal T: **Nejkvalitnější bytové domy v Česku: regenerované „paneláky“ v Novém Lískovci v Brně**. *Proceedings of Second International Conference of Central European Energy, Efficiency and Renewable Energy Sources*. Praha 2003, str. 23-25 a 38. ISBN 80-239-1142-2. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/prednasky/nl_ceeres.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/prednasky/nl_ceeres.htm.
- [17] Gaillyová Y, Machů R, Trnka L, Hollan J, Orsák D: **Hostětín na cestě k nefosilnímu zásobování energií – realizované projekty a další záměry**. *Proceedings of Second International Conference of Central European Energy, Efficiency and Renewable Energy Sources*. Praha 2003, str. 35-37 a 26. ISBN 80-239-1142-2. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/prednasky/ho_ceeres.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/prednasky/ho_ceeres.htm.
- [18] Gaillyová Y, Hollan J: **Domy s faktorem X**. Přednáška na konferenci UNEP Udržitelná spotřeba - výzva pro 21. století www.ekoporadna.cz/konference.php. Online “foils” www.ekoporadna.cz/pdf/cz/ekodomy.pdf (2.5 MB, Czech), text with smaller images available as astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/prednasky/

pruho_t.pdf (1.5 MB, in Czech) or as **Houses with factor X** www.ekoporadna.cz/pdf/en/ecohouses.pdf (0.5 MB, some images missing, in English) or rather astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/lectures/pruho_t.pdf (0.2 MB).

- [19] Gaillyová Y, Hollan J: **Moravia on its passive way** *Contribution to the (8.) Passivhaustagung 2004*. Online as astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/lectures/8pht_mo.pdf
- [20] Hollan J: **Zářivé toky a emisivity v praxi (vlastnosti silikátových materiálů)** *Sborník konference JUNIORSTAV 2004*, VUT v Brně, FAST, ISBN 80-214-2560-1. Online (in Czech, English title **Radiant fluxes and emissivities in practice**) astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/prednasky/toky_emi.pdf (0.2 MB, 6 pages A5) or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/prednasky/toky_emi.htm
- [21] Hollan J: **Dvě stavby z balíků slámy v obci Hostětín 5**. *Odborná konference studentů doktorského studia s mezinárodní účastí*, Brno 2003, VUT FAST, ISBN 80-7204-265-3. Online (in Czech, English title **Two strawbale constructions in Hostetín**) astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/prednasky/slama_dk5.pdf (0.15 MB, 4 pages A4) or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/prednasky/slama_dk5.htm
- [22] Hollan J: **Globální oteplení a my** – inscenace v planetáriu v Brně (1999) a v Ostravě (2002) a stejnojmenná brožurka se scénářem (Hvězdárna ve Valašském Meziříčí, 1999). Některé grafy jsou dostupné z amper.ped.muni.cz/gw. (Přímo stavění se věnuje závěr pořadu, zdůrazňující potřebu užívat tepelné izolace o větších tloušťkách, než mají nosné části zdí, užívání superoken, těsnost budov atd., i možnosti svépomocného zlepšení budov.)
- [23] Hollan J: **Posudky projektů podaných Nadaci Partnerství**, 2001-2003 jsou zveřejněny v anonymizované podobě a jen některé, viz astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/recenze/projekty
- [24] Hollan J: **Stavební izolace z ovčí vlny**, Brno 1998, *Veronica*. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/vlna/arch.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/vlna/arch.html
- [25] Hollan J: **Ukázka izolace podkrovní místnosti**, *Veronica*, Brno 1998. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/vlna/krov.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/vlna/krov.html
(Použití ovčí vlny jako vlhkostního bufferu směrem dovnitř od parozábrany.)
- [26] Hollan J: **archiv vybraných dopisů**, od 2001. Viz jsou zveřejněny v anonymizované podobě a jen některé, viz amper.ped.muni.cz/jenik/letters/public
- [27] Hollan J: **Vytápění s automatickou regulací**, příručka pro obyvatele Hostětína, 2001. Online astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/topeni/host_ekv.pdf or astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/topeni/html/host_ekv.html
- [28] Svobodová J: **Nízkoenergetický nízkonákladový dům v Brně-Žebětíně**. Text pro brožuru, kterou vydá *Veronica*, Brno 2004.

- [29] Schneider U: **Nachhaltige Lebensqualität – Ökologisch optimierter Dachausbau und integrierte Revitalisierung in einem Wiener Gründerzeithaus** Přednáška na symposiu *Althausanierung mit Passivhauspraxis*, Wien 2003.
(Citovaná poznámka paní architektky o vhodnosti nepouštět cennou vlhkost z koupelny v zimě pryč není ve sborníku, zazněla jen na semináři samotném. Obdobnou lze najít na stránkách ateliéru www.pos-architekten.at)
- [30] Eberstaller R, Schmitz K-H: **Die Neue EPS Dämstoffgeneration ist silbergrau**. Sborník 8. *Europäische Passivhaustagung*, Zentrum für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems (www.donau-uni.ac.at), 2004, pp 179–185.
(Příklad takového materiálu od firmy prvního z autorů je sunpor.at/anwendungen_lambdaapor.htm.)
- [31] Hollan J: **NIST data on insulation properties**. A letter to the mailinglist, amper.ped.muni.cz/strawbale/2002-May/000006.html.
(Just an advice, how to find the NIST item on straw from 1949.)
- [32] Hollan J: **Teplo skrze okna (pracovní poznámky)**. Brno 2000, astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/stavby/okna/pozn_o.pdf
(Text užitečný leda pro odborníky zajímající se o obdobnou věc. Samotného textu je tam velmi málo, jinak jen výpočty a tabulky.)
- [33] Hollan J: **Tepelná čerpadla pro topení jsou historickou anomálií** *CD Tepelná Čerpadla*, Liga energetických alternativ, Praha 2003. Online viz lea.ecn.cz/cdtc.html, doplněná a korigovaná verze je astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/topeni/tep_cep_lea.pdf nebo astro.sci.muni.cz/pub/hollan/e_papers/topeni/tep_cep_lea.html.
(Pobídka lidem z tohoto oboru, aby se pustili do věcí perspektivnějších a užitečnějších, jako jsou pasivní domy a technologie pro ně.)