



**PASIVNÍ
DOMY 2014**

31. ŘÍJNA – 1. LISTOPADU, BRNO

PASIVNÍ DOMY 2014

**SBORNÍK Z 10. ROČNÍKU
MEZINÁRODNÍ KONFERENCE**



**CENTRUM
PASIVNÍHO
DOMU**



**INŠTITÚT PRE
ENERGETICKY
PASÍVNE DOMY**



PASIVNÍ DOMY 2014

SBORNÍK Z 10. ROČNÍKU MEZINÁRODNÍ KONFERENCE

Název PASIVNÍ DOMY 2014

Vydavatel



Údolní 33, 602 00 Brno
info@pasivnidomy.cz
www.pasivnidomy.cz
t +420 511 111 810

Editor publikace Jan Bárta

Překlad Tomáš Staněk

Titulní strana František Eliáš

Fotografie na titulní straně: první certifikovaný pasivní dům v ČR (2013), Chytrý dům s.r.o.

Vydání první, 2014

Text publikace neprošel redakční ani jazykovou úpravou.

Kopírování jednotlivých příspěvků je možné jen se souhlasem autorů.

ISBN 978-80-904739-4-2

Obsah

Základní umělecká škola Karla Malicha Holice – v pasivním energetickém standardu	7
Dalibor Borák, DOBRÝ DŮM, s.r.o.	
2015 – Brusel zpasivňuje – od stimulace k regulaci	17
Grégoire Clerfayt, Divize Energie, Bruxelles - Environnement, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement	
2015 – Brussels goes passive – From stimulation to regulation	28
Grégoire Clerfayt, Division Energie, Bruxelles - Environnement, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement	
Energetická efektivita oken historických budov	39
Dagmar Exner ¹ , Elena Lucchi ¹ , Alexandra Troi ¹ , Franz Freundorfer ² , Mathilde André ³ , Waltraud Kofler Engl ⁴	
Energy efficiency of windows in historic buildings	48
Dagmar Exner ¹ , Elena Lucchi ¹ , Alexandra Troi ¹ , Franz Freundorfer ² , Mathilde André ³ , Waltraud Kofler Engl ⁴	
Renovace bytového domu Gallašova, Brno	57
Ing. Michal Hučík, Atelier Hučík	
Ing. Petr Vostál, energetikastaveb.com	
Radek Peška, Evora CZ, s.r.o.	
Nejnovější vývoj vzduchotechniky ve světě	81
asoz. Prof. Dr. Ing. Rainer Pfluger, Universität Innsbruck, Oddělení pro energeticky efektivní budovy	

Latest Progress in Ventilation Systems Worldwide	92
asoz. Prof. Dr.-Ing. Rainer Pfluger, Universität Innsbruck, Unit Energy Efficient Buildings	
Kaskádové větrání – poznatky pro navrhování obytných místností bez otvorů pro přívod a odvod vzduchu	103
Gabriel Rojas, Dr. Rainer Pfluger	
Cascade ventilation – Planning considerations for living rooms without supply and extract air outlets	114
Gabriel Rojas, Dr. Rainer Pfluger	
Solární fototermický a fotovoltaický ohřev vody	124
Tomáš Matuška, Bořivoj Šourek, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT	
Stanovení výnosů a optimalizace systému fv ohřevu bez MPPT sledovače, alternativní metody přizpůsobení	133
Ing. Tomáš Vocílka	
PHPP verze 8.5 CZ – popis a novinky oproti předchozí verzi	157
Juraj Hazucha, Centrum pasivního domu	
„designPH“ – plugin pro Trimble Sketchup Modelovací 3D nástroj pro zadávání geometrie budov do PHPP	168
David Edwards, Londýn; Harald Konrad Malzer, Innsbruck	
“designPH” – a plugin for Trimble Sketchup 3D modelling tool to input building geometry into PHPP	177
David Edwards, London; Harald Konrad Malzer, Innsbruck	

Základní umělecká škola Karla Malicha Holice – v pasivním energetickém standardu

Dalibor Borák, DOBRÝ DŮM, s.r.o.

Minská 198/60, Brno, tel.: 602 510 808, e-mail: borak@dobrydum.cz, www.dobrydum.cz

1. Autoři projektu

Ing. arch. Helena Boráková, Ing. arch. Dalibor Borák, Pavel Daněk, DOBRÝ DŮM, s.r.o.

tepelná technika: Ing. Stanislav Kučera, Ing. Jan Pivec

expertní činnost: Ing. arch. Josef Smola, Ing. Jiří Šála

autor fotografií: Ing. arch. Dalibor Borák



2. Investor

město Holice zastoupené místostarostou panem Vítězslavem Vondroušem, za podpory pana starosty Ladislava Effenberka.

Základní umělecká škola v energeticky pasivním standardu má deset učeben a komorní koncertní sál pro hudební obory, taneční sál, dvě učebny pro výtvarnou výchovu a v přízemí velký víceúčelový sál. Vstupní prostory, schodiště a foyer zdobí plastika od Karla Malicha. Další plastika od tohoto umělce je zavěšena na průčelí budovy.

Budova se nachází v centru města Holice na Pardubicku. V sousedství jsou kvalitní díla architektury dvacátého století – sokolovna, Muzeum Emila Holuba a kulturní dům. Novostavba byla umístěna tak, aby vznikl jasně vymezený veřejný prostor. Pro architektonický výraz byla důležitá kompaktnost tvaru budovy a technicky správné provedení všech detailů.

Projekt budovy byl zpracován pro stavební firmu BW Stavitelství, Holice, zastoupenou panem Milanem Bakešem, spolumajitelem, která zvítězila ve výběrovém řízení na dodavatele stavby včetně prováděcího projektu.

3. Stavební řešení

Stavba je založena na pasech z monolitického betonu, obvodové stěny jsou z keramických tvarovek Porotherm 36,5 T, vnitřní nosné stěny z betonových tvarovek. Pro eliminaci tepelných mostů oddělují stěny od spodní stavby desky z pěnoskla o tloušťce 50 mm. Ocelové sloupky vynášejí stropy zešikmeného rohu a také průvlak nad prosklenou stěnou jihozápadní fasády.

Stropy jsou z prefabrikovaných železobetonových panelů Alidal tl. 210 mm s nadbetonávkou. Stropní konstrukci nad schodištěm tvoří ocelové nosníky s trapézovým plechem, střecha nad koncertním sálem je vynášena vazníky z tenkostěnných ocelových profilů BORABELA. Střešní skladba má požární odolnost 30 minut.

3.1. Tepelné izolace

U obvodových stěn je jednoplášťový kontaktní zateplovací systém z minerální vaty tl. 200 mm. Sokl byl do hloubky 1000 mm a do výšky 300 mm nad terénem izolován soklovým XPS tl. 200 mm. Ve střešní konstrukci byla použita minerální vata ISOVER tl. 400 mm. V podlahových konstrukcích na terénu tvoří tepelnou izolaci desky z EPS tl. 300 mm.

3.2. Vzduchotěsná rovina

Vzduchotěsná rovina je na vnitřním líci obvodové stěny, v místě železobetonových věnců a uložení stropních panelů přechází z vnitřního líce zdi pod věncem ven, zvenku na věnec a

zpět na vnitřní líc budovy. Podobné řešení bylo zvoleno i u atiky střechy, vzduchotěsnou rovinou je foliová střešní krytina, s rovinou stěn se spojuje pod oplechováním atiky.

Blower-door test 0,2 v podtlaku i přetlaku shodně.

4. TZB

Pro malé místnosti byl navržen centrální systém teplovodního vytápění s nucenou cirkulací a teplotním spádem 50/40 °C. Zdrojem tepla pro vytápění a ohřev teplé vody je trojice tepelných čerpadel vzduch-voda. Tepelná čerpadla jsou osazena na západní straně střechy.

Sály a foyer jsou vytápěny vzduchotechnicky, zdrojem tepla jsou tepelná čerpadla vzduch-vzduch, která umožňují také chlazení. Klimatizační a větrací jednotky jsou sestaveny z ventilátorů přívodního a odvodního vzduchu, filtrů v potrubí, rotačního hygroskopického rekuperátoru, přímého výparníku (ohřívače/chladiče na chladivo R410A) a elektrického ohřívače.

Sání čerstvého vzduchu pro větrání je přes sací komory na severní fasádě, do učeben se vzduch přivádí výstkami osazenými ve stěně. Pro zamezení přeslechů mezi učebnami, byly v potrubí osazeny tlumiče hluku. Foyer je větráno společně s dalšími funkčně propojenými prostory. Nad vstupními dveřmi byla umístěna teplovzdušná vzduchotechnická clona, která také vytápí vstupní prostory školy.

Možnost přirozeného větrání celého domu otevíráním oken ve všech místnostech a možnost „předchladiť“ budovu před konáním akcí otevřením oken a klapek, které jsou primárně navrženy pro odkouření domu při požáru.

5. Stínění budovy

Okna na východní, jižní a západní straně budovy jsou vybavena vnějšími žaluziemi. Sestava na každé fasádě je samostatně řízená nadřazeným systémem měření a regulace na základě skutečného slunečního svitu dopadajícího na fasádu a teplot v přilehlých místnostech.

6. Energetická náročnost objektu - tepelně technické vlastnosti základních konstrukcí

Střecha: $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$

Obvodová stěna: $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

Podlaha: $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$

Okna: $U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vstupní dveře: $U_d = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$

Neprůvzdušnost obálky budovy: $n_{50} = 0,2 \text{ h}^{-1}$ (Blower-door test)

Zdroj tepla: tepelná čerpadla vzduch/voda.

Měrná spotřeba energie na vytápění: $EP_{H,A} = 8 \text{ [kWh/(m}^2\text{.rok)]}$

Větrání: Vzduchotechnické jednotky s rekuperací tepla. Měrná spotřeba energie na mechanické větrání $EP_{\text{Fans},A} = 6 \text{ [kWh/(m}^2\text{.rok)]}$

Chlazení pro sály: Měrná spotřeba energie na chlazení $EP_{C,A} = 3 \text{ [kWh/(m}^2\text{.rok)]}$

Příprava teplé vody: Centrální se zásobníkem. Měrná spotřeba energie na přípravu teplé vody $EP_{\text{DHW},A} = 2 \text{ [kWh/(m}^2\text{.rok)]}$

Osvětlení: LED svítidla a lineární zářivky. Měrná spotřeba energie na osvětlení $EP_{\text{Light},A} = 21 \text{ [kWh/(m}^2\text{.rok)]}$

Měrná spotřeba energie na celkovou podlahovou plochu: $EP_A = 40 \text{ [kWh/(m}^2\text{.rok)]}$

Třída energetické náročnosti budovy: A – MIMOŘÁDNĚ ÚSPORNÁ (PASIV dle TNI)



7. Realizační tým

Investor: Město Holice, Mgr. Ladislav Effenberk, Ing. Vítězslav Vondrouš

Projekt: Dobrý dům, s.r.o. – Ing. arch. Helena Boráková, Ing. arch. Dalibor Borák, úpravy exteriéru Ing. arch. Petr Jureček

HIP – koordinace: Pavel Daněk

Statika: Ing. Ondřej Vlček

Požární bezpečnost: Ing. Boris Lenert

Energetické řešení: Ing. Stanislav Kučera, Ing. Jan Pivec,

Expertní spolupráce: Ing. arch. Josef Smola, Ing. Jiří Šála

Akustika: Ing. Tomáš Hrádek, SONING Praha a.s.

Blower-door test: Mgr. Stanislav Paleček, Radion.cz

Realizace: BW – Stavitelství, s.r.o. – Ing. Milan Bakeš, stavbyvedoucí Ing. Jaromír Friml, manažerka stavby Helena Hanslová

Technický dozor: Libor Matoušek, Limma cz s.r.o.

Vizuální systém: Aleš Najbrt, Studio Najbrt,s.r.o.

Výtvarná díla: Karel Malich, za podpory Galerie Zdeněk Sklenář

Zastavěná plocha: 604,5 m²

Užitná plocha: 2041,3 m²

Objem budovy: 9256,4 m³ (objemový faktor A/V - 0,3)

Celkové stavební náklady: 43 mil. Kč bez DPH











KURZY O CHYTRÉM STAVĚNÍ PRO ODBORNÍKY

**STAŇTE SE TĚMI, KTERÍ
PASIVNÍM DOMŮM ROZUMÍ.**



Karon s.r.o.

OD NÁVRHU PO REKONSTRUKCI V SOULADU S NOVOU LEGISLATIVOU

Umět navrhovat pasivní domy dnes znamená mít náskok pro zítřek. Už od roku 2020 budou muset být v souladu se směrnicí o energetické náročnosti budov 2010/31/EU z 19. 5. 2010 (EPBD II) všechny novostavby navrhovány a prováděny v energetickém standardu s téměř nulovou spotřebou energie. Na české půdě se konečně objevil komplexní vzdělávací program o navrhování a kontrole pasivních a nulových domů. Nabídka 7 kurzů pokrývá všechny oblasti, které k úspěšné stavbě potřebujete.

NOVINKA

KURZ „NAUČTE SE PRACOVAT S PHPP“

Ušetřete spoustu času! Naučte se pracovat s PHPP na specializovaném kurzu zaměřeném na zvládnutí tohoto oblíbeného výpočtového nástroje. Navrhujte pasivní domy pomocí programu, který byl vytvořen na míru výzvám energeticky úsporných budov! Kurz vedou experti Centra pasivního domu.

**A
KURZ**

ÚVOD K NAVRHOVÁNÍ PASIVNÍCH A NULOVÝCH DOMŮ

Jednodenní kurz A je určen pro ty, kdo chtějí získat základní přehled o oboru energeticky šetrného stavění, ale zatím vzdělávání nemohou věnovat více času. Seznámí se s aktuálními požadavky na energetickou náročnost budov a porozumí také základním principům návrhu energeticky efektivních budov. Vhodné i pro laiky.

**B
KURZ**

POKROČILÝ KURZ NAVRHOVÁNÍ PASIVNÍCH A NULOVÝCH DOMŮ

Rozšířený třídní kurz B se zabývá problematikou základních principů návrhu budov v souladu s EPBD a přinese účastníkům kurzu příklady řešení, která budou použitelná i při vlastních návrzích budov. Součástí kurzu jsou také ukázky konkrétních řešení a návazností dalších konstrukcí a technického zařízení.

**C
KURZ**

EXPERTNÍ KURZ NAVRHOVÁNÍ PASIVNÍCH A NULOVÝCH DOMŮ

**EXPERTI
DOPORUČUJÍ**

Desetidenní kurz C obsahuje podrobné a komplexní informace nezbytné pro návrh budov s téměř nulovou potřebou energie se zaměřením na praktické poznatky včetně všech souvislostí a vztahů mezi jednotlivými opatřeními. Účastníci se naučí, jak navrhovat pasivní a nulové domy a jak optimalizovat návrh z ekonomického a ergonomického pohledu.

**D
KURZ**

ZAJIŠTĚNÍ KVALITY PASIVNÍCH A NULOVÝCH DOMŮ

**PRO STAVBY-
VEDOUČÍ**

Třídní kurz D je úzce specializovaný na zajištění kvality budov na stavbě i v projektové přípravě. Přinese účastníkům znalosti nových technologií používaných v energeticky úsporné výstavbě a potřebné informace pro zajištění kvality provedení. Dva dny teoretického základu se zaměřením na ukázky z praxe jsou doplněny jednodenní výukou v terénu.

**E
KURZ**
**PRO
TZB SPECIALISTY**

NAVRHOVÁNÍ A INSPEKCE SYSTÉMŮ VĚTRÁNÍ A VYTÁPĚNÍ V PASIVNÍCH A NULOVÝCH DOMECH

Dvoudenní kurz E se zaměřuje na návrh otopných soustav a větracích systémů v budovách s velice nízkou potřebou tepla a také na inspekci systémů vytápění a klimatizace dle požadavků směrnice EPBD II.

**F
KURZ**

ENERGETICKY EFEKTIVNÍ RENOVACE STÁVAJÍCÍCH BUDOV

Dvoudenní kurz F přináší účastníkům detailní informace o navrhování rekonstrukcí stávajících budov s cílem maximálně snížit jejich energetickou náročnost. Důraz bude kladen také na ukázky z praxe a praktická cvičení.

Ke kurzům D, E, F mohou účastníci absolvovat zdarma přípravný, tzv. „nulový“ den, který jim osvětlí základní principy navrhování pasivních domů.

Nový vzdělávací program pro podporu odborníků vznikl v rámci projektu „Tvorba vzdělávacího programu pro odborníky v oblasti energeticky úsporné výstavby v Jihomoravském kraji“ (reg. č. CZ.1.07/3.2.04/03.0057), který je spolufinancován z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.

2015 – Brusel zpasnivuje – od stimulae k regulaci

Grégoire Clerfayt, Divize Energie, Bruxelles - Environnement, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement

Gulledelle 100, B-1200 Bruxelles, www.bruxellesEnvironnement.be

Telefon: +32 3 775 79 15, e-mail: gclerfayt@environnement.irisnet.be

1. Od vzorových budov ...

Z pohledu energie byla v roce 2004 obvyklá praxe týkající se výstavby a změn dokončených budov v Bruselu charakterizována nedostatkem ambicí. Tento přístup vyplýval z chybějící regionální politiky. Během následujících dvou let nastal v důsledku mnoha informačních a osvětových kampaní počátek rozvoje kultury energií a ovzduší. V roce 2007 zahájil Bruselský region (RBC) významný podpůrný program pro výstavbu a renovaci budov vyznačujících se velmi vysokými energetickými a ekologickými parametry: šlo o výzvu k podávání projektů na „vzorové budovy“. Tato výzva k podávání projektů se týká všech zadavatelů stavebních prací v Bruselu, ať už jsou to soukromé osoby, veřejné orgány, polostátní subjekty nebo soukromé podniky (developerské firmy, neziskové organizace a další). Způsobilé budovy musí být umístěny v RBC a musí sloužit některému z následujících účelů: rodinnému či kolektivnímu bydlení, administrativě nebo jako obchodní či průmyslové budovy. Projekt se může týkat nové výstavby, změn dokončených budov nebo kombinace obou. Vzhledem k tomu, že jsou přípustná všechna využití, způsobilé jsou budovy od malých (cca. 120 m²) až po velké (cca. 55 000 m² nebo více). V letech 2007 až 2013 bylo vyhlášeno šest výzev k předkládání projektů, jichž se zúčastnilo 372 žadatelů a z nichž bylo vybráno 243 projektů pro poskytnutí dotací v celkové výši 33 milionů EUR (max. 100 € / m²). Tyto projekty představují celkovou plochu 621 000 m², z nichž 350 000 m² jsou pasivní domy. Některé z nich již dosáhly standardu NZEB.

Četné projekty renovací také ukázaly, že je možné dosáhnout velmi vysoké úrovně energetického řešení, v některých případech dokonce i úrovně pasivního domu. Výzvy na vzorové budovy posloužily také k ověření tvrzení, že pasivní standard je zcela dostupný a nevede k významnému navýšení nákladů na bytové domy, školy a úřady, novostavby ani rekonstrukce.

1.1. Několik údajů:

6 výzev /// 361 přihlášených projektů /// 243 vzorových budov /// 39 % tvoří projekty změn dokončených budov /// 621 000 m² včetně 350 000 m² pasivních /// 100 projektů s veřejným zadavatelem, 143 soukromých /// 18 obcí /// 15 313 m² bytových objektů soukromých + 199 161 m² kolektivního bydlení, nebo 1866 bytových jednotek včetně 762 „sociálních“, 505 pasivních /// 242 609 m² kanceláří a obchodů /// 164 421 m² veřejné vybavenosti včetně 4 domovů pro seniory, 21 škol a 23 center denní péče /// 3 752 m² termálních solárních panelů /// 15 272 m² fotovoltaiky /// 194 projektů se zelenými střechami.

Tato výzva k podávání projektů způsobila na trhu s nemovitostmi nevratné změny a vedla řadu veřejných i soukromých zadavatelů ke vstupu na trh, a to i mimo projekt vzorových budov. Poslední inventura provedená v listopadu 2013 pro Brussels Environment zaznamenala v Bruselu 800 000 m² pasivních domů již postavených, rozestavěných či ve fázi projektu.

1.2. Zpětná vazba

Na základě zkušeností a zpětné vazby lze pro bruselský stavební trh odvodit několik hlavních trendů:

- Při výstavbě nenastaly žádné velké problémy, co se týče opláštění, tloušťky izolace, nosné konstrukce nebo vzduchotěsnosti uložené pasivním standardem; stavební techniky jakož i náklady, které se mohou navzájem značně lišit, se vyvíjejí.
- Pokud jde o řízení vnitřního klimatu, byly zaznamenány stížnosti v souvislosti se strategií chlazení či vytápění a postupy pro jejich řízení a kontrolu; zde existuje zcela zjevně prostor pro zlepšení. Tyto obtíže mají několik příčin: špatný návrh, špatné dimenzování, sporná technická řešení, uživatel „uvězněný“ v jednom nastavení systému, příliš složitý systém, chybějící manažer, který by byl odpovědný za společné vybavení, chybějící podpora pro koncové uživatele atd. Nebo dokonce jde o lidsky srozumitelné potíže: schopnost změnit některé návyky. Odpor proti změně chování může vést k podvědomému přesunu chyby na technologii.

Z těchto problémů je patrné, že nejsou v žádném případě nepřekonatelné - mají vždy alternativní řešení, které problém napraví nebo mohlo napravit - a nejsou specifické pro „pasivní standard“, i když se v tomto případě někdy projevují s větší intenzitou. Můžeme tedy s potěšením konstatovat, že vyšší energetické a ekologické parametry jdou ruku v ruce se zlepšením kvality návrhu a výstavby, což je výhodné pro všechny zúčastněné v tomto odvětví až po koncového uživatele a společnost.

Zvláštní pozornost je proto nutné věnovat dimenzování a regulaci některých technologií, jako je větrání a vytápění (umístění větracích otvorů, základní i postupná regulace místnost po místnosti, jednoduchost předepsaných postupů, hlučnost ventilátoru, atd.) nebo strategie chlazení, aby tyto stavby byly schopny naplnit nejrůznější očekávání ohledně pohodlí a zároveň umožnily uživatelům snadné užívání. Měl by být aplikován princip KISS¹.

Je nezpochybnitelné, že vnitřní provozní podmínky budovy určují z valné části pohodlí jejího užívání a mohou ovlivňovat chování a (ne)splnojoenost obyvatel.

Stejně jako všechny průkopnické počiny, první budovy vykazovaly určité počáteční obtíže. Nepochybně by nyní byly v reakci na problémy, s nimiž se musí vyrovnávat, postaveny trochu jinak. Přesto nesporně představují příkladný úspěch.

Počet Bruselem prováděných experimentů týkajících se „pasivního standardu“ ukazuje, že existuje celá řada řešení, z nichž některá jsou vhodnější než jiná. Souvisí to s vývojem v oblasti stavebních postupů i našeho způsobu života, který směřuje k větším úsporám energie, komfortu a kvalitě ve prospěch obyvatel.

Prvořadou otázkou představuje zvládnutí procesu návrhu takových budov ze strany projektantů (architektů a konzultačních firem), zejména dimenzování a regulace systémů přizpůsobených uživatelům. To zahrnuje kontrolu harmonogramu ze strany zadavatele, který si musí být vědom své odpovědnosti a měl by vědět, co chce v souladu se svými cíli, přičemž je třeba, aby se choval konzistentně a rozuměl dopadům svých rozhodnutí na systém. Samozřejmě musí být informován svým architektem.

Druhým tématem je otázka přijetí těchto staveb jejich uživateli. Francouzské studie ukazují různé druhy postojů obyvatel, které vyžadují rozdílné přístupy. Ilustrativní v tomto ohledu jsou zkušenosti L'Espoir². Je však třeba zdůraznit, že celkově první průzkumy v Bruselském regionu ohledně spokojenosti s pasivními domy ukázaly, že obyvatelé jsou spokojeni.

Třetím tématem týkajícím se zejména nájemních domů nebo větších objektů je nutnost sledování objektu jasně definovanou a kompetentní osobou.

Hojnost zkušeností z Bruselu a jejich následné studium a dokumentace typu „open source“ jsou nejlepší zárukou správné definice „dobrých mravů“ při navrhování, správě a obývání „pasivních“ budov.

¹ KISS: udělej to jednoduché, stupidní (keep it simple, stupid)

² <http://espoirmolenbeek.blogspot.be/>

Závěrem: „Jako každá evoluce nebo přechodné období vyžaduje realizace změn čas pro uchopení různými účastníky městské struktury a nemůže být prováděna bez ohledu na jejich potřeby a přání. Takový proces potřebuje čas potřebný k zajištění zastoupení všech zúčastněných, setkávání, naslouchání, porozumění, vysvětlování apod. To jsou základní podmínky pro definici ambic města zítřka. V tomto procesu je řešení cízelováno metodou pokus-omyl a vzájemně se doplňujících zkušeností. S aktivitou se nečeká na okamžik, až bude vše jasné.“ⁱ

1.3. Proces učení: velká otevřená bezplatná síť zúčastněných stran

Brussels-Environment poskytuje projektantům a smluvním stranám systém podpory těmito formami:

- výzvy k podávání projektů na „vzorové budovy“ a využití jejich výsledků, organizace exkurzí na místě apod.
- aliance „Zaměstnání – životní prostředí – odbor udržitelné výstavby“, konstruktivní partnerství se stavebním průmyslem a odvětvím, odborné přípravy za účelem podpory stavebních firem v jejich nezbytném vývoji směrem k větší udržitelnosti ve stavebnictví;
- pořádání seminářů a školení (15 000 hodin/rok) – jak navrhovat udržitelné budovy, specializace na navrhování pasivních energetických budov (jako to dělá též PMP/PHP [Passiefhuis Platform]);
- k dispozici projektantům je služba facilitátora pro udržitelné budovy;
- budoucí organizace periodických školení konzultantů energetická náročnosti budov [ENB].
- finanční podpora časopisu **be.passive**³;
- podpora platform PMP a PHP pro produkci materiálů (tepelné mosty, větrání, connectTools, be.global, atd.);
- a další.

Vše se děje za účelem pomoci všem, kdo budou povoláni provádět tyto nové předpisy.

³ <http://www.bepassive.be>

1.4. Vzorové regionální orgány veřejné správy

Aby šla příkladem, díky tomuto experimentu předepsala vláda Bruselského regionu pasivní standardy u všech budoucích veřejných budov a rekonstrukcí pod její správou, počínaje rokem 2010.

- budoucí budova (17 000 m²) Bruselské správy životního prostředí, Brussels Environment, v lokalitě Tour & Taxis bude předána v listopadu 2014;
- bytová výstavba prostřednictvím SDRB⁴ a bruselského regionálního sektoru sociálního bydlení (SLRB⁵ a SISP⁶);
- stavební činnost fondu Fonds du Logement [bytový fond];
- městské rekonstrukce na úrovni čtvrtí prostřednictvím příslušných smluv.

1.5. K pasivním standardům pro všechny nové budovy postavené v roce 2015

Dobrovolná opatření a pobídky, jako jsou projektové výzvy na „vzorové budovy“, energetické dotace atd., jsou jistě opatření nezbytná ke spuštění procesu, ale vzhledem k problematice klimatu a energetiky a ambicím bruselské vlády v těchto záležitostech jsou nedostatečná.

Cíle jsou jasné: snížení emisí skleníkových plynů (-30 % v roce 2025), omezení naší energetické závislosti a snížení účtů za energii, ale také pohodlný život a práce v našich nových budovách. V Bruselu však 70 % energie spotřebovávají budovy a stávající stavební fond energetickou účinností nijak zvlášť nevyniká.

Ambice energetické a klimatické politiky se proto samozřejmě soustřeďuje na problematiku budov.

Nicméně, a to je problém pro budovy typický, stávající fond nelze přebudovat přes noc. Pokud souhlasíme s ambiciózními cíli evropské směrnice o energetické účinnosti, možné jsou nanejvýš 2 % každý rok. Pozornost by se měla soustředit na novou výstavbu v souladu s demografickým boomem v Bruselském regionu (+ 2 %/rok) a růstem ekonomické aktivity projevujícím se v HDP.

⁴ SDRB: Société de Développement Régional Bruxellois [Bruselská regionální rozvojová agentura]

⁵ SLRB: Société de Logement Régional Bruxellois [Bruselský regionální úřad pro bydlení]

⁶ SISP: Société Immobilière de Service Public [Veřejnoprávní správa realit]

Vycházíme-li z faktu, že jakákoliv stavba v současnosti postavená nebude upravována po celá následující desetiletí, pro Bruselský region se jako zásadní ukazuje, že je nutné rychle rozhodnout o co nejnáročnějších energetických standardech izolace nových staveb: tedy o pasivním standardu. Brusel tak zabrání plánovanému zastarávání (postupným zvyšováním požadavků na energetickou úspornost) svých nových budov uváděných postupně na trh. Pasivní budova nikdy nezastará, neboť již nebude nutné za účelem zvýšení úspornosti provádět na její obálce či v technologiích významné změny.

Z tohoto důvodu byla změněna nařízení ENBⁱⁱ, aby byl vstup pasivních požadavků v platnost ohlášen v dostatečném předstihu a architekti a poradenské firmy je tak mohly předvídat. Proto již v roce 2011 naplánovala vláda RBC uplatnění pasivního standardu pro všechny nové obytné stavby, kanceláře a školy k 1. lednu 2015, aby vyslala developerům, architektům a designérům jasný signál ohledně budov, k nimž podají žádost o stavební povolení po 31. prosinci 2014.

Tyto požadavky jsou výsledkem dlouhého jednání mezi bruselskou ministryní pro energetiku, Evelyne Huytebroeckovou a profesními sdruženími, jako jsou:

- stavební organizace;
- Bruselská federace architektů (Arib);
- Federace inženýrů;
- realitní odvětví;
- dvě pasivní platformy (PMP [francouzská] a PHP [nizozemská]),

které vedlo k dohodě ze dne 19. října 2012.

Výsledky jednání a dohody vedly k upřesnění „bruselských“ požadavků na pasivní budovy, které budou platit od 1. ledna 2015 pro jakékoliv nové objekty a velké změny dokončených budov⁷ obytných budov, kanceláří nebo škol.

Takzvané „pasivní“ požadavky byly upraveny pro realitu bruselského trhu tak, aby poskytovaly co největší volnost designu při zachování původního cíle, tedy dosažení velmi vysokých parametrů úspory energií.

Pro splnění pasivních předpisů ENB v roce 2015 jsou k dispozici dvě možnostiⁱⁱⁱ:

⁷ Velká změna dokončené budovy je definována jako změna dokončené budovy na více než 75 % celkové plochy obálky a je vyměněno celé technické zázemí.

Přístup A spočívá v použití známých požadavků pasivního standardu a současně poskytuje volnost v přístupu k větrání a technologiím a zpočátku neomezuje požadavky na neprůvzdušnost.

Pro bydlení (vytápění, větrání, pomocná zařízení, teplá užitková voda):

- Měrná potřeba tepla na vytápění $< 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$
- n_{50} $< 0,6 \text{ h}^{-1}$ v roce 2018
- Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu $< 5 \%$ času
- Primární energie $< 45 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$

Pro kanceláře a školy (vytápění, větrání, chlazení, pomocná zařízení, osvětlení):

- Měrná potřeba tepla na vytápění $< 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$
- Měrná potřeba tepla na chlazení $< 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$
- n_{50} $< 0,6 \text{ h}^{-1}$ v roce 2018
- Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu $< 5 \%$ času v roce 2016
- Primární energie $< 95 - (2,5 \times A/V [\text{max. } 4]) \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$

Přístup B je k dispozici pro budovy, u nichž by horší A/V nebo horší orientace mohly vést k úrovni izolace, která by byla příliš vysoká pro dodržení kritérií přístupu A. Přístup B přepočítá požadavky na izolace tak, aby bylo dosaženo určitých rozumných hodnot ($U_{\text{em}} < 0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ pro neprůhledné konstrukce a $U_{\text{em}} < 0,85 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ pro dveře a okna).

1.6. Větší volnost u technického zařízení

Bez ohledu na volbu vzduchotechnického systému je potřeba tepla vypočtena pro rovnotlaký vzduchotechnický systém s rekuperací tepla a standardním výkonem (pokud není instalován lepší výkon). Tento požadavek se tedy spíše než na technické zařízení zaměřuje na vlastnosti budov (orientace, kompaktnost, izolace, vzduchotěsnost apod.). Při výpočtu spotřeby primární energie se však bere v úvahu skutečný výkon zvoleného vzduchotechnického systému, stejně jako výkon topného systému nebo pomocného elektrického zařízení.

1.7. Jasný časový rámec a přechodné období pro neprůvzdušnost

Vzhledem k nabytí účinnosti požadavku na neprůvzdušnost ($0,6 \text{ h}^{-1}$) v roce 2018 a k předchozím postupným přechodným obdobím pro výpočet požadavků přístupu B stanovil Brusel jasný časový rámec tak, aby se mohl trh připravit v dostatečném předstihu.

V případě, že je vzduchotechnický systém méně účinný a izolace staršího typu, byl tímto způsobem vytvořen prostor pro kompromis mezi různými instalacemi obnovitelných zdrojů energie, aby se nakonec dosáhlo stejné úrovně naplnění požadavků na primární energie.

1.8. Velké změny dokončených budov

Pro velké změny dokončených budov platí stejné požadavky snížené o 20 %, s výjimkou kritéria četnosti překročení nejvyšší teploty vzduchu.

1.9. Způsob výpočtu

Ačkoli všechny tři belgické regiony spolupracují na udržení společné metody výpočtu, budou se pasivní požadavky Bruselu vypočítávat belgickou metodou ENB, a ne pomocí PHPP.

Nové a důkladně zrekonstruované budovy, které splňují požadavky „pasivní standard 2015“ budou „vyhovující pro ENB“ a budou mít nárok na PENB, ale nemusí nutně splňovat požadavky pro získání certifikátu pro pasivní domy. Tyto budovy budou prohlášeny za „pasivní“, pokud dodrží pravidla „pasivního standardu“ přijatého Plate-forme Maison passive (PMP-PHP asbl).

2. Standardy pro městskou výstavbu s téměř nulovou spotřebou

Na základě směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov zavedl COBRACE [bruselský zákoník pro ovzduší, klima a energetiku] v článku 2.2.3. odst. 3 povinnost splnit *požadavky ENB na „nulovou spotřebu energie“* pro všechny nové žádosti o stavební povolení od 1. 1. 2021.

Předpisy definují „nulovou spotřebou energie“ jako nulovou nebo velmi nízkou spotřebu dosaženou díky vysoké energetické účinnosti, která by měla být pokryta ze značné míry energií vyrobenou na místě nebo z místních obnovitelných zdrojů.

Otázkou je, zda je možné, pokud se jedná o energetickou účinnost, zajít ještě dále, než stanovují „bruselské pasivní standardy“ a zda obnovitelné zdroje energie mají reálný potenciál

kompensovat zbytkovou spotřebu nové budovy, jakkoli to může ve velmi silně urbanizovaném prostředí být účinné.

Nové budovy jsou v Bruselu stavěny v hustě osídlených městských lokalitách a jedná se obecně o stavby velkých rozměrů s vysokou hustotou osazení. Ačkoli vzorové stavby zahrnují celou řadu příkladů pasivních domů využívajících obnovitelných zdrojů energie, ve skutečnosti se jen velmi malé části z nich daří pokrýt významnou část spotřeby. Jedná se o ty z nich, které mají buď velmi příznivé urbanistické vlastnosti, nebo vhodné prostředí.

Ve skutečnosti je využití obnovitelných zdrojů energie obtížné zobecnit:

- zřízení sítě dálkového vytápění nedává pro pasivní domy valný ekologický či ekonomický smysl, a to tím spíše ve městě, kde jsou již velmi dobře zavedeny rozvody plynu;
- použití střech pro instalaci fotovoltaických a fototerických panelů je možné pouze v případech, že mají příznivou orientaci a nejsou ohroženy zastíněním vyššími budovami v okolí;
- geotermální energie ze středních hloubek je výhodná pouze u budov velkých rozměrů a s velkou potřebou chlazení;
- suchá biomasa⁸ (dovážená) je potenciálně použitelná, ale na kvalitu ovzduší má spíše negativní vliv, zejména pevné částice, což je v Bruselu jedna ze znečišťujících látek působících potíže; toto řešení proto není použitelné ve větším rozsahu;
- kapalná biomasa (dovážená), je použitelná v kogeneraci, ale její hodnota může být sporná při použití u budov, které mají velmi nízkou potřebu vytápění;
- městská větrná turbína zůstává technologií v procesu zrání; její instalace je vyhrazena pro velmi specifické lokality, a proto nemůže být příliš rozšířena;
- tepelné čerpadlo je zajímavá technologie za předpokladu, že skutečné provozní podmínky splní teoretické předpoklady.

Koncept „nulové spotřeby energie“ je tedy třeba dále rozvíjet. K jeho uskutečnění bude i nadále v městském prostředí nutný sběr zkušeností, testování a hodnocení, což lze souhrnně vyjádřit jako „pasivní koncept + energie z obnovitelných zdrojů“, kdy jako první krok je nutné užití zásady omezení potřeb, doplněné kompenzací zbytkové spotřeby. Vzhledem k tomu, že výběr technologií využívajících obnovitelné zdroje a význam jejich přínosu pro

⁸ Biomasy (suché a mokré) mají při výpočtu ENB v Bruselském regionu primární konverzní faktor energie 0,32.

náhradu zbytkové spotřeby budov je úzce spjat s jejich městským uspořádáním, systematické dosažení úrovně „s nulovou spotřebou energie“ zůstává nejisté; ledaže budeme brát v úvahu dovoz energie z obnovitelných zdrojů (elektřiny obnovitelného původu, dovážené biomasy apod.).

3. Závěr

Bruselský region ukázal, že uplatní-li se potřebná opatření, může se to, co bylo považováno za utopii, stát realitou. Tato nová ambice ve stavebnictví jde již dnes nad rámec výzvy k předkládání projektů „vzorových budov“.

Bruselský region jako průkopník v uplatňování pasivního standardu v roce 2015 (pět let před evropským požadavkem) je členem PassREg⁹, regionů pasivních domů s obnovitelnými zdroji energie, což je projekt programu Inteligentní energie pro Evropu. Tento projekt si klade za cíl vyvolat úspěšnou realizaci NZEB v celé EU, s využitím pasivních domů napájených v maximální možné míře z obnovitelných zdrojů energie jako základu. Tohoto programu se Brusel účastní po boku Hannoveru a Tyrolska jako jeden z pionýrů v kategorii pokročilých (na rozdíl od kategorie začátečníků a středně pokročilých).

V roce 2012 obdržel Bruselský region za svou „politiku NZEB“ evropskou cenu Energy Award v kategorii Bydlení¹⁰.

Nové volby v červnu 2014 a nová vláda bez bruselské Strany zelených zatím nevedla ke změně bruselské pasivní regulace.

3.1. Další informace najdete zde:

www.bruxellesenvironnement.be/batimentsexemplaires [francouzsky]

www.sustainablecity.be/ [anglicky]

⁹ http://passregsos.passiv.de/index.php/Main_Page

¹⁰ <http://www.eusew.eu/awards-competition/awards-2012>

ⁱ Doulkeridis C. et al (2012). Závěry. In: Les Actes du Colloque Habitat durable - le rôle des villes Ministerstvo kraje hlavního města Bruselu, Brusel, Belgie, s. 92

ⁱⁱ Nařízení vlády Bruselského regionu ze dne 21. února 2013, kterým se mění vyhláška ze dne 21. prosince 2007, kterou se stanoví požadavky na energie a vnitřní prostředí budov, Moniteur belge [Belgický Úřední věstník] číslo 93 26. března 2013 - první vydání, Brusel, Belgie

ⁱⁱⁱ IBGE (2013). Požadavky na ENB v roce 2014 a pasivní požadavky ENB v roce 2015 pro práce, které podléhají povolení.

www.bruxellesenvironnement.be → Professionnels → Gestion trvanlivé de vos activités → Performance énergétique des bâtiments (PEB) → Travaux PEB

www.brusselpassief.be/fr [francouzsky a nizozemsky]

www.bepassive.be/intl/special01en/ [anglicky]

2015 – Brussels goes passive – From stimulation to regulation

Grégoire Clerfayt, Division Energie, Bruxelles - Environnement, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement

Gulledelle 100, B-1200 Bruxelles, www.bruxellesEnvironnement.be

Telefon: +32 3 775 79 15, e-mail: gclerfayt@environnement.irisnet.be

1. From exemplary buildings ...

In 2004, practices in Brussels in terms of construction and renovation were characterised by a lack of ambition regarding energy, resulting from the lack of a regional policy. Over a two-year period, numerous information and awareness-raising actions led to the development of an initial energy and climate culture. In 2007, the Brussels-Capital Region (RBC) launched a major stimulation programme for the construction and renovation of buildings with very high energy and environmental performance: the „Exemplary Buildings” call for projects. This call for projects is aimed at all contracting authorities building or renovating in Brussels: private individuals, public bodies, semi-state bodies, private enterprises (property development companies, non-profit organizations, etc.). Eligible buildings must be located in the RBC and must be used for one of the following purposes: as single-family or collective housing, a collective etc.), offices, or a commercial or industrial facility. The project may include a new building, renovation or a combination of both. Since all designated purposes are permissible, small (approx. 120 m²) to large (approx. 55,000 m² or more) buildings are eligible. From 2007 to 2013, six calls for projects have been launched, with 372 applicants and 243 projects being selected for a total amount of subsidies worth EUR 33 million (max. €100/m²). These projects represent a total area of 621,000 m², 350,000 m² of which are passive buildings. Some of them have already achieved the NZEB standard.

Numerous renovation projects have also shown that it is possible to achieve very high energy standards, even the passive standard in some cases. The calls for Exemplary Buildings have also served as a test bench; they have provided confirmation that the passive standard is fully accessible and doesn't lead to a significant increase in cost in residential buildings, schools or offices, new constructions or even renovations.

1.1. Some figures:

6 calls /// 361 applicant projects /// 243 Exemplary Buildings /// 39% are renovation projects /// 621,000 m² including 350,000 m² passive /// 100 projects with a public contracting authority, 143 private /// 18 municipalities /// 15,313m² of individual housing + 199,161 m² of collective housing, or 1866 housing units, including 762 „social“ housing units, and 505 are passive /// 242,609 m² of offices & shops /// 164,421 m² of community facilities, including 4 rest homes, 21 schools and 23 day-care centres /// 3752 m² of thermal solar panels /// 15,272 m² of photovoltaics /// 194 projects with green roofs

This call for projects has had a major ratchet effect on the real estate market and has led numerous public and private works contracting authorities to enter the market, even outside the „Exemplary Buildings“ project call. The last inventory, conducted in November 2013 for Brussels Environment¹, has identified 800,000 m² of passive buildings already built, being built or planned in Brussels.

1.2. Feedback

On the basis of experience and feedback, several major trends in the Brussels construction market have become apparent:

- In terms of construction, there is no major difficulty with regard to the envelope, the insulation thicknesses, the framework, or the air-tightness imposed by the passive standard, and techniques, as well as construction costs - which can still be very different - are evolving.
- With regard to management of the indoor climate, some complaints have arisen related to the cooling strategy, the heating strategy, and their management and control procedures; there is still clearly room for improvement here. These difficulties have several causes: poor design, poor dimensioning, questionable technical choice, occupant 'stuck' with a single setting of the system, system too complicated, no manager „provided“ for common facilities, no support for the end user, etc. Or even a humanly comprehensible difficulty: learning to change certain habits. Resistance to change of behaviour can lead to unconscious projection of the fault onto the technology.

What these difficulties teach us is that they are not in any way insurmountable – they always have an alternate solution that corrects or could have corrected the problem – and are not specific to the „passive standard“, but are sometimes expressed there with greater intensity. We can therefore be pleased, as higher energy and environmental performance go

along with improvement in the quality of design and construction, which is beneficial for all those involved in the sector, down to the end user and the community.

Special attention is therefore necessary with regard to dimensioning and regulation of some technologies, such as ventilation and heating (placement of air vents, basic regulation and piecemeal regulation room by room, simplicity of the regulation procedures, ventilator noise, etc.) or cooling strategies, to allow such buildings to fulfil a varying set of expectations with regard to comfort while allowing the occupants to feel at ease with them. The KISS¹¹ principle should be applied.

In fact, the intrinsic operating conditions of a building determine in large part its comfort and can promote behaviours and (dis)satisfaction of the occupants.

Like all pioneers, the first buildings have had some initial difficulties. Undoubtedly they would now have been built a bit differently, responding to the problems encountered, but they are already undeniably an exemplary success.

The number of experiments conducted in Brussels on the „passive standard” issue shows that there are numerous solutions, some more favourable than others. An evolution in our construction methods and our ways of living toward greater energy conservation, comfort and quality for the benefit of the occupants is involved.

The first issue involves mastery of the design of such buildings by the designers (architects and consulting firms), especially dimensioning and regulating systems adapted to the users. This includes control of project scheduling by the contracting client, who must be aware of his responsibility and know what he wants depending on his objectives, the challenge being to remain consistent and to understand the impacts of his choices on the system ... informed of course by his architect.

The second issue focuses on questions of appropriation of such buildings by their users. French studies show various types of attitudes of the occupants that necessitate different approaches, and the experience of L'Espoir¹² is illustrative in this regard. It should be stressed however that overall the first surveys conducted by the Brussels-Capital Region in the first passive housing in Brussels show that the occupants are satisfied.

¹¹ KISS: Keep it simple, stupid.

¹² <http://espoirmolenbeek.blogspot.be>

The third issue, especially in apartment buildings or large buildings, involves having the facilities monitored by a clearly identified and competent person.

The abundance of experiences in Brussels and their follow-up, study and „open source“ documentation are the best guarantee of the evolving definition of „good manners“ in designing, managing and occupying a „passive“ building.

In conclusion: *„Changing by doing, like every evolution or transition, requires time for appropriation by the various partners in the urban fabric and cannot be done without taking into account their needs and wishes. Taking time, ensuring representation of all those concerned, meeting, listening, understanding, explaining, etc. These are the essential conditions for defining the ambitions of the city of tomorrow. Along the way, solutions are refined by trial and error, experiences complement each other; it's not a matter of waiting to know everything before taking action“ⁱ*

1.3. The learning process: large free open-source network of stakeholders

Brussels-Environment maintains its support system for designers and contracting clients through:

- The „Exemplary Buildings“ call for projects and use of the results, organisation of site visits, etc.
- An Employment – Environment Alliance – Sustainable Construction branch, a constructive partnership with the building sector and the training sector for supporting construction companies in their necessary evolution toward greater sustainability in construction;
- The organisation of seminars and training (15,000 hours/year) on the design of sustainable buildings, with specialised modules on passive energy design (as the PMP/PHP [Passive House Platform] also does);
- A Sustainable Building Facilitator service available to designers;
- The future organisation of recycling training for PEB [Building Energy Performance] Councilors.
- Financial support for **be.passive** magazine¹³;

¹³ <http://www.bepassive.be>

- Support of the PMP and PHP platforms for production of resources (thermal bridges, ventilation, connecTools, be.global, etc.);
- etc.

Everything is being done to assist all those who will be called upon to implement these new regulations.

1.4. Exemplary regional public authorities

Thanks to this experiment, the Government of the Brussels-Capital Region has imposed passive standards on all future public buildings and renovations under its authority beginning in 2010, thus setting an example.

- The future building (17,000 m²) of the Brussels Administration for the Environment, Brussels Environment, on the Tour & Taxis site will be delivered in November 2014;
- Housing construction by the SDRB¹⁴ and the Brussels regional social housing sector (the SLRB¹⁵ and SISP¹⁶);
- Construction by the *Fonds du Logement* [Housing Fund];
- Urban renovation operations on the neighbourhood scale, through neighbourhood contracts.

1.5. To the passive standard for all new buildings in 2015

Voluntary actions and incentives like the „Exemplary Building“ call for projects, energy subsidies, etc., are certainly necessary measures in launching the movement, but they are insufficient given the climate and energy issues and the ambition of the Brussels Government in these matters.

The objectives are clear: to reduce our greenhouse gas emissions (-30% in 2025), limit our energy dependence, and decrease our energy bills, but also to live and work more comfortably in our buildings. But in Brussels, 70% of energy consumption is building-related, and the existing building stock does not excel in its energy efficiency.

¹⁴ SDRB: Société de Développement Régional Bruxellois [Brussels Regional Development Agency]

¹⁵ SLRB: Société de Logement Régional Bruxellois [Brussels Regional Housing Authority]

¹⁶ SISP: Société Immobilière de Service Public [Public Service Property Company]

The activities of an ambitious energy and climate policy therefore naturally concentrate on buildings.

However, and this is a difficulty inherent to buildings, the entire existing stock cannot be improved overnight; 2% each year at the most, if one agrees with the ambitious objective of the „Energy Efficiency“ European Directive. New construction, in full swing due to the demographic boom in the Brussels-Capital Region (+2%/yr) and the growth in economic activity reflected in its GDP, needs to be targeted.

Knowing that any construction carried out today will undergo no further transformation for decades, it seemed essential for the Brussels-Capital Region to quickly opt for the maximum energy standard in terms of insulation for new structures: the passive standard. Brussels thus prevents planned obsolescence (by the successive increase in energy requirements) of its new buildings put successively on the market. A passive building will never be obsolete, inasmuch as it will no longer be necessary to make significant changes to its envelope or technologies to make it more efficient.

Therefore, the PEB regulations were changedⁱⁱ to announce the entry into effect of the passive requirements sufficiently far in advance to allow architects and consulting firms to anticipate them. So in 2011, the RBC's Government already planned the application of the passive standard to all new constructions of housing, offices and schools as of 1 January 2015, to give developers, architects and design firms a clear signal regarding buildings whose application for planning permission will be submitted after 31 December 2014.

These requirements are the result of a long discussion between the Brussels Minister for Energy, Evelyne Huytebroeck, and the professional associations:

- The construction sector;
- The Brussels Federation of Architects (Arib);
- The Federation of engineers;
- The real estate promotion sector;
- The two passive platforms (PMP [French] & PHP [Dutch])

that led to an agreement accord on 19 October 2012.

The result of the negotiation and the agreement led to specification of the „Brussels” passive requirements that will apply as of 1 January 2015 to any new building and any major renovation¹⁷ in housing, offices or schools.

The so-called „passive” requirements have been adapted to the market reality in Brussels for greater leeway in design while maintaining the initial objective, achievement of very high energy performance.

There are two options for fulfilling the 2015 passive PEB regulationsⁱⁱⁱ:

Approach A consists of application of the known requirements of the passive standard, with however leeway in the ventilation and technologies and an initial absence of constraint on the air-tightness.

For housing (heating, ventilation, auxiliary equipment, domestic hot water):

- Net heating need $< 15 \text{ kWh/m}^2.\text{yr}$
- n_{50} $< 0.6 \text{ volume/hr as of 2018}$
- Overheating $< 5\% \text{ of the time}$
- Primary energy $< 45 \text{ kWh/m}^2.\text{yr}$

For offices and schools (heating, ventilation, cooling, auxiliary equipment, lighting):

- Net heating need $< 15 \text{ kWh/m}^2.\text{yr}$
- Net cooling need $< 15 \text{ kWh/m}^2.\text{yr}$
- n_{50} $< 0.6 \text{ volume/h as of 2018}$
- Overheating $< 5\% \text{ of the time as of 2016}$
- Primary energy $< 95 - (2.5 \times \text{Compactness [limited to 4]}) \text{ kWh/m}^2.\text{yr}$

Approach B is available for buildings for which poorer compactness and/or a poorer orientation would lead to a level of insulation too high to observe the criteria of Approach A. Approach B recalculates the requirements to be observed by setting the level of insulation to certain reasonable values (weighted average $U < 0.12 \text{ W/m}^2.\text{K}$ for opaque walls and weighted average $U < 0.85 \text{ W/m}^2.\text{K}$ for doors and windows).

¹⁷ a major renovation is defined as a building in which over 75% of the heat loss surfaces are renovated and all the technical facilities are replaced.

1.6. More leeway in technical facilities

Regardless of the ventilation system chosen, the net heating need is calculated by considering a double flow ventilation system with heat recovery with a default output (unless a better output is actually installed). This requirement thus focuses on the building characteristics (orientation, compactness, insulation, air-tightness, etc.) rather than the technical facilities. However, the actual performance of the ventilation system chosen is taken into account in the calculation of the primary energy consumption, just like the performance of the heating system or the electrical auxiliary equipment.

1.7. Clear timeframe and transition period for air-tightness

With the entry into effect of the air-tightness requirement (0.6 volume/h) in 2018 and the preceding progressive transition period for calculation of the requirements of Approach B, Brussels is setting a clear timeframe so that the market can prepare sufficiently in advance.

Thus, there is room for a compromise between more installations of renewable energy sources when the ventilation system is less efficient and the insulation less advanced to achieve the same primary energy requirement in the end.

1.8. For major renovations

The same requirements, relaxed by 20%, apply to major renovations, with the exception of the overheating criterion.

1.9. The method of calculation

Inasmuch as the three Belgian Regions work together to maintain a common method of calculation, the Brussels passive requirements will be calculated with the Belgian PEB method of calculation and not with the PHPP.

New and very heavily renovated buildings that observe the „2015 passive PEB” requirements will be „PEB compliant” and will be eligible for the PEB certificate, but will not necessarily meet the requirements for obtaining the passive certificate. In this case, to be certified „Passive”, a building will have to observe the rules of the „passive standard” enacted by the Plate-forme maison passive [*Passive House Platform*] (PMP-PHP asbl).

2. Nearly Zero Energy Building Standards in Cities

In pursuance of Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on energy performance, the COBRACE [*Brussels Air, Climate and Energy Code*] has included the imposition of „zero energy“ consumption PEB requirements for all new construction permit requests as of 1 January 2021 in its Article 2.2.3. §3.

The Regulations define „zero energy“ consumption as zero or very low energy consumption achieved due to high energy efficiency, and that should be covered to a very large degree by energy produced from onsite or local renewable sources.

The question is whether it is possible to go even further in terms of energy efficiency than the „Brussels“ passive standard and whether renewable energy sources have a real potential to compensate for the residual consumption of a new building, however efficient it may be, in a very highly urbanised environment.

The new buildings in Brussels are built in dense urban environments and are generally buildings of large size with a high occupation density. Although the exemplary buildings include numerous examples of passive buildings incorporating renewable energy sources, in reality very few manage to cover a very significant part of their main consumptions. Those that do have either highly favourable urban characteristics or environments.

In fact, recourse to renewable energy sources seems difficult to generalise:

- Establishment of a heating network makes little environmental and economic sense for passive buildings, all the more so in a city where the gas network is already very well-established;
- Use of roofs for installation of photovoltaic and thermal solar panels is only possible if there is a favourable orientation and no shading by a taller building nearby;
- Medium-depth geothermal energy is only advantageous for buildings of large size with major cooling needs;
- Dry biomass¹⁸ (imported) is potentially usable but has a rather negative effect on air quality, in particular PM, one of the pollutants of concern in Brussels; it is therefore not a large-scale solution;

¹⁸Biomass (dry and wet) has a primary energy conversion factor of 0.32 in the PEB calculation in the Brussels-Capital Region.

- Liquid biomass (imported) is usable in cogeneration but its value can be questioned for buildings that have a very low heating demand;
- The city wind turbine remains a technology in the process of maturation; installation is reserved for very specific locations and therefore cannot be widespread;
- The heat pump is an interesting technology, provided that the actual operating conditions meet the theoretical performance.

Thus the concept of „zero energy“ consumption still remains to be developed. Experience, testing and evaluation will still be necessary to materialise this „zero energy“ concept, which can be summarised as „the passive concept + renewable energy“, in the urban environment, with the application of the principle of limitation of needs as the first effort to be made, supplemented by compensation for residual consumptions. As the choice of renewable technologies and the importance of their contribution to compensation for the residual consumption of a building are intrinsically related to its urban configuration, systematic achievement of a „zero energy“ level remains uncertain ... unless the importation of renewable energies (electricity of renewable origin, imported biomass, etc.) can be taken into consideration.

3. Conclusion

The Brussels-Capital Region has shown that what was considered a utopia can be a reality when the necessary means are implemented. Today, this new ambition in construction has gone beyond the „Exemplary Buildings“ call for projects.

As a frontrunner in implementing the passive standard in 2015 (five years before the European requirement), the Brussels Region is involved in PassREg¹⁹, Passive House Regions with Renewable Energies, an Intelligent Energy-Europe project. This project aims to trigger the successful implementation of NZEBs throughout the EU, using the Passive House supplied as much as possible by renewable energy as the foundation. In this programme, Brussels stands alongside Hanover and the Tyrol region as one of the frontrunners'/advanced category (as opposed to the beginner and intermediate categories).

In 2012, The Brussels Region received the European Energy Award – Category Living²⁰ for his „NZEB Policy“.

¹⁹ http://passregos.passiv.de/index.php/Main_Page

²⁰ <http://www.eusew.eu/awards-competition/awards-2012>

New election in June 2014 and new Government, without the Brussels Green Party don't lead, until now, to a modification of the Brussels passive regulation.

3.1. For more information, please visit:

- www.bruxellesenvironnement.be/batimentsexemplaires [French]
- www.sustainablecity.be [English]
- www.brusselpassief.be/fr [French & Dutch]
- www.bepassive.be/intl/special01en/ [English]

ⁱ Doukeridis C. et al (2012). Conclusions. In Les actes du Colloque Habitat durable – le rôle des villes [*Proceedings of the Sustainable Habitat Colloquium - the role of cities*] , Ministry of the Brussels-Capital Region, Brussels, Belgium, pp.92

ⁱⁱ Decree of the Government of the Brussels-Capital Region of 21 February 2013 amending the decree of 21 December 2007 determining the energy requirements and indoor climate of buildings, Moniteur belge [*Belgian Official Journal*] No. 93, 26 March 2013 – first edition, Brussels, Belgium

ⁱⁱⁱ IBGE (2013). The PEB requirements in 2014 and the passive PEB requirements in 2015 for works subject to permits. www.bruxellesenvironnement.be > Professionnels > Gestion durable de vos activités > Performance énergétique des bâtiments (PEB) > Travaux PEB

Energetická efektivita oken historických budov

Dagmar Exner¹, Elena Lucchi¹, Alexandra Troi¹, Franz Freundorfer², Mathilde André³, Waltraud Kofler Engl⁴

¹ Eurac Research – Istituto per le Energie Rinnovabili (Institut energie z obnovitelných zdrojů), Viale Druso, 1, 39100 Bolzano/Bozen, Itálie. dagmar.exner@eurac.edu; elena.lucchi@eurac.edu, alexandra.troi@eurac.edu.

² Passivhaus Consulting (Poradenství v oblasti pasivních domů) Franz Freundorfer, Martin-Greif-Straße 20, 83080 Oberaudorf, Německo.

³ Menuiserie (Truhlářství) André Sàrl, 163 route de Chantemerle-les-Blés, 26260 Chavannes, Francie, mathilde@andre-menuiserie.fr.

⁴ Ředitelka Úřadu pro architektonické a umělecké památky, Armando Diaz Str. 8, 39100 Bolzano/Bozen – Itálie, waltraud.kofler@provinz.bz.it

1. Úvod

Okna jsou nedílnou součástí obvodového pláště budovy. Z architektonického hlediska tvoří vzhled budovy – a jedná-li se o budovu historickou, přidává se k hodnotě estetické hodnota snad ještě zachovalého původního materiálu. Okna poskytují denní světlo, čerstvý vzduch a výhled, avšak energeticky vzato jsou slabým místem tepelného pláště. Součinitel prostupu tepla u oken vždy byl a dosud je vyšší než u stěn. Okna však rovněž propouštějí sluneční záření, které místnost osvětluje a ohřívá. Budou-li optimalizovány přínosy a minimalizovány ztráty, skýtají tedy obrovský potenciál z hlediska úspor energie.

Kvůli právním předpisům v oblasti energetické náročnosti budov se v současné době tradiční okna nahrazují, nicméně nevhodně zvolenými okny při výměně či modernizaci může výrazně klesnout historická hodnota budovy a mimo to mohou vzniknout další problémy spojené s fyzikálními vlastnostmi budovy, jako je např. kondenzace nebo tepelné mosty. V současné době dochází ke dvěma hlavním chybám: zlepšení vzduchotěsnosti, aniž by se současně navýšila výměna vzduchu/větrání, a výměna oken bez současného navýšení tepelné izolace neprůhledné části pláště. Tím roste riziko vzniku plísní, což je způsobeno kondenzací (působení vody) v kombinaci s nižší mírou větrání.

Tento článek popisuje metodu, jejíž pomocí lze zlepšit energetickou efektivitu oken v historických budovách, a to skrze progresivní přístup, který respektuje dokumentární hodnotu. Nejprve bude vysvětlena památková hodnota historických oken, skla a rámu, popsán ucele-

ný přístup k fasádě a následně je rozebrána výměna stávajícího okna za vysoce účinný systém. Základem jsou zkušenosti případové studie: *Public Weigh House of Bolzano* (Městská váha, Bolzano), Itálie²¹.

2. Památková hodnota historických oken a ucelený přístup k fasádě

Okna tradičně přivádějí světlo, umožňují větrání a poskytují ochranu před vnějším prostředím, chladem či horkem, před deštěm, sněhem a větrem. Jsou součástí fasády, a tudíž ve velké míře utvářejí architektonický výraz budovy, neboť udávají její vertikální a horizontální rytmus. Jejich vzhled, použité materiály a technická řešení se řídí historickým rázem budovy. Životnost oken je kratší než životnost budovy. Původní okna často nalezneme na budovách z 19. století a někdy z 18. století, ale velmi zřídka ze 17. století nebo z dřívější doby. Z hlediska památkové péče je důležité v co největší míře zachovat veškeré prvky, což platí obzvláště u oken z doby vzniku budovy. Nicméně přestanou-li okna sloužit svému účelu nebo je-li nutné nějakým způsobem zasáhnout, cílem by mělo být nabídnout uživatelům budovy větší pohodlí, zajistit úspory energie a současně zachovat původní vzhled oken a tím celé budovy.

U historických oken je nutné vypracovat projekt renovace, který zohlední historické, estetické a materiálové hodnoty, zachovalost a potřebu pohodlí uživatelů. Hlediskům památkové péče je třeba přičítat stejný význam jako tepelným vlastnostem.

Před zahájením renovace stávajících oken musí být v úzké spolupráci s konzervátorem vypracována ucelená koncepce fasády celého domu. Tato celková koncepce oken vychází z důkladného prozkoumání a posouzení každého okna v rámci (interdisciplinární) prohlídky, která zmapuje následující fakta: typologie oken, stav zachovalosti, konstrukce, materiály, osazení, orámování (profilovaná kamenná ostění atd.), typ okenního křídla, zasklení, dřevěné spoje, kování a další vybavení, jako jsou okenice atd. Z koncepce fasády vyplyne, kterou část oken a dalšího vybavení je nutné zachovat a které části lze vyměnit, kam umístit původní/nové okno nebo další novou vrstvu oken a jak naložit s orámováním (profilovaná kamenná ostění).

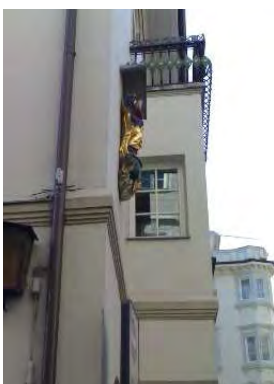
Při tvorbě fasádní koncepce je klíčové nezaměřit se pouze na tepelné vlastnosti okna, ale zohlednit rovněž spojení mezi oknem a stěnou a energetickou rovnováhu celé budovy – s cílem optimalizovat tepelné ztráty a především zajistit dostatečnou vnitřní povrchovou teplotu, aby nedocházelo ke kondenzaci a vzniku plísní.

²¹ Případová studie v rámci projektu FP7 "3ENCULT "Efficient Energy for EU Cultural Heritage" (Efektivní energie pro Evropské kulturní dědictví).

3. Případová studie:

Městská váha, budova románského původu v historickém centru italského města Bolzano, patří k osmi případovým studiím projektu FP7 „3ENCULT“. Na konci 16. století proběhla rozsáhlá rekonstrukce budovy, kdy byly například sjednoceny rozměry okenních otvorů a budova byla rozšířena o východní část. Velikost oken je tedy typická pro období baroka. Hlavní část původních oken byla v padesátých až šedesátých letech 20. století nahrazena jednokřídlými okny, která z hlediska památkové péče nemají historickou hodnotu a měla by být vyměněna za okna, jež by navodila vzhled historického okna. Při návrhu takového nového okna bylo cílem i) vyrobit okno s vysokou energetickou efektivitou, která se vyrovná vlastnostem pasivního domu a ii) zajistit, aby okno odpovídalo požadavkům památkově chráněné budovy.

Před zahájením tvorby koncepce proběhlo první setkání s projektantem a výrobcem oken, statikem, architektem a konzervátorem, na němž bylo objasněno, jaké estetické, vizuální, formální a funkční vlastnosti by nová okna měla mít. Důležité bylo zjistit, jaké jsou typické vlastnosti místních historických oken a jaké problémy se objevují při energetické modernizaci památkově chráněných oken (viz obrázky 1–6). Z pohledu konzervátora by nová okna měla splňovat dva aspekty původního vzhledu (místních) historických oken: i) původní poměr mezi prosklenou plochou, okenními příčkami a okenním rámem a ii) vzhled původního historického zasklení.



Obrázky 1–6: Původně byly dřevěné rámy, příčle a okenní příčky velmi křehké a úzké, možná již ztrouchnivělé (obr. 1–3), zatímco typické náhrady jsou výrazně širší (použitý profil IV68, obr. 4–6).

Výměnou historických jednoduchých skel za skla dvojitá se změnil vzhled fasády kvůli odlišné odrazivosti a zrcadlení, což je způsobeno i) konvexními nebo konkávními průhyby skleněných tabulí (expanze a smršťování plynu mezi dvěma vrstvami skla), ii) odlišnou povrchovou úpravou moderního plochého plaveného skla (v porovnání s tradičním ručně foukaným historickým sklem) a iii) pravidelnějšími odrazy (v případě, že příčky neodděľují sklo, a tedy nemění jeho sklon)).

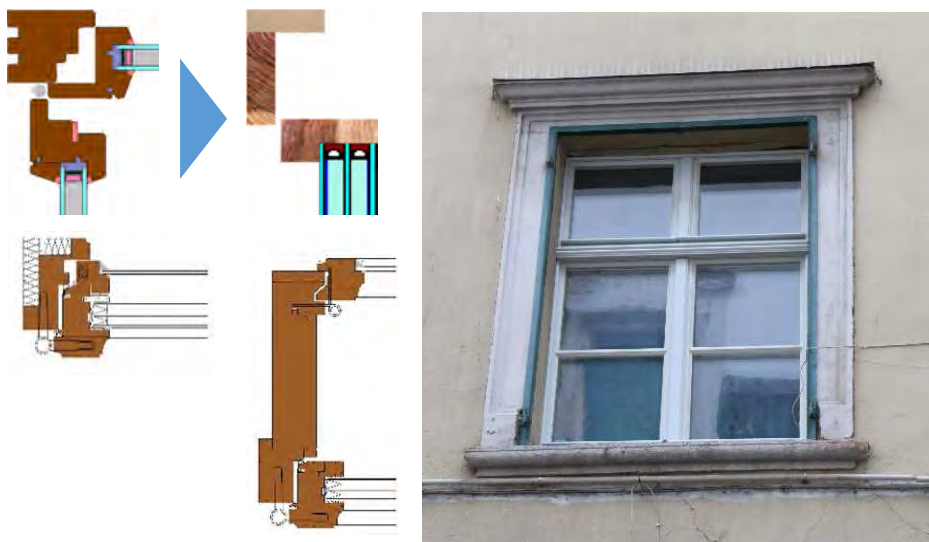
Na odborném semináři byla vypracována koncepce oken pro celou budovu: bylo rozhodnuto, že u několika vzácných původních oken z doby pozdního baroka bude případně zvýšena jejich energetická efektivita, a to přidáním další vrstvy okna, a že okna z padesátých let budou nahrazena okny novými, která budou lépe odpovídat historickému kontextu.

K dispozici nebyly žádné nákresy původních historických oken, a proto funkce, rozdělení a poměry nových oken vycházely z „klasického“ (dvoukřídlého) okna: dvě křídla a v každém dvě příčky. Navržená koncepce rozděľuje požadavky a funkce mezi dvě vrstvy: vnější vrstva

napodobuje původní historické okno a vnitřní vrstva zajišťuje vysokou tepelnou ochranu. Tímto způsobem lze zvenčí docílit stejného vzhledu jako u původních historických oken (rozměry rámu, příčle a odrazivost), neboť je použito jednoduché sklo, aniž by to mělo negativní vliv na tepelnou ochranu. Tato vnější vrstva přebírá funkci ochrany před povětrnostními vlivy. Okna s trojskly používaná v pasivních domech jsou včleněna do přidané druhé vnitřní vrstvy a zajišťují neprůvzdušnost. Otočením profilu rámu o 90 stupňů a posunutím středu otáčení závěsů bylo docíleno toho, že rám je užší než u běžných řešení (viz obrázky 7–8). Je umístěn tak, že není zvenčí vidět. Díky tomuto přístupu je možné použít dvojítá („kastlová“) i zdvojená okna (viz obrázky 8–9). Tento přístup umožňuje také zachovat původní stará okna a pouze přidat druhou energeticky účinnou vrstvu (na vnitřní nebo na vnější straně).

Konzervátor hodnotil namontovaný prototyp zdvojeného okna z hlediska splnění požadavků na památkově chráněné budovy: vzhled vnějšího jednoduchého skla a optika vnitřního trojskla, rozměry, členění a tloušťka rámu, koncepce „oddělených funkcí“, barva a profilování. Prototyp byl dále zpracováván na základě této zpětné vazby. Mezitím byly stavebním historikem objeveny stopy po odstraněných příčlích (v několika výjimečných případech, kdy byla vnější křídla dvojitých oken z padesátých a šedesátých let namontována do původního barokního rámu), a proto nový prototyp okna obsahoval rovněž horizontální příčle a čtyři okenní křídla (2 nahoře, 2 dole). Jako vzor posloužilo ještě původní okno s příčlí ve výklenku. Použití velmi tenkého trojskla (2/8/2/8/2) o tloušťce dvojskla umožnilo zmenšit rozměry rámu a pohled zevnitř je tedy velmi podobný jako pohled přes dvojsklo (viz obrázek 11).

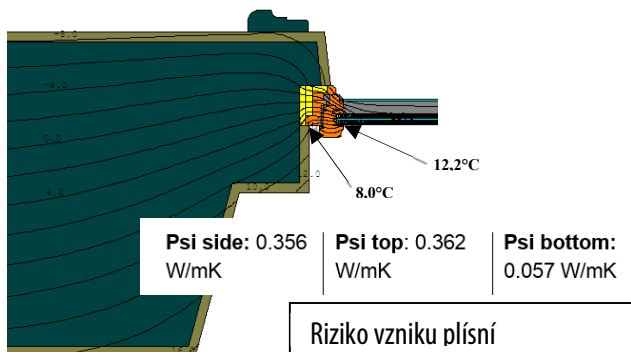
Tuto koncepci a tento prototyp okna bylo možné realizovat díky flexibilitě, zkušenostem a znalostem tradičního výrobce oken, který je schopen přizpůsobit své vybavení výrobě těchto specificky upravených oken.



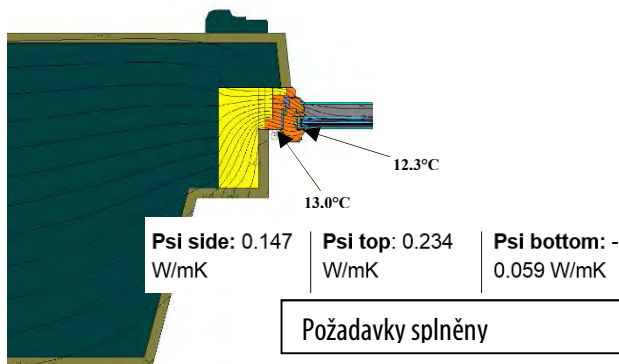
Obrázek 7–11: natočení profilu rámu o 90 stupňů (obr. 7–8), které umožnilo zúžení rámu; rozdělení funkcí mezi dvě vrstvy: „historickou“ zvenčí a vrstvu okna používaného v pasivních domech (obr. 9–10); poslední prototyp v budově městské váhy (obr. 11).

Co se týče spojení mezi oknem a stěnou, v hlavní části případové studie nelze použít vnitřní izolaci, a tudíž bylo spojení optimalizováno průřezem ostění na daném místě a nanesením izolační vrstvy o šířce 4–6 cm kolem celého okna. Tím se zlepšily hodnoty lineárního součinitele prostupu tepla Ψ a rovněž se na kritických místech zvýšily povrchové teploty na požadované hodnoty (viz obrázky 12–13).

Řešení č. 1: bez dodatečné izolace



Řešení č. 2: s izolací o šířce 6 cm



Obrázek 12–13: porovnání dvou napojení okna – bez dodatečné izolace a s izolací

Celkové tepelné ztráty způsobené přenosem tepla přes původní okna jsou 31,100 kWh/a. Instalací speciálně vyrobeného okna (s trojsklem) lze dosáhnout snížení až na 21,000 kWh/a. S ohledem na energetickou bilanci okna (ztráty mínus zisky) lze čisté ztráty snížit o 70 % (dvojsklo oproti původnímu oknu), nebo o 80 % (trojsklo). Zvážíme-li celkovou energetickou bilanci celé budovy, jejíž plochu tvoří ze 14 % okna a stěny jsou postaveny z přírodního kamene, výměna oken může snížit potřebu až o 20 %: 10 % zásluhou zlepšení tepelných vlastností a 10 % díky lepší neprůvzdušnosti (kvalita vnitřního ovzduší byla zohledněna, nepočítá se s rekuperací tepla).

4. Flexibilita vyvinuté koncepce oken SmartWin

Vyvinutý systém oken je natolik flexibilní, že umožňuje integraci původního historického okna. U tří barokních oken ve výklenku je důležité zachovat pohled zevnitř; a tudíž by další vrstva měla být přidána na vnější straně. Pro tato okna bylo nalezeno následující řešení: odstranění stávajícího dřevěného venkovního rámu, který sloužil k upevnění okenic. Místo nich je použita druhá vrstva okna, která přebírá funkci tepelné ochrany (obrácená koncepce prototypu složeného okna). Vnější křídla lze otevřít směrem ven; což lze provést bez horizontální příčle (pouze jedno křídlo). Nicméně u tří zbývajících původních oken bylo rozhodnuto, že druhá vrstva bude namontována zevnitř.

5. Kompatibilní energetická renovace historických budov

K dosažení odpovídající modernizace oken v historické budově je od rané fáze plánování nutná úzká spolupráce mezi architektem, projektantem, výrobcem oken a restaurátorem. Tento mezioborový tým by měl dodržet následující postup:

Fáze	Opatření	Obsah a rozsah
1.	Prohlídka na místě (s restaurátorem)	Dokumentace všech stávajících oken, posouzení památkové hodnoty oken a jeho součástí, určení celkové koncepce fasády a oken.
2.	Mezioborový seminář	Stanovení estetických, vizuálních, formálních a funkčních vlastností nových oken. Určení podrobných údajů oken, jako jsou rozměry, materiál, profilování a konečná úprava s pomocí podrobných nákresů.
3.	Výpočet okenních napojení	Průzkum a optimalizace spojů mezi oknem a zdí s ílem minimalizovat tepelné ztráty v těchto místech a zajistit minimální vnitřní povrchovou teplotu a minimální míru výměny vzduchu, aby nedocházelo ke kondenzaci a vzniku plísní.
4.	Výpočet energetické bilance budovy	Energetická rovnováha budovy: vyhodnocení různých technologií oken (například různá řešení zasklení) s přihlédnutím k dosažitelné míře vzduchotěsnosti a k variantám montáže (spoje mezi oknem a zdí) na úrovni celé budovy.
5.	Prohlídka na místě (s restaurátorem), mezioborový seminář	Výroba a instalace prvního prototypu – hodnocení restaurátora, možná zlepšení, další přizpůsobení

6. Závěry

Je možné zlepšit energetickou efektivitu historických oken a současně zachovat jejich historickou hodnotu a historickou hodnotu budovy, a to díky vyvinuté koncepci oken SmartWin. Flexibilní systém lze přizpůsobit individuálním požadavkům, a to ať už se jedná o renovaci

stávajícího okna pomocí nové vrstvy nebo o výměnu stávajícího okna. Požadavky jsou však následující: i) od rané fáze plánování úzká spolupráce mezi projektantem, výrobcem oken a restaurátorem, kteří ii) citlivým způsobem přizpůsobí vyvinutou koncepci oken daným podmínkám a iii) zohlední nejen tepelné vlastnosti okna, ale také dopad jeho instalace na celou budovu. Mimo to je nutné nalézt výrobce oken, kteří mají řemeslné dovednosti a vybavení nezbytné k výrobě historických oken SmartWin.

7. Poděkování

Tyto práce financovala Evropská unie v rámci výzkumného projektu „3ENCULT: *Efficient Energy for EU Cultural Heritage*“ (Efektivní energie pro Evropské kulturní dědictví, sedmý rámcový program, grantová dohoda č. 260162).

8. Odkazy

Freundorfer, F.: Passivhausfenster der Energieeffizienzklasse A in denkmalgeschützten Gebäuden. Passt das zusammen?, Hannover 2012.

André M., Freundorfer F.: D 5.2 New heritage-compatible window, 3Encult, leden 2014.

Exner D.: Minutes of 3Encult Workshop on Windows, 3Encult, srpen 2011.

Franzen, C. et al: D 7.6 Conservation compatibility, 3Encult, listopad 2013.

PROGRESSION

nová dimenze v konstrukci oken

- Moderní minimalistický vzhled zvenku
- Dřevěné okno zevnitř
- Zvýšené solární zisky
 - Dlouhá životnost
- Bezpečnostní kování se skrytými závěsy
- Certifikát Passive House Institutu ve tř. A

ČLEN SDRUŽENÍ



Passive House
Efficiency Class

phA
advanced
component

phB
basic
component

phC
certifiable
component

not suitable
for Passive
Houses



- Dřevěná okna SOLID COMFORT
- Dřevohliníková okna HA110
- Okna PROGRESSION
- Balkonové a posuvné dveře
- Vchodové dveře



Energy efficiency of windows in historic buildings

Dagmar Exner¹, Elena Lucchi¹, Alexandra Troi¹, Franz Freundorfer², Mathilde André³, Waltraud Kofler Engl⁴

¹ Eurac Research – Istituto per le Energie Rinnovabili, Viale Druso, 1, 39100 Bolzano/Bozen – Italy. dagmar.exner@eurac.edu; elena.lucchi@eurac.edu, alexandra.troi@eurac.edu

² phc Franz Freundorfer, Martin-Greif-Straße 20, 83080 Oberaudorf – Germany

³ Menuiserie André Sàrl, 163 route de Chantemerle-les-Blés, 26260 Chavannes – France, mathilde@andre-menuiserie.fr

⁴ Direktorin des Amtes für Bau- und Kunstdenkmäler, Armando Diaz Str. 8, 39100 Bolzano/Bozen – Italy, waltraud.kofler@provinz.bz.it

1. Introduction

Windows are inseparable components of the building envelope. They shape the building from architecture point of view – and in a historic building, this aesthetical value is complemented by the value of perhaps still preserved original material. They provide daylight, fresh air and view to the outside, but are energetically speaking also the weak part of the thermal envelope: The thermal transmittance of windows was in the past and remains till today lower than for walls. But windows also let in solar radiation which lightens and heats up the room. Therefore, by optimizing gains and minimizing losses, windows have a huge potential to save energy.

Building efficiency legislation actually has triggered replacement of traditional windows recently, but inappropriate window replacements or upgrades can ruin the historical value of the building and, in addition, cause problems of building physics nature, like condensation, and thermal bridges. In the recent history two main mistakes occurred: the raising of airtightness without raising the air exchange/ventilation at the same time and exchanging of windows without enhance the thermal insulation of the opaque part of the envelope at the same time. This led to a high risk of mould growth because of higher condensation risk (water activity) in combination with less ventilation.

The paper presents a method for improving the energy efficiency of the windows in a historic building, through a progressive approach and targeted intervention that respects the documentary value. After explaining the heritage value of historic windows, glasses and frame and the development of a holistic façade concept, the replacing of an existing window

with a high efficient system is discussed. Basis are the experiences from one case study: the Public Weigh House of Bolzano/Italy²².

2. The heritage value of historic windows and development of a holistic façade concept

By tradition, windows offer lightening, ventilation and protection from outside climate, cold or heat, rain, snow and wind. As a component of the façade, they highly contribute to the architectural expression by giving a vertical and horizontal rhythm to the building. Their design, materials used and technical solutions represent the historical style of the building. The lifetime of the windows is shorter than the one of the building. We can frequently find original windows in buildings from the 19th century, sometimes from the 18th century, but rarely from the 17th century or earlier periods. From conservation's point of view, it is important to preserve as much as possible all the elements, especially for windows dating from the origin of the building. Nevertheless, if the windows do not fulfil their function any more, if anyhow an intervention is needed, the task should be to offer more comfort for the users of the building, save energy and still maintain the original aspect of the windows and thus, of the building.

Historic windows need a retrofit project that takes into account the historic, aesthetic and material values, the state of conservation and the need of comfort for the users. Conservation aspects must be considered at the same level as thermal performance.

Before starting with the enhancement of existing windows, a holistic façade concept for the whole building has to be elaborated in tight collaboration with the conservator. This overall window concept is based on a detailed acquisition and evaluation of every single window during an (interdisciplinary) on-site inspection, describing window typology, state of conservation, construction, materials, installation, surrounding framing (profiled stone frame etc.), type of window sash, glazing, wood joints, fittings and additional equipment such as window shutters etc. From the façade concept emerges which (part of) windows and additional equipment must be retained and which parts can be replaced, as well as the position of the original/new window or respectively the position of an additional new second window layer and how to treat the surrounding framing (reveals, profiled stone frame).

²² Case study of FP7 project 3ENCULT "Efficient Energy for EU Cultural Heritage".

When developing the façade concept, it is crucial to consider not only the thermal performance of the window itself, but also the connection window-wall and the energy balance of the whole building – in order to optimize the heat losses and, most importantly, to assure sufficient internal surface temperatures to avoid condensation and mould growth.

3. Case Study:

The Public Weigh House, a building of Romanesque origins in the historic city centre of Bolzano in Italy, is one of eight case studies that accompanied FP7 project 3ENCULT. At the end of the 16th century, there was a large reconstruction of the building, unifying e.g. the dimensions of window apertures and extending the building on the east side. The window size is therefore typical for baroque era. The major part of the original windows was however replaced by box-type windows in the 1950s/60s – which are not of historic value from conservator's point of view and should be replaced, reproducing the appearance of a historic window. For the development of such a new window the aim was to (i) build a highly energy efficient window with Passive House quality and (ii) a window that answers to the heritage demands of the building.

A first workshop with window developer and producer, building physicist, architect and conservator, helped to understand the aesthetic, visual, formal and functional needs of the new window, before starting with the development of a first concept. It was important to know typical characteristics of local historic windows and relevant recurrent problems in connection with energy refurbishment of protected windows (see figures 1-6). From conservator's point of view, two aspects of the original appearance of (local) historic windows should be adopted to the new window: (i) the original proportion between glass area and sash bars and window frame and (ii) the optic appearance of original historic glazing.



Figure 1-6: Originally, the wooden frames, impost and sash bars were very fragile and thin, possibly moulded (fig. 1-3), while the optic of the typical replacements is much broader (simple application of the IV68 standard, fig. 4-6).

Exchanging historic single glazing with double-glazing changes the look to the façade because of different reflection and mirroring, caused by (i) convex or concave deformation of the glass pane through expansion and contraction of gas between the two glass layers, (ii) different surface finish of flat modern float glazing compared with traditional mouth-blown historic glazing and (iii) more regular reflection if subdivisions are not any more glass-dividing (and thus not causing different glass inclination)

In an expert workshop the overall window concept for the whole building was developed: for some rare original windows from the late baroque era, it was decided to possibly enhance them from energetic point of view with an additional second window layer, while the windows from the 1950s should be replaced with new windows, which fit better the historic context.

As there were no drawings from the original historic window available, the new window was based on a „classic“ (coupled) window in terms of function, division and proportion, two sashes with two sash bars each. The developed concept separates the demands and functions into two layers: one outer layer for the reproduction of the original historic window and an inner layer for high energy efficiency. In this way, it is possible to obtain the same appearance like the original historic window from outside in terms of frame dimensions, sash bars and mirroring by taking a single glazing, without any negative effect on the energy efficiency. This outer layer takes over the weather tightness. The passive house window with triple glazing is integrated in a second additional inner layer, taking over the airtightness. By rotating the frame cross section 90 degrees and by moving the centre of rotation of the fitting, a smaller frame than the conventional solution was achieved (see figures 7-8). It is positioned in a way that its frame is not visible from the outside. Following to this approach, both box-type and a coupled window are executable (see figures 8-9). Additionally, it allows also preserving the original old window and just adding the second energy efficient layer (on the inside or also on the outside).

On the installed prototype of the coupled window version the conservator evaluated if heritage demands have been fulfilled: the appearance of the outer single glazing and the optic of the inner triple glazing, the proportions, subdivision and frame thickness and the evaluation of the concept of „division of functions“ as well as colour and profiling. Based on this feedback the prototype was developed further. Since in the meanwhile a building historian had discovered traces of cut out imposts (in some rare cases where the outer sashes of box-type window from the 1950s/60s were installed in an original baroque frame), the new prototype was also built with a horizontal impost and four window sashes (2 above, 2 below). As model served the still existing window with impost in the jutting. The use of the very thin triple glazing (2/8/2/8/2), with the thickness of a double glazing, made it possible that the frame proportion became even more fragile and the optic from inside becomes very similar to a double glazing (see figure 11).

The application of the concept and the execution of the window prototype profited from the flexibility, experience and know-how of the small traditional window producer, which is able to tailor his facilities to the production of this individual adapted windows.

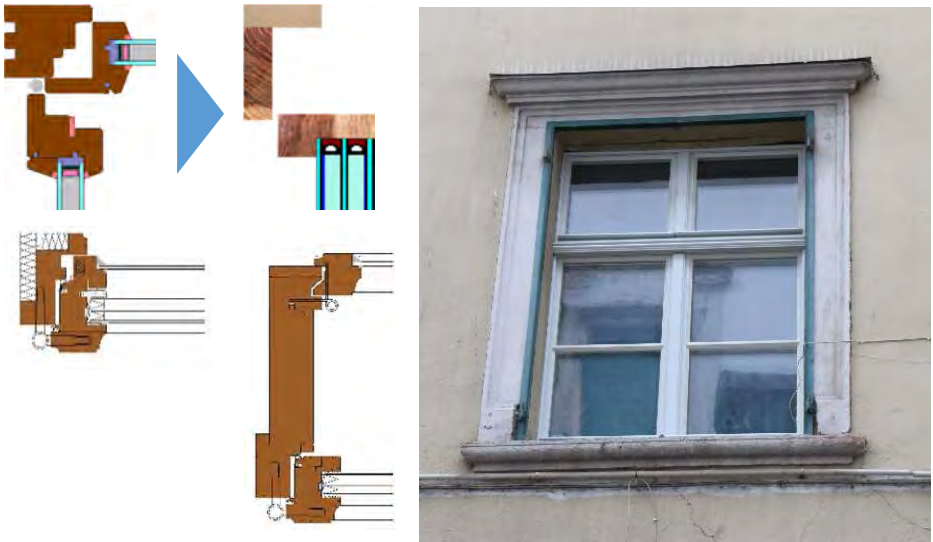
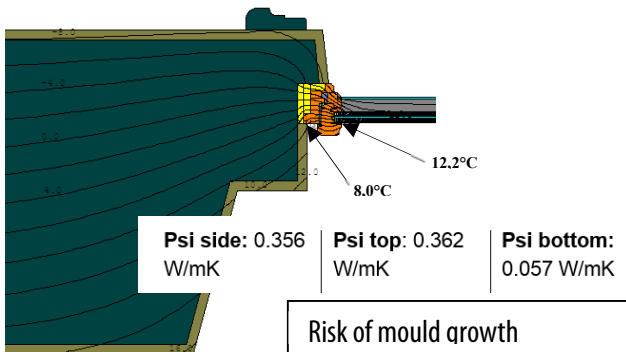


Figure 7-11: rotation of the frame cross section by 90 degrees (fig. 7-8) to achieve a smaller frame; separation of functions into two layers: „historic“ window outside, integration of passive house window inside (fig. 9-10), last prototype installed in the Weigh House (fig. 11).

With regard to the window-wall connection, since in the major part of the case study, no application of internal insulation is possible, the junction was optimised by studying the existing reveal on-site and inserting all around the window an insulation layer of 4-6 cm. This helped two improve the psi-values and thereby to rise the surface temperatures in the critical points to required values (see figures 12-13).

Solution 1: without additional insulation



Solution 2: with insulation 6 cm

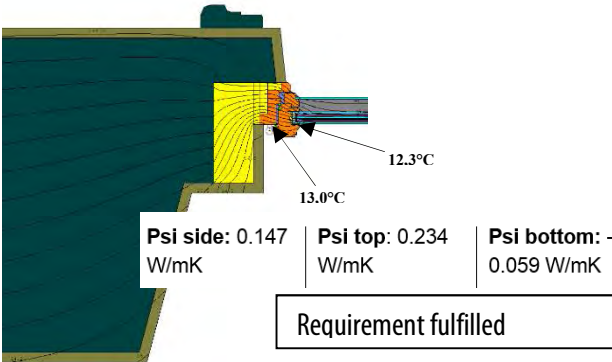


Figure 12-13: comparison of two window connections – with and without additional insulation

The entire transmission heat losses caused by the original windows are 31.100 kWh/a. With the installation of the developed window (with triple glazing) a reduction of 21.000 kWh/a can be achieved. Taking into account the window energy balance (losses minus gains) the net losses can be reduced by 70% (double glazing vs. original window) or respectively 80% (triple glazing). Looking at the total energy balance of the whole building with 14% of window area and walls in natural stones, the exchange of windows can reduce the demand by up to 20%: 10% due to thermal performance increase, 10% due to airtightness improvement (need for indoor air quality considered, without heat recovery).

4. Flexibility of the developed smartwin window concept

The flexibility of the developed window system allows the integration of an original historic window. In case of the three baroque windows in the bay, it is important to maintain the interior view; the additional layer should be added therefore on the outside. For these windows the following solution was developed: removing the existing wooden frame outside, which served for the fixing of the window shutters. Instead of those, provide a second window layer, which takes over the energy efficient function (concept of the composite window prototype „the other way round“). The outer wing can be opened to the outside; it can be executed without the horizontal impost (only one sash). For the other remaining three original windows, instead it was decided to apply the second layer on the inside.

5. Compatible energy retrofit of historic buildings

An adequate enhancement of windows in historic building requires a tight collaboration between architect, window developer and producer and conservator from a very early planning stage on. The multidisciplinary team should follow the following approach:

Step	Measure	Content/scope
1.	On-site inspection (with conservator)	Documentation of every single existing window, evaluation of the heritage value of the window and its components, definition of an overall façade/window concept
2.	Multidisciplinary workshop	Definition of aesthetic, visual, formal and functional needs of the enhanced window. Definition of window details such as proportions, material, profiling and finish with the help of detail drawings.
3.	Calculation of window connection	Study and optimization of window/wall joint, both for minimization of heat losses at the connection and assurance of minimum internal surface temperatures and a minimum air exchange to avoid condensation and mould growth
4.	Calculation of building energy balance	Building energy balance: evaluation of different window technologies (e.g. different glazing solutions), taking into account reachable airtightness level and installation variants (window/wall joint) on building level.
5.	On-site inspection (with conservator)/ multidisciplinary workshop	Building and installing of first prototype – evaluation of conservator, possibly improvement, further adaptation

6. Conclusions

A significant energetic enhancement of historic windows is possible, while maintaining the historic value of the building and the window, thanks to the developed smartwin window concept. The flexible system is adaptable to the single individual case: Be it in case of improvement of an existing window by inserting of a new window layer or be it in case of the exchange of an existing window. Prerequisites are however: (i) the tight collaboration of planer, window developer and conservator from an early planning stage on; that (ii) with a sensitive approach adapt the developed window concept to the individual case and take (iii) into account not only the window performance, but also the impact of the installation to the whole building. Furthermore, there is the need to find window manufactures that have the necessary handicraft skills and facilities to produce smartwin historic windows.

7. Acknowledgements

This work has been funded by the European Union, through the research projects „3ENCULT: *Efficient Energy for EU Cultural Heritage*“ (Seventh Framework Programme, grant agreement n° 260162).

8. References

- Freundorfer, F.: Passivhausfenster der Energieeffizienzklasse A in denkmalgeschützten Gebäuden. Passt das zusammen?, Hannover 2012
- André M., Freundorfer F.: D 5.2 New heritage-compatible window, 3Encult, January 2014
- Exner D.: Minutes of 3Encult Workshop on Windows, 3Encult, August 2011
- Franzen, C. et al: D 7.6 Conservation compatibility, 3Encult, November 2013

Renovace bytového domu Gallašova, Brno

Ing. Michal Hučík, Atelier Hučík

Hviezdoslavova 29, 62700 Brno, Tel.: +420 608 827 098, e-mail: atelier.hucik@gmail.com

Spolupráce - energetické výpočty:

Ing. Petr Vostál, energetikastaveb.com

Lavického 322/25, Třebíč 674 01, Tel.: +420 603369111, e-mail: ing.petr.vostal@centrum.cz

Spolupráce - TZB (VZT, UT, TV):

Radek Peška, Evora CZ, s.r.o.

Kobylnická 894/8, 664 51 Šlapanice, Tel.: +420 775 559 525, e-mail: peska@evora.cz

1. Úvod

Spolu se zvyšujícím se zájmem o výstavbu nových budov v pasivním standardu nejen v České republice vyvstává otázka co se stávajícím fondem budov. Jejich energetická náročnost je násobně vyšší, než jsou požadavky stávající legislativy, představy uživatelů a zejména možnosti stavebnictví.

Dochází k postupné renovaci stávajících budov, někdy jde o dílčí záchranu již nefunkčních částí staveb, opravy vnějšího vzhledu, pokusy o snížení energetické náročnosti a nákladů na provoz. Bohužel ve většině případů jsou tyto práce prováděny nekonceptně. Dochází k plýtvání investičními prostředky na dílčí opravy, úpravy bez podrobné úvahy co vše lze s uvažovanou budovou provést.

Proběhlo mnoho „rekonstrukcí“, „revitalizací“, „zateplení“, bytového fondu, zejména panelových budov, kde jedinou rozvahou o optimalizaci provozních nákladů bylo, kolik dáme na fasádu polystyrenu. Tak, jak se vyvíjelo povědomí o energetických úsporách a stoupá cena energií, se postupně zvyšuje tloušťka přidávané tepelné izolace, dříve 50 mm, nyní již běžně 150 mm.

Málokdy je však o budově, jejím provozu a užívání uvažováno v širších souvislostech. Málokdy je řešeno kromě snižování ztrát tepla na vytápění obálkou budovy a výměnou výplní otvorů (oken, dveří) také zaregulování či výměna zdrojů vytápění či ohřevu teplé vody.

O doplnění stávajících budov o obnovitelné zdroje energií pro výrobu například tepla nebo elektrické energie v místě budovy se málokdy uvažuje.

Nekoncepčními úpravami dochází tak jen k zakonzervování špatného stávajícího stavu, k plýtvání investičními prostředky a k odsouvání důsledného řešení na později, bohužel poté s mnohem vyššími náklady.

Naštěstí se již dnes objevují vlaštovky v podobě uvědomělých investorů, kteří o vlastnictví a provozování budovy přemýšlejí v širším a delším horizontu než je volební období.

Zde se pokusím prezentovat jednu takovou stavbu, která je navíc perličkou v tom, že se jedná o stavbu pod památkovou ochranou.

2. Popis objektu

2.1. Historie, orientace a dispozice objektu



Jedná se o jeden ze 7 bytových domů Malobytové kolonie architekta Mojmíra Kyselky z let 1927–1931. Kyselkovo sídliště je nejspíše první a nejúspěšnější malobytovou kolonií v Brně. Je tvořeno sedmi pavlačovými domy podél dvou ulic (Gallašova, Grmelova) a vzájemně propojených na nároží dovnitř prohnutým pavlačovým dvojdomem.





Předmětem renovace je 80 let starý cihlový bytový dům. Jedná se o pavlačový malometrážní bytový dům se 41 byty převážně velikosti 1+1. Dům má 3 nadzemní podlaží – obytná a podzemní suterén.

Půdorysný rozměr objektu je 73,9x6,7 m plus 1,2 m široká pavlač.

V okolí domů se nachází zástavba stejné výšky a vzrostlá zeleň s listnatými stromy, převážně lípy. Orientace domu je podélnou osou v severojižním směru.

Dům slouží pro bydlení v malometrážních bytech dispozice 1+1 o výměře cca 29 m². Z pavlače dveřmi se vstupuje do malé předsínky, po jejích bocích je koupelnička se sprchovým koutem, umyvadlem a WC mísou; a kuchyňka s linkou a kotlem na TV. Naproti vstupním dveřím je vstup do hlavní obytné místnosti.

Převážná část oken obytných místností je na západní fasádě. Okna sociálního zařízení a kuchyňky na pavlač na východní stranu. Vstup do bytů je z pavlače z východu. Pouze krajní jižní byty mají okno obytné místnosti na jih.

Přibližně 4/5 bytů v domě je v osobním vlastnictví (část je obývána majiteli z velké části důchodového věku, část pronajímána), 1/5 bytů je v majetku města Brna.

V objektu neproběhly posledních desítkách let žádné významnější investice přímo související se snížením energetické náročnosti objektu nebo zlepšením vnitřního prostředí a komfortu v bytech.

2.2. Průzkum objektu

Na stávající stavbě byl proveden předběžný nedestruktivní stavebně-technický průzkum pro zjištění stavu kcí, identifikaci slabých míst izolační obálky.

Stavebně technický stav stávající budovy je dobrý. Statický stav budovy je v pořádku, nebyly nalezeny viditelné deformace, poklesy či praskliny.

V suterénu byly lokálně zjištěny vlhkostní mapy, vápenné a minerální výluhy při patě zdiva, případně v dolních koutech a částečná degradace suterénního zdiva provedeného z betonu nižší kvality. Byly diagnostikovány jako nedostatečná funkce hydroizolace, případně její přílišné namáhání. Tyto vady nemají staticky destruuující charakter.

2.3. Stávající konstrukce a technologie

Základy – Stavba je založena na betonových pasech vycházejících ze suterénních stěn z prostého betonu.

Vsislé konstrukce – štitové stěny jsou z CPP tl. 450 mm. Suterénní stěny z betonu tl. 350 mm. Příčné nosné stěny nadzemní části z CPP tl. 300 mm v rozponu 4,8 m. Nenosné obvodové zdivo (výplňové) Pk-CD dvouděrová tl. 300 mm.

Vodorovné konstrukce – strop nad suterénem je z betonových desek do I profilů (pravděpodobně I160-180 mm). Strop nad 1.NP až 3.NP je trámový s rovným podhledem.

Zastřešení – je sedlovou střechou s nosnou konstrukcí ležaté stolice. Vazný trám je skrytý ve stropu nad 3.NP. Krytina keramická.

Tepelné izolace – Nejsou.

Podlahy – Stávající podlahy jsou palubové na roštu v násypu. V mnoha bytech byly podlahy překryty PVC krytinou (odehňování dřevěných prvků)

Omítky – Vnitřní omítky jsou vápenné štukové, vnější vápenocementové ve špatném stavu.

Komín – Komíny jsou provedeny z CPP, část již je vyvložkována, část nepoužívána.

Vytápění bytů je řešeno decentrálně. Cca 30 % bytů plynovými lokálními topidly (WAW) a z 20 % plynový závěsný kotel, 50 % elektrickým akumulacním topením.

Ohřev TV je řešen decentrálně cca z 30 % elektrickými průtokovými ohřívači, 20 % plynovými průtokovými ohřívači (karmami) a z 50 % elektrickými bojlerů.

Větrání ani klimatizace v objektu instalování není.

2.4. Stávající energetická náročnost

Objekt i přes svou kompaktnost má díky velmi slabé izolační funkci obálky měrnou potřebu tepla na vytápění **cca 375 kWh/m²a**.

Vytvořit komfortní prostředí v bytech je dosti obtížné. Náklady na vytápění a ohřev teplé vody jednoho bytu (29 m² vytápěná plocha a 1 osoba) se pohybují kolem 20.000-30.000 Kč/rok na byt. Významnou roli hraje pozice bytu v rámci vytápěné obálky, poměr obvodových stěn bytu v kontaktu s vnějším prostředím a hlavně způsob užívání. Při zpracování energetického auditu byly náklady na provoz bytu vypočítány na 34.080 Kč/rok.

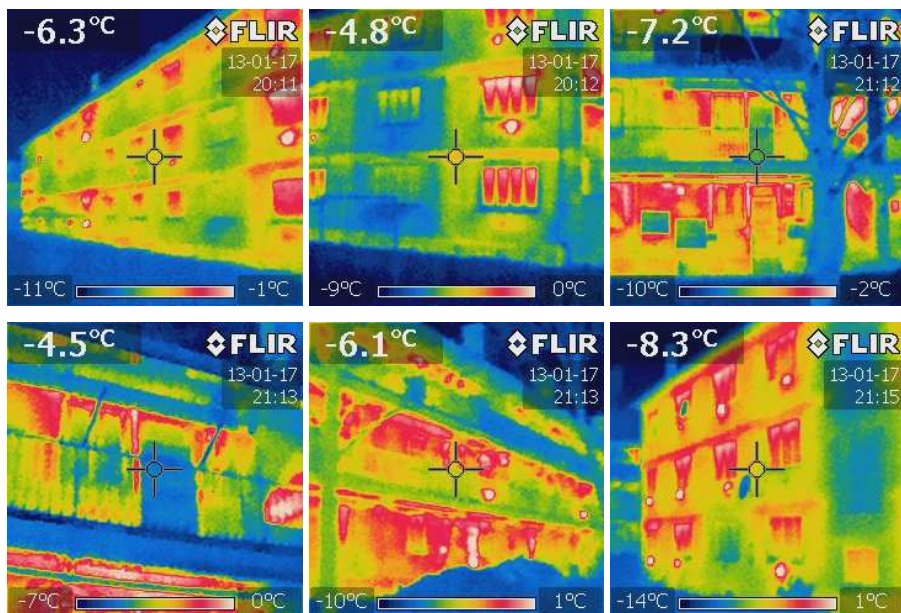
Povrchové teploty stěn i oken jsou i tak velmi nízké, často se v místech nepřístupných pro vzduch (kouty za skříněmi apod.) tvoří plísně. Problémy s plísněmi se ještě zhoršily v bytech, kde již byla vyměněna okna a nedochází k odvodu provozem vzniklých par infiltrací a netěsnostmi starých oken.

Obvodové zdívo postrádá téměř jakýkoli izolační funkci, vyzdívky mezi okny jsou provedeny z dutých dvoděrových cihel Pk-CD.

Jediná izolace v podlaze 1.NP vůči nevytápěnému suterénu je škvárový násyp podlahy v tl. 50 mm. Stejná tloušťka násypu je také vůči půdě.

Nejvýznamnějším tepelným mostem je celá délka železobetonové pavlače vetknuté do obvodového zdíva a vetknutá železobetonová schodiště.

Úniky tepla dobře dokumentují přiložené snímky z termovize:



2.5. Motivace a požadavky obyvatel pro stavební úpravy

- Velmi vysoké náklady na provoz bytu – UT + ohřev TV + EL cca 20-35 tis/rok za byt 1+1 29 m² (1 osoba)
- Špatné hygienické podmínky v bytě – neřízená infiltrace/nedostatečné větrání
- Diskomfort užívání – studené povrchy stěn, velmi rychlé vychládání bytů
- Zdravotní rizika – plísně v koutech, špatný vzduch
- Stavebně fyzikální vady – při velmi nízkých zimních teplotách zamrzání vody ve stěně
- Zchátralý vzhled domu
- ...

2.6. Limity pro stavební úpravy

- Dům je pod památkovou ochranou
 - ochrana fasády, celkový vzhled, kompozice bytových domů v prostoru, dispoziční řešení

- NPÚ trvá na maximálním možném zachování vzhledu domu
- my se budeme odkazovat na již revitalizovaný sousední dům (ETICS, nová okna)
- Požárně bezpečnostní řešení
 - pavlač je únikovou cestou
 - ČSN Obytné budovy min šířka komunikačních prostor 1100 mm
- Majetkové vztahy – byty v osobním vlastnictví + byty městské
- Složení obyvatelstva
 - hodně bytů je v pronájmu, vlastníci nekomunikují a o dům se nestarají. Byty mají jen na zisk z nájmu
 - vysoké procento konzervativních obyvatel v důchodovém věku
 - malá ochota obyvatel se podílet (aktivně) na stavebních úpravách
- Nutné zásadně rozdílné přístupy pro motivaci jednotlivých skupin majitelů či obyvatelů domu
- Vzhledem ke struktuře obyvatelstva je nutné stavební práce provádět s co nejmenším zásahem do užívání bytů
- Finanční limit na stavební úpravy do 8 mil. Kč

3. Navržený stav

Celková renovace byla pojata z několika pohledů:

- **Snížení celkové energetické náročnosti objektu** provedením izolace obálky budovy
- **Úprava či výměna zdrojů pro vytápění a ohřev teplé vody**
- **Instalace řízeného větrání** (s rekuperací)

Varianta	Popis	Měrná potřeba tepla na vytápění budovy: kWh/m2rok	Zlepšení Měrné potřeby tepla na vytápění budovy na:	Náklady na provoz: výpočtově / byt (42 bytů)
V00	Stávající stav (s výměnou vzduchu 0,3/h), vazby 0,10, n50=4,5/h	375	100%	34 080 Kč
V01	Dovyměněna okna a dveře na standard Uw,d=1,2W/m2K	358	95%	32 673 Kč
V02	V01 + Střecha U=0,08W/m2K (např. 400mm EPS 100S+OSB deska alt.foukaná izolace do roštu cca 450-500mm)	320	85%	29 635 Kč
V03	V02 + Fasáda nad sklepem - podhled 100mm EPS Greawall plus U=0,029W/m2K	300	80%	27 983 Kč
V04	V03 + Fasáda na U=0,15W/m2K 250mm EPS Greywall + vazby 0,05, Stěny schody a pavlač zatepleny K5 80mm (TDP-PUR, n50=2,5/h)	90	24%	10 787 Kč
V05	V04 (maximální pasivní obálka) + Vzduchotechnika s rekuperací, n50 =1,0/h	69	18%	9 067 Kč
V06	V05 + dovyměna oken a dveří na pasivní standard Uw,d=0,8W/m2K g=0,62, Ug=0,60W/m2K	45	12%	7 245 Kč
V07	V05 + výměna všech oken a dveří na pasivní standard Uw,d=0,8W/m2K g=0,62, Ug=0,60W/m2K	38	10%	6 554 Kč

3.1. Snížení celkové energetické náročnosti objektu

V rámci rozboru investičního záměru byly zvažovány 2 varianty provedení zateplení budovy:

Vnitřní zateplení

Zateplení ze strany interiéru provedením roštu z hranolů 40/120 až 140 mm, s parotěsnou folií a interiérovou SDK předstěnou pro vedení instalací tl.50mm. V celkové tloušťce předstěny tedy celkem 150+75 mm.

Vzduchotěsná a parotěsná rovina tvořena parotěsnou folií

Výhody:

- Není nutnost souhlas všech vlastníků bytů v nemovitosti, je možné provést zateplení individuálně
- Individuální provedení, malé dopady při provádění na sousední byty
- Eliminace tepelných mostů konstrukce (pavlač, věnce)
- Menší teplotní výkyvy a namáhání obvodového zdiva
- Nezávislost na užívání (a vytápění) sousedních bytů

- Není nutná úprava pavlače (posun zábradlí)

Nevýhody:

- Těžce proveditelné detaily vzduchotěsné roviny zejména při průchodu inženýrských sítí, řešení v úrovni stropu, apod.
- Zmenšení oken při pohledu z exteriéru kvůli nutnosti zateplení špalet z exteriéru – ne-jednotný vzhled
- Změna vzhledu domu – problém s památkáři
- Zmenšení rozměru bytu z 27,5 m² na 23,5 m² tedy o 15 %
- Nutná úprava dispozice, zateplením by se zúžila koupelna, nutný posun příčky, vstupních dveří, . . .
- Nutná kompletní přestavba bytu, výměna podlah, nový strop pro vložení parotěsné folie.

Závěr:

Těžce prosaditelná varianta před majiteli, uživateli i DOSy. Proveditelnost vzduchotěsné roviny je obtížná.

Venkovní kontaktní zateplovací systém (ETICS)

Zateplení ze strany exteriéru lepeným izolantem: Na jižní, západní, severní a 1.NP kolem oken východní fasády EPS-G tl. 250 mm. Mezi okny 1.NP a na 2. a 3.NP východní fasády a na stěny ze schodiště 100mm Kooltherm. Na stropě na půdě 2x200mm EPS-G. Ze strany suterénu 100 mm Kooltherm. Spodní líc pavlačí 50 mm MW.

Vzduchotěsná a parotěsná rovina tvořena novou omítkou na stávajícím zdivu.

Výhody:

- Bez nutnosti zásadních úprav dispozic bytů.
- Vzduchotěsnou rovinu je možné provést z exteriérové strany stávajícího zdiva
- Bez změny velikosti oken
- Malá změna vzhledu domu – snadnější vyjednávání s památkáři
- Nemění se velikost bytů

Nevýhody:

- Nutný souhlas všech vlastníků bytů v nemovitosti
- Nedostatečná eliminace tepelných mostů konstrukce, zejména z pavlače, věnci a schodišťovými deskami

Závěr:

Tato varianta se zdá jako proveditelnější a lépe prosaditelná před majiteli, uživateli i DOSy.

Zvolené řešení

Pro realizaci byla tedy vybrána varianta s Venkovním kontaktním zateplovacím systémem (ETICS).

- Nutné je provedení v jednom certifikovaném systému ETICS v souladu s ČSN 73 2901 Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS)
- Jedná se o zateplení stávajícího objektu s požární výškou $h_p \leq 12$ m, není požadavek na provedení izolantem s třídou reakce na oheň A1 nebo A2. Vyhovuje izolant s třídou reakce na oheň B (EPS, XPS). Podhledy nutné izolovat izolantem s třídou reakce na oheň A1 nebo A2 (MW) – viz ČSN 73 0810 – Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení
- Z důvodů nesoudržného podkladu stávající omítky bude provedeno její kompletní odstranění. Spáry zdíva vyškrabány do hl. 10 mm. Provést cementový postřik, jádrovou vrstvu z VC malty min. tl. 15 mm. Jedná se o vzduchotěsnou rovinu, tato vrstva musí být celistvá, v napojení na okolní konstrukce a v přechodu mezi materiály vkládat perlinku pro eliminaci trhlin.
- Na dostatečně vyztužený podklad bude celoplošně nalepen kontaktní zateplovací systém v tloušťkách a materiálech:
- Západní fasáda nadzemní část EPS-G tl. 250 mm. Celoplošně lepený.
- Severní fasáda nadzemní část EPS-G tl. 250 mm. Celoplošně lepený.
- Jižní fasáda nadzemní část EPS-G tl. 250 mm. Celoplošně lepený.
- Na východní fasádě mezi okny v 1.NP, a mezi nadpražím a pavlačí ve 2. a 3.NP EPS-G tl. 250 mm. Celoplošně lepený.
- Na východní fasádě mezi okny 1.NP a na 2. a 3.NP a na stěny ze schodiště 100 mm Kooltherm (minimální šířka schodiště 1100 mm! dle PŘ). Celoplošně lepený.

- Sokly od -0,250 do 1,600 m (do hl. 1000 m pod upravený terén) z EPS Perimeter tl. 100 mm. Celoplošně lepený.
- Podhled stropu v 1.PP bude u oken do sklepů izolován Kooltherm 50 mm, dále od stěny v tl. 100 mm EPS-G. Lepený a kotvený hmoždinkami s plastovým trnem.
- Podhled ŽB pavlače bude podizolován z desek z MW tl. 50 mm
- Zídka z CPP tl. 150 mm v. 150 mm na půdě bude po celé délce u severní, západní a jižní fasády odbourána. Atika bude odbourána pro možnost provedení spojitě izolace.
- Pata zídky na půdě nad východní fasádou z CPP tl. 150 mm v. 900 mm bude po úsecích max. š. 2000 mm odbourána a spodní 2 šáry (v. 500 mm) nahrazeny YTONG P2-400 tl. 150 mm. Podložit parotěsnou folii v ochranné geotextilii pod i nad min. 300g/m². Spojte folie přelepovat. Folie vytažena na omítku komínu a pomocí omítatelných pásek omítnuta.
- Na stropě na půdě bude na stávající betonovou podlahu položena geotextilie min. 300 g/m² (ochranná vrstva) a parotěsná folie s přelepenými spoji. Na ni bude položen 2x200 mm EPS-G s prostřídánými spárami. Finálně bude provedena hrubá podlaha z OSB P+D tl. 15 mm.
- Pro zachování minimální průchozí šířky pavlače 1100 mm bude provedeno odřezání zábradlí a bude vysazeno z čela ŽB desky pavlače.
- Plynovodní potrubí a skříňky HUP (v případě jejich ponechání v objektu) bude provizorně odstraněno a předsazeno před líc fasády (+100 mm). Pod HUPy niky vyomítat a vyizolovat MW 100 mm. Plynovod kotven na fasádu pomocí montážních válečků Dosteba ZyRillo.
- Dešťové svody budou provizorně odstraněny a předsazeny před líc fasády. Svody kotveny na fasádu pomocí montážních válečků Dosteba ZyRillo.
- Venkovní omítka fasády S, Z, J bude provedena silikonsilikátovou omítkou v barvě světlý okr. V fasáda bílá.

Skladby konstrukcí nové:

<u>Fasáda</u>	- Vnitřní vápenná štuková omítka	15-25 mm
	- Výplňové zdivo z příčkovek Pk-CD dvouděrová	290 mm
	- Vnější vápenocementová omítka	15-25 mm
	- Cementový postřík	

- VC jádrová omítka	15 mm
- Vnější kontaktní zateplovací systém (ETICS)	
- Kotvení - plnoplošné lepení lepidlem a stěrkoací hmotou	
- Izolant GREYWALL 033 100 (Kooltherm)	250 (100) mm
- Spáry vyplněny nízkoexpanzní pěnou	
- 1x Síťovina * skloláknitá tkanina R 131	
- Výztužná vrstva a Lepidlo a stěrkoací hmota	3+2 mm
- Vnější silikon-silikátová omítka zrnitosti 1,5 mm	5 mm

Strop nad 1.PP

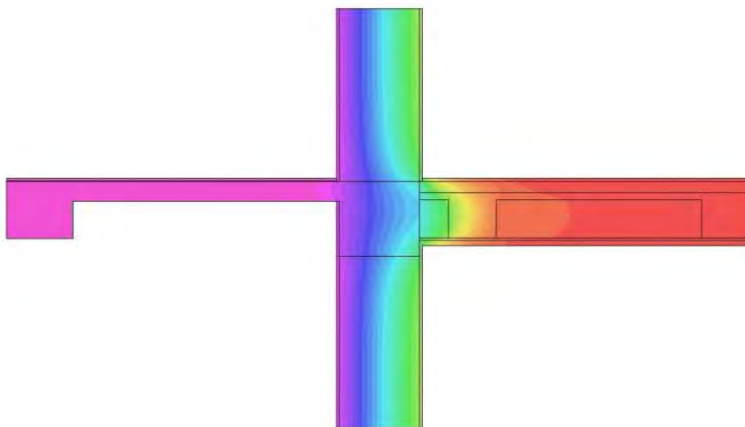
- Palubová dřevěná podlaha	25 mm
- Dřevěný rošt v násypu	50 mm
- Těžký strop z beton. desek do I profilů	160-180 mm
- Vápenocementová omítka	15 mm
- Cementový postřík	
- VC jádrová omítka	15 mm
- Vnější kontaktní zateplovací systém (ETICS)	
- Kotvení - lepení a kotvení hmoždinkami s plastovým trnem	
- Izolant GREYWALL 033 100 (Kooltherm)	100 (50) mm
- Spáry vyplněny nízkoexpanzní pěnou	
- 1x Síťovina * skloláknitá tkanina R 131	
- Výztužná vrstva a Lepidlo a stěrkoací hmota	3+2 mm
- Vápenocementová omítka	5 mm

Strop nad 3.NP

- OSB II P+D	15 mm
- Izolant GREYWALL 033 100	200 mm
- Izolant GREYWALL 033 70	200 mm
- Parotěsná folie s přelepenými spoji	
- Geotextilie min. 300 g/m ²	2 mm
- Betonová mazanina	50-100 mm
- Separáčn PE folie	
- Násyp	50 mm
- Záklop z fošen	25 mm
- Trámový strop z trámů 160/220 mm, dutiny bez výplně	220 mm
- Podhled z fošen	25 mm
- Vápenocementová omítka na rákosu	15 mm

Eliminace tepelného mostu – pavlač

Železobetonová pavlač zapuštěná do věnců je největším tepelným mostem (současně se schodišťovými deskami)



- Lineární činitel prostupu tepla 0,800 W/(mK)
- Navýšení roční ztráty tepla tepelným mostem
 - $2 * 74 \text{ m} * 0,800 \text{ W/mK} * 84 \text{ kWh/a} = 9945 \text{ kWh/a} \rightarrow \text{cca} +30 \text{ tis. Kč UT/a.dům}$
 - Na 1 byt $4,8 * 0,800 \text{ W/mK} * 84 \text{ kWh/a} = 325 \text{ kWh/a} \rightarrow \text{cca} +970 \text{ Kč UT/a.byť}$ jen za pavlač
- Vztaženo na podlahovou plochu $1155 \text{ m}^2 = 8,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- Povrchová teplota v patě zdiva **3,1°C**

Varianty řešení a ekonomické porovnání:

A. Výměna pavlače 2*74*1,2 m – její kompletní odstranění a vybudování předsazené pavlače

- negativní stanovisko NPÚ, dočasné omezení užívání bytů
- náklady odstranění 120.000 Kč, nová pavlač 460.000 Kč – celkem náklady 580.000 Kč
- prostá návratnost $580.000/30.000 = 19 \text{ let}$

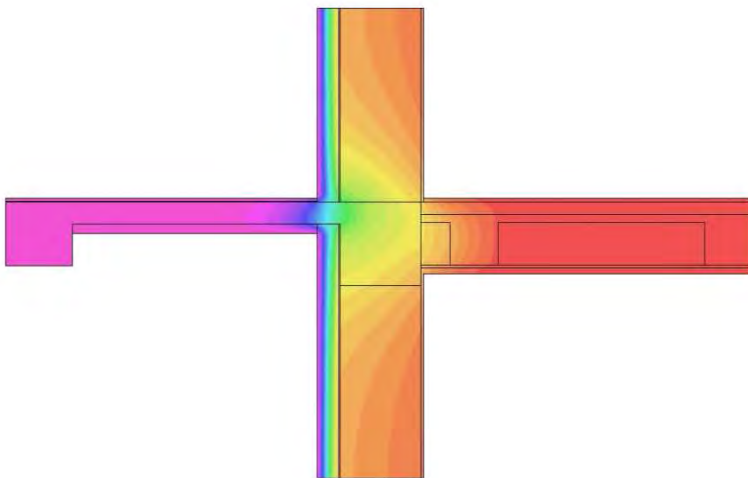
B. Ponechání hlavní nosné konstrukce pavlače (žeber), odstranění mezilehlých desek, doplnění nezapuštěných desek

- statik neposvětil, deska jsou s největší pravděpodobností zapuštěny do věnce zdiva
- nutný podrobný statický průzkum a sondy
- náklady odstranění 40.000 Kč, nová pavlač 120.000 Kč – celkem náklady 160.000 Kč
- prostá návratnost $160.000/20.000 = 8$ let

C. Ideální zaizolování pavlače – obalena ze všech stran tepelnou izolací

- stěna Kooltherm 100 mm/EPS-G 250 mm, pavlač zespodu MW50mm, pavlač shora 20 mm Kooltherm
- lineární činitel prostupu tepla $0,270 \text{ W/(mK)}$
- navýšení roční ztráty tepla tepelným mostem
 - $2 * 74 \text{ m} * 0,270 \text{ W/mK} * 84 \text{ kWh/a} = 3360 \text{ kWh/a} \rightarrow \text{cca} +10 \text{ tis. Kč UT/a.dům}$
- úspora cca -20 tis. Kč UT/a.dům
- vztáženo na podlahovou plochu $1155 \text{ m}^2 = 2,9 \text{ kWh/(m}^2.\text{a)}$
- povrchová teplota v patě zdiva $14,6^\circ\text{C}$
- náklady 350.000 Kč
- prostá návratnost $350.000/20.000 = 17,5$ roku

D. Proveditelné zaizolování pavlače – zaizolována stěna a podhled pavlače (ne podlaha pavlače)



- stěna Kooltherm 100 mm/EPS-G 250 mm, pavlač zespodu MW 50 mm, pavlač shora 0 mm
- lineární činitel prostupu tepla 0,39 5W/(mK)
- navýšení roční ztráty tepla tepelným mostem
 - $2 * 74 \text{ m} * 0,395 \text{ W/mK} * 84 \text{ kWh/a} = 4910 \text{ kWh/a} \rightarrow \text{cca} +15 \text{ tis. Kč UT/a.dům}$
- úspora cca -15 tis. Kč UT/a.dům
- vztaženo na podlahovou plochu $1155 \text{ m}^2 = 4,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$
- povrchová teplota v patě zdiva $13,6^\circ\text{C}$
- náklady 125.000 Kč
- prostá návratnost $125.000/15.000 = 8,3 \text{ roku}$

Tato varianta byla zvolena k provedení s ohledem na povrchovou teplotu a ekonomiku.

Výměna výplní otvorů

Stará původní okna (50 %) – špaletová, převážně ve špatném stavu (U_w cca $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Část oken (50) již vyměněna – europrofil dřevěná IV 68, 78 nebo plastová komorová s dvojsklem (U_w cca 1,2-1,6 W/m²K)

Prověřeny 2 varianty:

Výměna zbylých (případně dovýměna všech) oken za:

A. Zachování historického vzhledu – Špaletová okna dřevěná Janošík profil castle

- Okna sklo 4/10/4+4, $U_f = 1,4$ W/m²K, $U_w = 1,2$ W/m²K – dodávka 75.000 Kč
- Dveře $U_d = 0,9$ W/m²K – dodávka 35.000 Kč
- Předsazená montáž na kompozitní kotvy včetně parotěsných pásek – 12.000 Kč

Celkem 122.000 Kč/byt



POZN: Tato okna nesplňují požadavky na okna do pasivních budov $U_w \leq 0,8$ W/m²K

B. Nová eurookna – IV 92 mm v členění dle stávajícího vzhledu – Janošík profil softline

- Okna sklo 4/16/4/16/4, $U_f = 0,95$ W/m²K, $U_g = 0,59$ W/m²K, $g = 0,6$, $U_w = 0,78$ W/m²K – dodávka 44.000 Kč
- Dveře $U_d = 0,8$ W/m²K – dodávka 32.000 Kč
- Předsazená montáž na kompozitní kotvy včetně parotěsných pásek – 14.000 Kč

Celkem 90.000 Kč/byt



POZN: Tato okna splňují požadavky na okna do pasivních budov $U_w \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Preferovaná varianta

Dožilé výplně otvorů budou vybourány, ostění zapraveno a osazeny nové dřevěné výplně v systému europrofilu IV92 (alt. plast). $U_f = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Výplně budou kotveny v předsazené montáži po bocích a v nadpraží na kotvy z kompozitního profilu.

Parapetní profil bude podložen tvrzeným polystyrenem Compacfoam nebo Purenit.

- Západní a jižní fasáda se zasklením $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,62$
- Východní fasáda se zasklením $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,50$
- Dveře $U_d = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

Nutná důsledná kontrola kotvení na pevnost uchycení ve stávajícím zdivu.

Na interiérové straně bude provedena parotěsná páska v zaomítatelném provedení.

Exteriérová ochrana připojovací spáry bude provedena z APU omítkové lišty do ETICS.

Připojovací spára bude důsledně vypěněna nízkoexpanzní PU pěnou.

V rámci objednávky výplní otvorů bude zasmulvněna finanční pozastávka doplatku do doby provedení BlowerDoor testu. U BD testu vyžádat technika dodavatele oken pro možnost seřízení kování.

3.2. Úprava či výměna zdrojů pro vytápění a ohřev teplé vody

Decentrální systém ohřevu vody na mytí a vytápění se díky ztrátám při výrobě, skladování a nákladech na údržbu a servis jednotlivých zařízení stává v pasivním domě neekonomický.

Proto byla navržena úprava systému na centrální systém ohřevu teplé vody na mytí a vytápění.

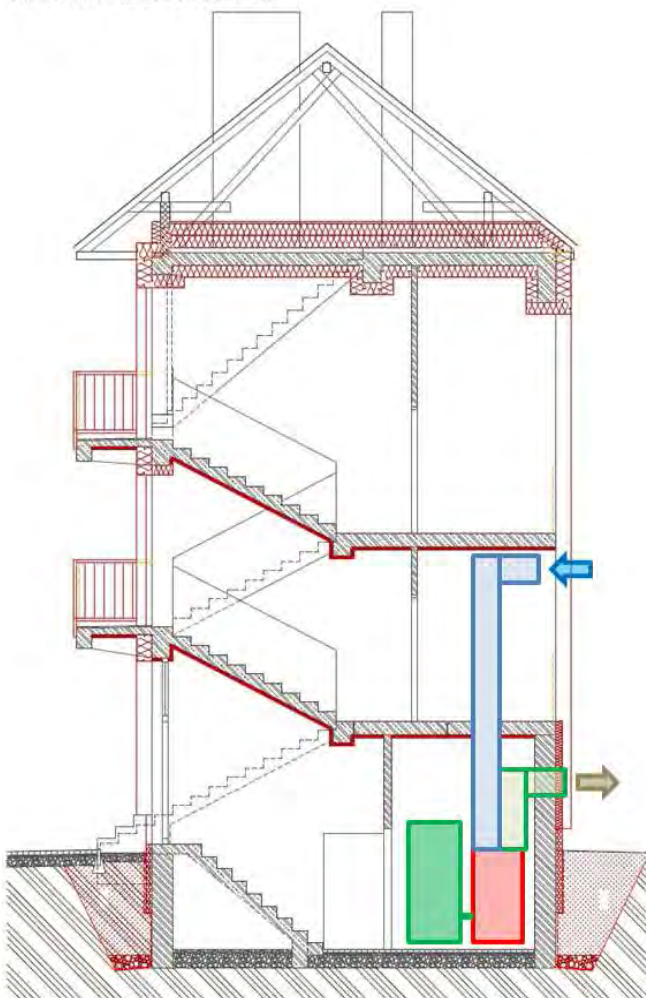
Uživatelsky i ekonomicky nejvýhodnější systém by byl pravděpodobně s použitím obnovitelného zdroje kombinace solárních a fotovoltaických panelů. Instalace na střechu však naráží na stanovisko odboru památkové péče – nepřijatelná změna vzhledu.

Zvolena byla tedy varianta s vnitřním TČ vzduch/voda Alpha-InnoTec typ LW 310 o výkonu 31,0 kW – COP 3,5 s bivalentním zdrojem elektrokotlů.

Přívod/odtah vzduchu na TČ 0,8x0,8 m vyvedený na západní fasádě schodišťové lodžie.

Akumulační zásobník TV 1200 l pro cca 30 osob. Akumulační zásobník UT 800 l pro 580 m² (21 bytů á 27,5 m² é cca 40 kWh/m²a). Předpokládán je radiátorový topný systém s teplotním spádem 55/45 °C. Velmi nízká hlučnost TČ LW 310, hladina akustického tlaku činí 55 dB ve vzdálenosti 1 m od výfuku VZT!

ŘEZ A-A' - SCHODIŠTĚM



Ekonomika provozu celého domu:

Teplo dodané TČ do UT	cca 52.000 kWh/a
Teplo dodané TČ do TV	cca 90.000 kWh/a
Spotřeba el. energie TČ UT+TV	cca 45.000 kWh/a
Spotřeba el. energie bivalence	cca 2.000 kWh/a
Předpokládaný roční náklad na UT a TV	128.000 Kč



(Dnešní náklady na UT a TV cca 750.000 Kč/42 bytů + revize plynu cca 25 tis. Kč/rok)

Cena nového systému 1.986.000 Kč vč DPH, **úspora 645.000Kč/rok** (také díky snížení energetické náročnosti objektu)

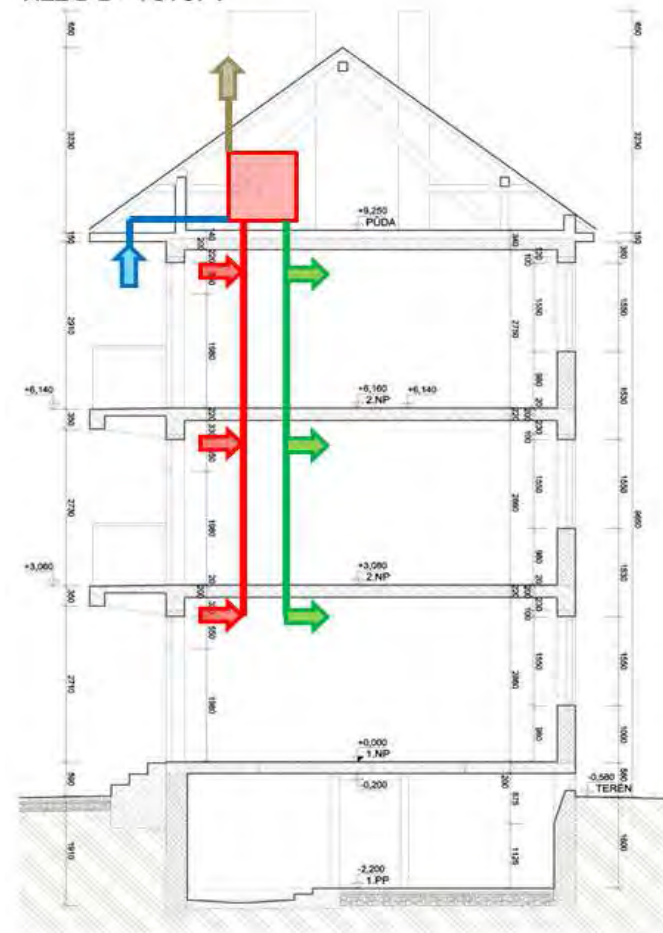
3.3. Instalace řízeného větrání (s rekuperací)

Vzhledem k požadavkům na komfort byly uvažovány jen systémy zajišťující dostatečnou výměnu vzduchu a rekuperaci vzduchu s dostatečnou účinností (komfortní teplota přírodního vzduchu).

Centrální systém

VZT jednotka umístěná v podkroví (izolována), nasávání čistého vzduchu do VZT z pavlače. Odvod špinavého vzduchu nad střechu. Přívod čistého rekuperovaného vzduchu do obytné místnosti. Odtah znečištěného vzduchu z kuchyně a koupelny s WC.

ŘEZ B-B' - VSTUPY



VZT jednotka v podkroví **Atrea Duplex 520 ECV4**

Výhody

- levnější instalace (43.000 Kč/byt)
- účinnější rekuperace

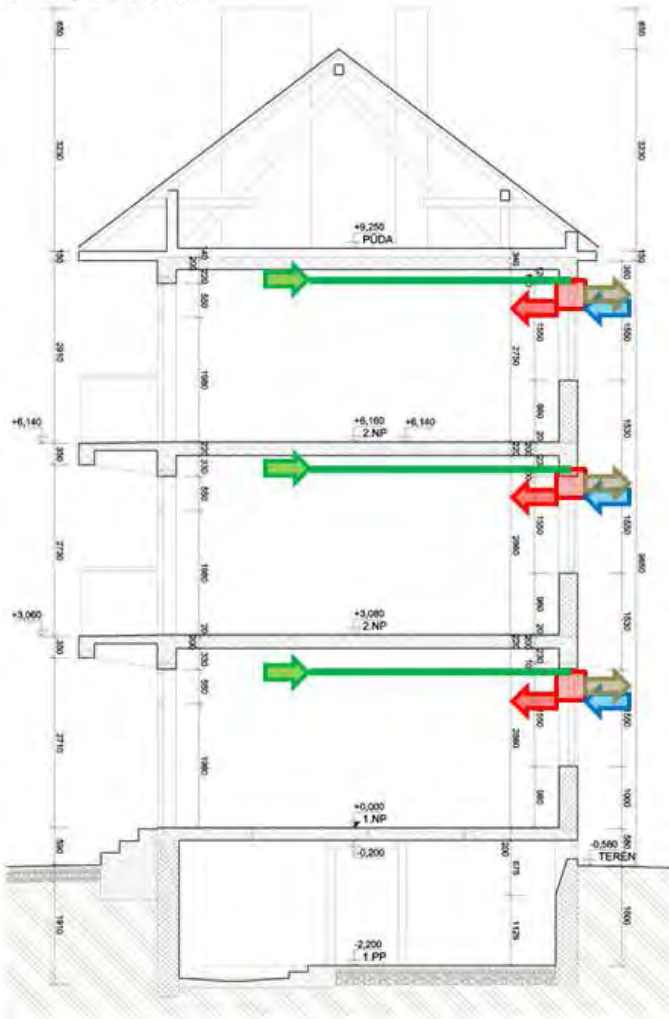
Nevýhody

- stoupací potrubí přes všechna podlaží

Decentrální systém

VZT jednotka individuální pro každý byt v podhledu koupelny. Nasávání čistého vzduchu do VZT ze západní fasády. Odvod špinavého vzduchu na západní fasádu. Přívod čistého zrekuperovaného vzduchu do obytné místnosti. Odtah znečištěného vzduchu z kuchyňky a koupelny s WC.

ŘEZ B-B' - VSTUPY



Stěnová jednotka **bluMartin freeAir 100.**

Výhody

- možné individuální provedení nezávislé na sousedech
- malé zásahy do kcí
- minimální nutnost rozvodů
- energeticky úsporné

Nevýhody

- investičně náročné (62.000 Kč vč. DPH)

4. Ekonomické zhodnocení

4.1. Rozpočet – stavební část

Kontaktní zateplovací systém (ETICS)

▪ odstranění omítek	95.000 Kč
▪ nové omítky (podkladí+finální)	650.000 Kč
▪ lešení, ochranná síť	270.000 Kč
▪ ETICS	2.940.000 Kč
▪ příčky (podkroví)	95.000 Kč
▪ soklová omítka	40.000 Kč
▪ klempířské konstrukce	98.000 Kč
▪ zámečnické kce (demontáž, montáž zábradlí)	63.000 Kč
▪ úprava HUP, potrubí na fasádě	140.000 Kč
	4.391.000 Kč

Výměna výplní otvorů

- okna europrofil IV92 – 90.000 Kč/byt * 42
- (alt. plastová – 65.000 Kč/byt * 42 = 2.730.000 Kč)

3.780.000 Kč

Sanace vlhkosti suterénu

▪ zemní práce (vč. odkopání pro ETICS)	500.000 Kč
▪ trativody, obsypy	180.000 Kč
▪ tlaková injektáž proti vztlínající vlhkosti	400.000 Kč
	1.080.000 Kč

BD test

▪ 3.000 Kč/byt * 42 **126.000 Kč**

Celkem stavební část	9.377.000 Kč
-----------------------------	---------------------

4.2. Rozpočet – TZB

Vytápění a ohřev teplé vody 1.986.000 Kč

Řízené větrání s rekuperací – centrální systém 43.000 * 42 1.800.600 Kč

Celkem stavební část	3.786.600 Kč
-----------------------------	---------------------

5. Závěr, aneb ekonomické zhodnocení

Rozpočet – stavební část 9.377.000 Kč

Rozpočet – TZB (odhad jen VZT) 3.796.600 Kč

Celkem na dům	13.163.600 Kč
----------------------	----------------------

Celkem na byt	313.400 Kč
----------------------	-------------------

Nynější provozní náklady

20-34 tis. Kč UT+TV/rok.byt = 840.000 - 1.428.000 Kč UT/rok.dům

Předpokládané provozní náklady

5-7 tis.Kč UT+TV/rok.byt = 210.000 Kč - 294.000 Kč UT/rok.dům

Úspora UT+TV cca 950.000 Kč/rok/dům

Prostá návratnost	13.163.600/950.000 = 13,8 let
--------------------------	--------------------------------------

Zvýšení hodnoty nemovitosti ze stávajících cca 35 tis. Kč/m² bytu bylo odhadnuto na 40-45 tis. Kč/m² bytu.

950.000 Kč/byt → 1.200.000 Kč/byt, tedy zhodnocení bytu o 250.000 Kč.

Zhodnocení celého domu 42*250.000 Kč = 10.500.000 Kč

+ Významné zlepšení kvality bydlení

+ Menší závislost na energiích a jejich cenách



OKNO DŘEVĚNÉ
S IZOLAČNÍM TROJSKLEM
PRYŽOVÉ TĚSNĚNÍ
V HLINÍKOVÉM PROFILU
TEPELNÁ IZOLACE
DŘEVOVLÁKNITÁ
KONSTRUKČNÍ DESKA
DŘEVOVLÁKNITÁ DIFUZNÍ
STROPNÍ KONSTRUKCE
NOSNÁ
REKTIFIKOVATELNÁ KOTVA
NOSNÁ
TEPELNÁ IZOLACE
KORKOVÁ A VÁKUOVÁ
VNĚJŠÍ ŽALUZIE
S MOTOROVÝM POHONEM
VNĚJŠÍ OBKLAD
THERMOWOOD
NOSNÝ RÁM
VRSTVENÝ NOSNÍK Z DÝH
VNĚJŠÍ FASÁDNÍ OBKLAD
NEBO FOTOVOLTAICKÉ PANELE



Výrobek prochází náročným testováním jak v laboratořích Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT, tak ve specializovaných externích laboratořích.

Připravuji se licenční podmínky a certifikáty potřebné k hromadnému uvedení výrobku na trh.

www.uceeb.cz/envilop

základní tloušťka pláště včetně
instalacní předstěny
snížení tepelné ztráty objektu ve
srovnání s Boletickými panely
uhlíková stopa oproti 168 kg/m²
běžných hliníkových pláštů
průměrný součinitel prostupu tepla
neprůsvitnou částí
spotřeba primární energie z
neobnovitelných zdrojů oproti
hliníkovému LOP

40 cm

80%

6 kg_{CO2,ekv.}/m²

0.16 W/m²K

30%

Nejnovější vývoj vzduchotechniky ve světě

asoz. Prof. Dr. Ing. Rainer Pfluger, Universität Innsbruck, Oddělení pro energeticky efektivní budovy

Technikerstr. 13, A-6020 Innsbruck, rainer.pfluger@uibk.ac.at

1. Úvod

V pasivních domech se běžně používají vysoce účinné větrací jednotky s protiproudými rekuperačními výměníky tepla. Rekuperace tepla s účinností více překračující 90 % a vysoká elektrická účinnost je současným vrcholem pokroku. Je však možné tyto hranice ještě dále posouvat? Tento článek se zabývá analýzou aktuálního vývoje, výzkumu a zkušebních využití vzduchotechniky v celosvětovém kontextu.

Důraz není kladen pouze na jednotlivé větrací jednotky s rekuperací tepla, ale na celý systém včetně přídavných zařízení (například ochrana proti mrazu) a postupu montáže. Již po několik let jsou na trhu jednotky se zpětným získáváním vlhkosti, u nichž téměř není nutné využívat bezpečnostní systém ochrany proti mrazu, a to i při nízkých venkovních teplotách. Totéž platí pro regenerační výměníky tepla, pro něž byly v několika uplynulých letech vyvinuty nové konstrukční zásady – jak je popsáno v tomto příspěvku.

U rekuperačních výměníků tepla bez rekuperace vlhkosti se pro ochranu proti mrazu používá několik strategií – jejich přehled je uveden v publikaci [Pfluger 2013]. Pracuje se na inovacích systémech s vysokou účinností a nízkými náklady, které jsou v této práci rovněž popsány. Ke snížení investic a nákladů na údržbu lze využít princip tepelné trubice (termosifonu). Dalším krokem stejným směrem je prefabrikace rozvodů vzduchotechniky a izolace včetně ochrany proti mrazu.

Popsáno je také několik strategií, jak omezit rozsah rozvodů. To je důležité především u změn stávajících budov, neboť díky těmto strategiím lze úspěšně vyřešit zavádění vzduchotechnických systémů do stávajících budov.

2. Prostorově úsporné rekuperační výměníky tepla: Nová generace protiproudých rekuperačních výměníků

V uplynulých více než deseti letech byly křížové výměníky tepla téměř vytlačeny z trhu výměníky protiproudými. Z hlediska termodynamiky lze účinnost rekuperace tepla na

základě protiproudého principu (teoreticky) zdokonalit až na 100 %, avšak v praxi je tento postup omezen velikostí výměníku (materiál, náklady). Ke zvýšení účinnosti rekuperace tepla při zachování objemu výměníku je třeba co nejvíce zmenšit mezery mezi teplosměnnými plochami. Je-li mezera příliš malá, povrchové napětí vody způsobí, že kapky kondenzátu zablokují proudění vzduchu. U výměníků tepla s rekuperační vlhkostí kapalným kondenzát nevzniká, což umožňuje volbu menších mezer. U takových systémů je šíře mezer omezena pouze přesností výroby.

Díky tomuto fyzikálnímu principu budou další generace protiproudých rekuperačních výměníků tepla menší a účinnější. V současné době je však účinnost větracích jednotek s rekuperační tepla a zpětným získáváním vlhkosti nižší, než je tomu u jednotek bez zpětného získávání vlhkosti, což je dáno materiálovými a výrobními problémy.

Průkopníky nového způsobu využívání zpětného získávání vlhkosti a rekuperace tepla pomocí rekuperačního výměníku jsou společnosti Recair a AirPohoda.

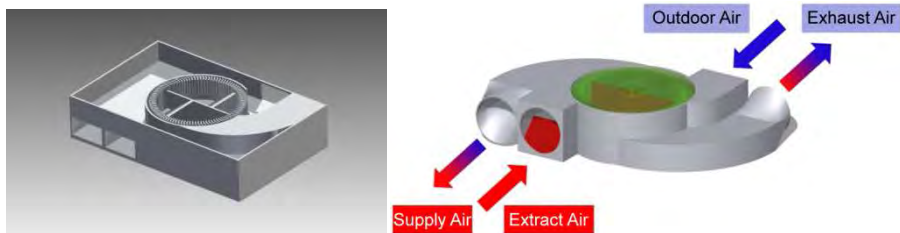


Obrázek č. 1: Rekuperační výměník tepla společnosti Recair na regeneraci tepla a vlhkosti (vlevo) a větrací jednotka společnosti AirPohoda (uprostřed a vpravo)

Základní princip lze popsat následujícím způsobem. Směr proudění venkovního/přiváděného vzduchu a odtahu/odváděného vzduchu se pravidelně střídá. Tímto způsobem je případný kondenzát vzniklý na odváděcí straně desek výměníku vysušen suchým venkovním vzduchem proudícím dovnitř během příštího cyklu. Je-li požadována vysoká míra rekuperace vlhkosti, volí se kratší doba pro změnu proudění vzduchu. Nemá-li k rekuperační vlhkosti docházet vůbec, směr proudění vzduchu se nemění.

3. Nový způsob rekuperace vlhkosti a tepla pomocí regeneračních výměníků

Kromě rekuperačních výměníků tepla je v oblasti vzduchotechnických systémů běžně užívána technologie regeneračních výměníků, k nimž patří například moderní rotační výměník. Výhoda těchto typu výměníků spočívá v tom, že nepotřebují ochranu proti mrazu. Otázkou zůstává, zda lze regenerátor navrhnout tak, aby byl skladnější a účinnější. Díky novým druhům prostorově úsporných systémů regenerace tepla bude možné do stávajících budov zavádět vysoce účinné vzduchotechnické systémy. Na Univerzitě v Innsbrucku je vyvíjena inovační kombinace ventilátoru a tepelného výměníku, která má být integrována do vnější zdi. Tím se ušetří prostor, energie a peníze.



Obrázek č. 2: Ventilátor s rekuperací tepla vyvinutý na Univerzitě v Innsbrucku v rámci výzkumného projektu Vent4Reno (INTERREG)

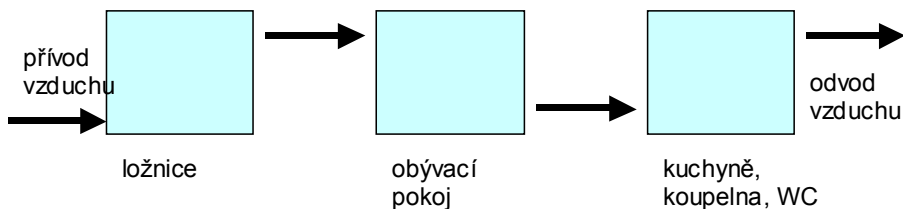
Outdoor Air = vnější vzduch; Exhaust Air = odváděný vzduch; Supply Air = přívod vzduchu; Extract Air = odtah vzduchu

Podrobný popis tohoto systému s výpočty a výsledky obsahuje publikace [Pfluger 2013a].

4. Princip rozšířeného kaskádového větrání

Původní princip kaskádového větrání spočívá v tom, že vzduch proudí přepadovými otvory z místností, do nichž je přiváděn (jako je ložnice a obývací pokoj), do dalších obytných místností, na chodbu a až do místností, odkud je vzduch odsáván (jako je WC, koupelna a kuchyně). Díky tomuto často používanému principu je možné omezit rozsah rozvodů a zavádět energeticky účinné a hospodárné vzduchotechnické systémy.

Protože se lidé zdržují buď v ložnici, nebo v obývacím pokoji, stačí přivádět vzduch pouze do ložnic. Vzduch proudí přepadovými otvory do obývacích pokojů, dále na chodbu a až do místností s odtahy (viz obrázek č. 3).



Obrázek č. 3: Princip kaskádového větrání (vzduch je přiváděn pouze do ložnic, obývací pokoje slouží jako přepadové zóny)

Tento rozšířený princip umožňuje ještě ve větší míře omezit rozvody, přívody vzduchu a tlumiče. Další výhodou je skutečnost, že snížit lze také celkovou míru výměny vzduchu. Tím lze zabránit suchému vnitřnímu vzduchu, což je velmi důležité zejména v zemích s dlouhou topnou sezónou.

5. Princip aktivního přepadového větrání (APV) – inovační řešení rekonstrukcí obytných a školních budov

Princip aktivního přepadového větrání byl vyvinut a pro použití v obytných budovách vyzkoušen Úřadem pro obytné stavby města Zürich (*Amt für Hochbauten, Stadt Zürich*) (viz [Sprecher 2011]). Obývané prostory odebírají vzduch z chodby pomocí ventilátoru vestavěného ve dveřích. Vzduch může proudit zpět do chodby přes štěrbiny ve dveřích nebo přes přepouštěcí klapku (pasivní nebo aktivní), přičemž chodba zde slouží jako rozvodná a směšovací zóna a je odvětrávána systémem s rekuperací tepla.

K dispozici jsou různá technická řešení instalace zařízení aktivního přepadového větrání, které lze umístit do výplně dveří, nad dveře (do překladu), do zárubní nebo do zdi. Na obrázku č. 4 je vyobrazeno několik možností instalace. Ventilátor se spouští pouze, jsou-li dveře zavřené (integrováný vypínač).



Obrázek č. 4: Prvky aktivního přepadového větrání ve výplni dveří (vlevo), nade dveřmi (uprostřed) a v zárubni (vpravo) (zdroj: [Zürich 2011]).

Po úspěšném využití APV při rekonstrukcích obytných budov se autor rozhodl zjistit, zda je možné tento princip použít také ve školních budovách. V porovnání s obytnými budovami je hlavním rozdílem vyšší průtok, kterého se dosahuje hůře, bez rizika vzniku průvanu a za nízkých emisí hluku.

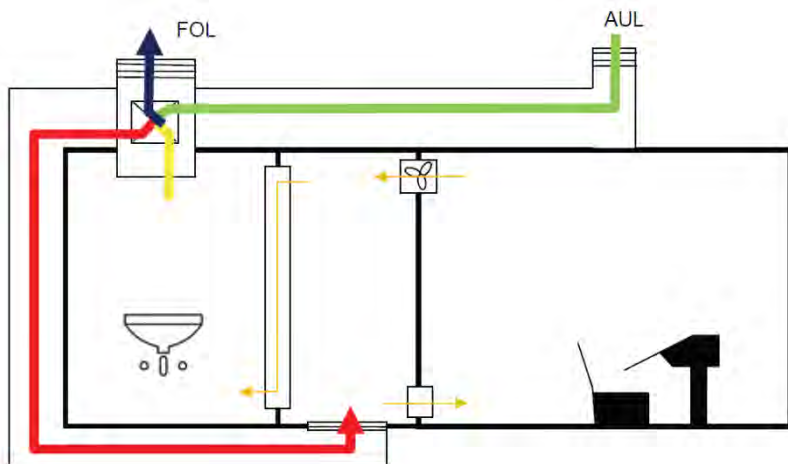
Testování proběhlo v rámci evropského projektu 3ENCULT, ve dvou učebnách základní školy (NMS Hötting v Innsbrucku, Rakousko, viz [Pfluger 2013b]). Vzduch je z chodby do učeben vháněn pomocí ventilátoru. Zpet do chodby se vrací přepadovým otvorem s tlumičem (viz obrázek č. 5). Centrální rekuperační jednotka, umístěná v podkroví, odsává vzduch ze záchodů a šaten a využívá jej k předehřátí venkovního vzduchu, který je veden do prostoru schodiště. Tímto způsobem se lze vyhnout instalaci svislého i vodorovného větracího potrubí, neboť jejich funkci plní schodiště a chodby.



Obrázek č. 5: Prototyp aktivního přepadového větrání v učebně školní budovy v Innsbrucku (Rakousko), přívod vzduchu textilními difuzéry a ventilátorem z chodby (předehřátý vzduch, který je bez použití potrubí přiváděn centrální podkrovní rekuperační jednotkou přes schodiště a chodby).

Vzduch je do učebny přiváděn textilními difuzéry bez rizika vzniku průvanu.

Výsledky tohoto testu v reálných podmínkách provedeného na prototypu systému, vyrobeného společností ATREA (CZ), jsou slibné, a to jak z hlediska větrání, tak i elektrické účinnosti.

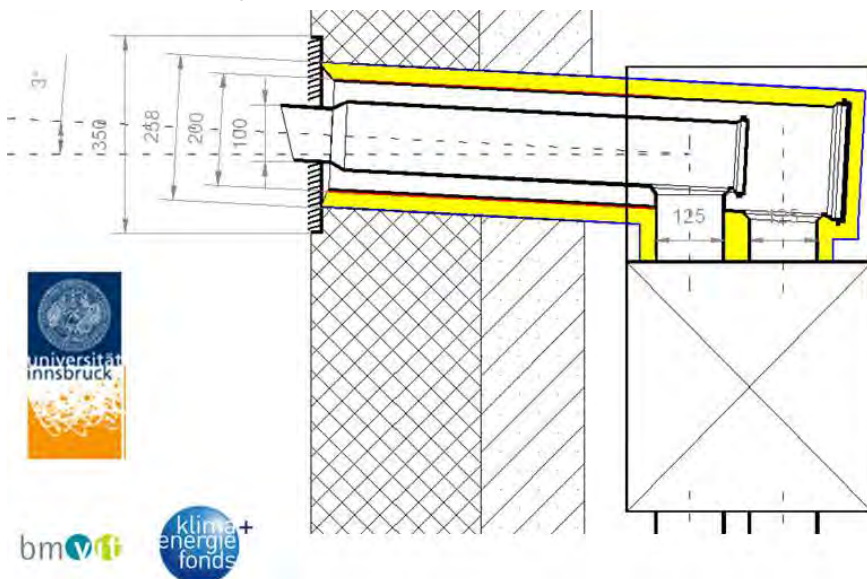


Obrázek č. 6: Aktivní přepadové větrání podle Dr. B. Kegela [Zürich 2012].

6. Systém koaxiálního potrubí pro vnitřní a odváděný vzduch

Systémy koaxiálního potrubí, které byly vyvinuty na univerzitě v Innsbrucku, mohou pomoci snížit počet otvorů ve vnějších stěnách na minimum. Venkovní vzduch je veden prstencovou mezerou a odváděný vzduch proudí ven vnitřním potrubím (viz obrázek č. 7). Jak vyplývá

z měření metodou stopového plynu, nehrozí nebezpečí „zkratu“ mezi výdechem odpadního odváděného vzduchu a přívodem čersvého vzduchu.



Obrázek č. 7: Koaxiální potrubí pro přívod venkovního vzduchu a odvod vnitřního vzduchu, které vyvinula Univerzita v Innsbrucku v rámci výzkumného projektu low_vent.com; prototyp vyrobila společnost POLOPLAST.

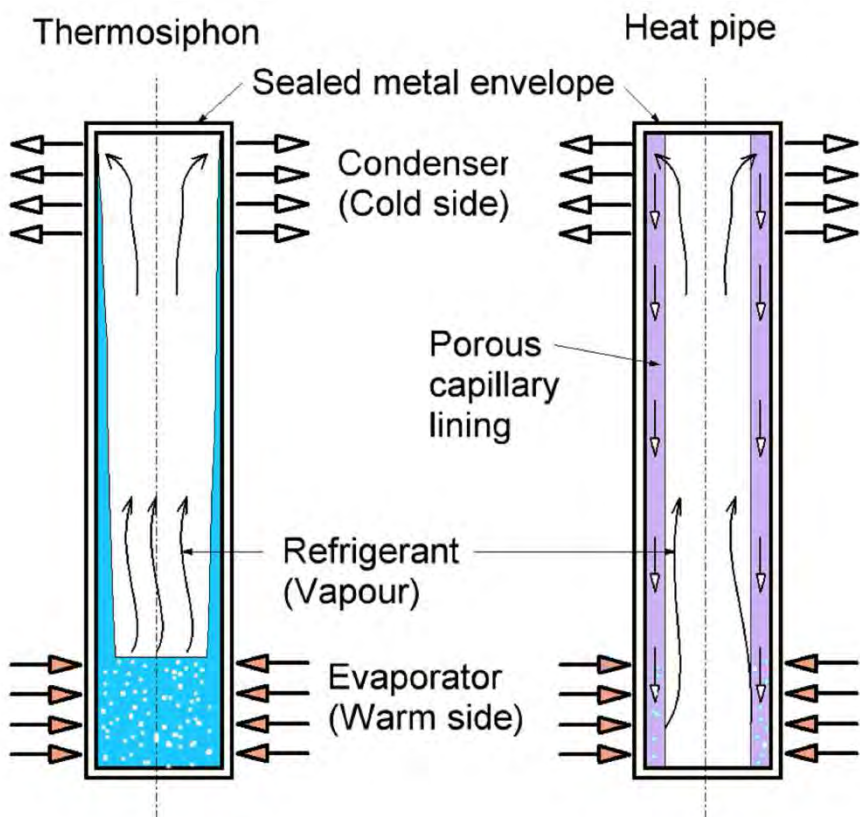
Využití koaxiálního potrubí ve vzduchotechnice je popsáno v publikaci [Pfluger 2013c].

7. Ochrana proti mrazu pomocí fyzikálního principu termosifonu a tepelné trubice

V následující kapitole je vysvětleno technické řešení výměníku tepla využívajícího tepelné trubice k ochraně proti mrazu ve vzduchotechnických systémech pasivního domu. Tento výzkum byl proveden na univerzitě v Innsbrucku v rámci výzkumného projektu low_vent.com.

Na obrázku č. 8 jsou znázorněny fyzikální principy termosifonu a tepelné trubice.

Je-li teplo předáno na jeden konec trubice, chladivo se odpaří, čímž absorbuje vysoké množství energie. Jeho páry proudí teplotním spádem, kondenzují na studeném konci trubice (v chladiči) a uvolňují kondenzační teplo.



Obrázek č. 8: Princip termosifonu na základě zpětného toku kondenzátu pouze vlivem gravitace (vlevo) a tepelná trubice s porézními kapilárními drážkami nebo knotem (vpravo)

Thermosiphon = Termosifon; Heat pipe = Tepelná trubice; Sealed metal envelope = Neprostupný kovový plášť; Condenser (cold side) = Kondenzátor (studená strana); Porous capillar lining = Porézní kapilární vrstva; Refrigerant (vapour) = Chladivo (páry); Evaporator (warm side) = Odpařovač (teplá strana)

Zpětný tok kondenzátu probíhá buď pouze vlivem gravitace (zde se jedná o termosifon, viz obrázek č. 8 vlevo) nebo vztlínáním pomocí kapilárních drážek či kapilárního knotu (v tom případě se jedná o tepelnou trubici, viz obrázek č. 8 vpravo). Znamená to, že v tepelné trubici může proces kondenzace a odpařování probíhat na obou koncích. Tepelná trubice je na rozdíl od termosifonu oboustranná a nezávislá na poloze a sklonu.

V takovém případě je přenos tepla z jednoho konce trubice na druhý více než stokrát vyšší než u měděného drátu.

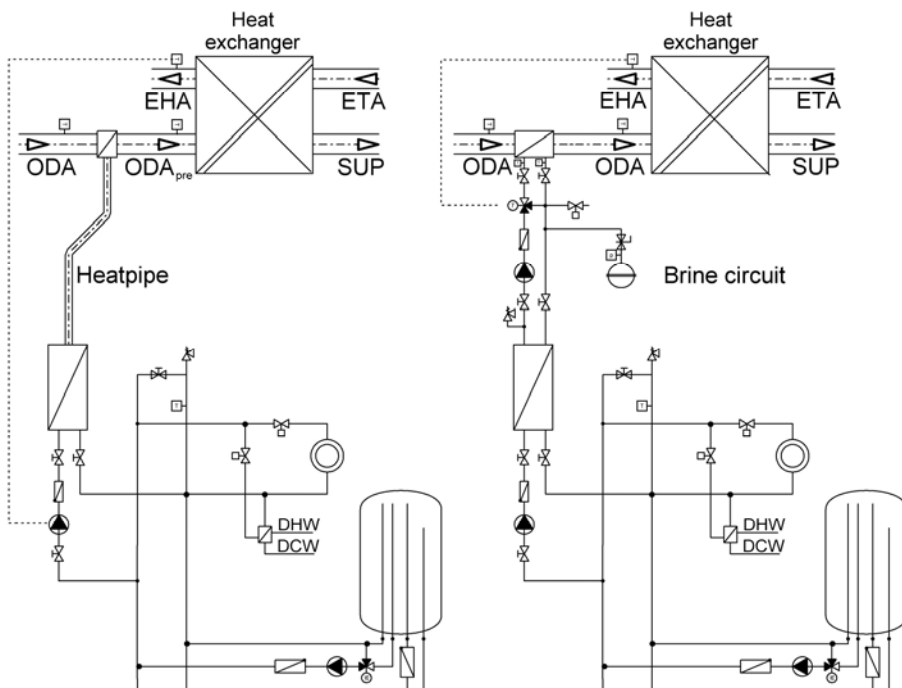
Koeficient přestupu tepla při varu a kondenzaci je stokrát vyšší než koeficient přestupu tepla mezi povrchem a okolním vzduchem, proto je nutné k rozšíření povrchu na straně kondenzátoru vytvořit žebrovaní. Na obrázku č. 9 jsou žebrované tepelné trubice pro různá využití k přenosu tepla.



Obrázek č. 9: Žebrovaná tepelná trubice (Zdroj: DAU GmbH & Co KG).

Ve srovnání s běžným solankovým okruhem je jednou z výhod termosifonu či tepelné trubice (dále jen „tepelná trubice“) skutečnost, že není nutné použít čerpadlo ani jiné pohyblivé části, jako např. zpětný ventil. Stejně tak není nutná nemrznoucí kapalina, která by zabránila zamrznutí vodního okruhu. U tepelných trubic je jako chladivo vybírána kapalina tak, aby v příslušném rozsahu teplot nezamrzla (např. amoniak (teplota trojného bodu: $-94,65\text{ }^{\circ}\text{C}$), oxid uhličitý (teplota trojného bodu: $-56,56\text{ }^{\circ}\text{C}$)). Při nízkém tlaku lze v tepelných trubicích obecně použít vodu, což platí rovněž pro systémy ochrany proti mrazu za předpokladu, že v mrazové zóně se nachází pouze kondenzátor. Fungují v teplotním rozmezí $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $275\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Na obrázku č. 10 je znázorněno využití systému, který vede teplo z centrálního systému vytápění budovy, přičemž v tomto případě se jedná o jednu topnou smyčku pro vytápění prostoru a ohřev užitkové vody. Regulaci tepelného výkonu na ochranu proti mrazu zajišťuje třicestný termostatický ventil s dálkovým čidlem, který je umístěn za systémem rekuperace tepla v proudu odváděného vzduchu.



Obrázek č. 10: Princip ochrany proti mrazu pomocí tepelné trubice nebo technologie termosifonu (vlevo) nebo solankového okruhu (vpravo); teplo je vedeno z centrálního systému vytápění budovy (například topná smyčka pro vytápění prostoru a ohřev užitkové vody).

Heat exchanger = Tepelný výměník; Heatpipe = Tepelná trubice; Brine circuit = Solankový okruh

Tepelné trubice a termosifony s sebou nesou výhodu pasivních součástí, jelikož není třeba čerpadla, solankového okruhu ani expanzní nádoby. Úspora prostoru v jednotkách HVAC a bezúdržbový chod během jejich životnosti zajišťuje komfort, odolnost a spolehlivost těchto jednotek. Lze tak snížit investice a náklady na údržbu. Z výsledku hodnocení životního cyklu vychází roční úspory v rozmezí 134 až 255 EUR/ventilační jednotku s průtokem přibližně 3500 m³/h.

8. Poděkování

Tato publikace vznikla v rámci výzkumného projektu low_vent.com. Projekt je financován z prostředků klimaticko-energetického fondu a byl realizován v rámci programu „NEUE ENERGIEN 2020“ (číslo projektu: 2626864).

9. Odkazy

[Pfluger 2013] Pfluger, R., Feist, W., Hasper, W., Kopeinig, G.R. Energy and cost efficient ventilation systems with heat recovery – state of the art and enhancement, ASHRAE Transactions Vol. 119, Part 2, 2013.

[Pfluger 2013a] Pfluger, R., Speer C., Feist W., Weger J., Zgaga J.: Entwicklung eines hocheffizienten Ventilators mit integrierter Gegenstromwärmerückgewinnung für den Einsatz in der Gebäudemodernisierung, Bauphysik 4/2013.

[Pfluger 2013b] Pfluger, R., Längle, K.: Minimal Invasive Ventilation Systems with Heat Recovery for Historic Buildings, konferenční sborník 11. světový kongres REHVA, CLIMA 2013.

[Pfluger 2013c] Pfluger, R., Feist, W., Hasper, W.: The use of coaxial ducts in ventilation systems, Pollack Periodica, Vol. 8. No. 1, 2013, S. 89-96.

[Sprecher 2011] Sprecher, F., Estévez M., Produktewettbewerb Aktive Überströmer, Bericht des Preisgerichtes, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, Verein Minergie, Zürich, 5 (2011).

[Zürich 2011] Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Produktewettbewerb Aktive Überströmer, Bericht des Preisgerichtes.

[Zürich 2012] Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Schlussbericht, Lüftung für Schulen, Studie zu geeigneten Lüftungen für Schulhäuser bei Modernisierungen, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, Verein Minergie, Zürich 2011.

SYSTÉMY PRO

◦ RODINNÉ DOMY, BYTY A BAZÉNY

Systémy větrání s rekuperací tepla, teplovzdušného vytápění a chlazení pro rodinné a bytové domy vč. systémů regulace.

DUPLEX Easy

DUPLEX EC4 / ECV4

DUPLEX R4

DUPLEX RDH4

◦ ZDROJE TEPLA

Zdroje tepla a chladu, integrované zásobníky tepla, tepelná čerpadla země-voda, vzduch-voda a vzduch-vzduch, stěnové topné panely.



DUPLEX RB4



Tepelné čerpadlo
TCA 3.1

- Systémy umožňující větrání, vytápění i chlazení objektů
- Vysoká účinnost zpětného zisku tepla až 95 %
- Použití nejlepších dostupných technologií – EC ventilátory, servopohony, rekuperační výměníky
- Univerzální a jednoduchá instalace a zapojení
- Možnost spolupráce s různými zdroji tepla, nebo chladu
- Vlastní digitální regulace, integrovaný webserver
- Široká škála příslušenství
- Široká servisní síť v rámci celé ČR a SR

www.atrea.cz

ATREA s. r. o. • Československé armády 32, 466 05 Jablonec nad Nisou • T: (+420) 483 368 111 • E: rd@atrea.cz



**DOMY
ATREA**
bydlet lépe

**nová
zelená
úsporám**



DOMY

**NÍZKOENERGETICKÉ,
PASIVNÍ A NULOVÉ**



**Poradenství · Vzorový dům
Architektura · Projekce · Realizace**

KVALITNÍ ARCHITEKTURA A DESIGN
KOMFORTNÍ A ZDRAVÉ VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ
NÍZKÁ ENERGETICKÁ NÁROČNOST
OHLEDUPLNOST K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ

www.atrea.cz

Latest Progress in Ventilation Systems Worldwide

*assoz. Prof. Dr.-Ing. Rainer Pfluger, Universität Innsbruck, Unit Energy Efficient Buildings
Technikerstr. 13, A-6020 Innsbruck, rainer.pfluger@uibk.ac.at*

1. Introduction

In Passive Houses, high efficient ventilation units with recuperative counter-flow heat exchangers are commonly used. Heat recovery rates above 90% and high electrical efficiency is state of the art. Is there any further progress to be expected? This paper analyses the latest developments, research and pilot applications in ventilation systems worldwide.

The focus is not only on the HRV-units themselves, but on the whole system including auxiliary components such as frost protection and installation procedure. Units with humidity recovery, on the market since several years, do need almost no backup system for frost protection, even at low outdoor temperatures. The same holds for regenerative heat exchangers, new design principles for this type were developed within the last view years as described in this work.

For recuperative heat exchangers without humidity recovery, several strategies for frost protection are in use, [Pfluger 2013] gives an overview. Innovative high efficient and low cost systems are under development and will be also described here. To avoid high invest and maintenance costs, the heat pipe (or thermosiphon) principle can be applied. Prefabrication of ductwork and insulation including frost protection is a further step to this direction.

Several strategies to reduce ductwork are also described. Especially for refurbishing, this development is important to find new solution for implementation of ventilation in existing buildings.

2. Space saving recuperative heat exchangers: The new generation of counterflow heat recovery

Since more than 10 years, the counterflow heat exchanger pushed the crossflow heat exchangers almost completely out of the market. From thermodynamic point of view, the heat recovery rate of the counterflow principle is (in theory) improvable up to 100 %, in practice it is limited by the size of the heat exchanger (material, cost). In order to enhance the heat recovery rate keeping the volume of the heat exchanger constant, the gap width between

the plates have to be reduced as far as possible. If the gap width is too small, drops of condensate will block the air flow, because of the surface tension of water. In case of heat exchangers with humidity recovery, no condensate in liquid form occurs, which allows a smaller gap width. For those systems, the gap width is limited only by means of manufacturing tolerances.

Based on this physical principle, the future generation of counterflow recuperative heat exchangers will be smaller and more effective at the same time. At the moment, however, the HRVs with humidity recovery are still less effective than those without humidity recovery due to material and manufacturing problems.

A new way to use humidity recovery and heat recovery with a recuperative heat exchanger is shown by the companies Recair and AirPohoda.



Figure 1: Heat and humidity recovery by recuperative heat exchanger from RECAIR (left), ventilation unit from air POHODA (centre and right)

The basic principle behind can be described as follows. The flow paths for outdoor/supply air and extract/exhaust air are changed periodically. This way, any condensate at the exhaust side of the heat exchanger plates is recovered by the dry outdoor air passing by within the next flow period. If a high humidity recovery rate is desired, the period time for changing the flow path is chosen shorter. If no humidity recovery should occur, the flow path is retained.

3. New ways of heat and humidity recovery by regenerative heat exchangers

Besides the recuperative heat exchangers, regenerative heat exchangers, such as rotary heat exchangers are state of technology in ventilation systems. This type of heat exchangers do have the advantage of no need for frost protection. The question is, if the regenerator principle might be designed more compact and efficient. New types of space saving heat recovery systems will help to integrate high efficient ventilation systems in existing buildings. The innovative development of a combination of fan and heat exchanger by University of Innsbruck is intended for the integration in the external wall. This will help to save space, energy and money.

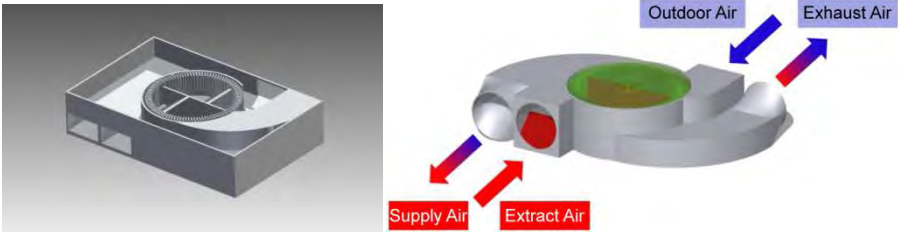


Figure 2: Heat recovery fan developed by University of Innsbruck within the research projekt Vent4Reno (INTERREG)

A detailed description of the system as well as the calculations and results are given in [Pfluger 2013a].

4. Principle of extended cascade ventilation

The original principle of cascade ventilation is to guide the air from the supply air rooms, such as bedroom and living room via overflow openings to the living rooms and the corridor to the extract air rooms (such as toilet, bathroom and kitchen). This widely used principle helps to avoid ductwork and to build energy and cost efficient ventilation systems.

Due to the fact, that people are *either* in the bedroom *or* in the living room, it is sufficient to supply the air only to the bedrooms. Via overflow openings, the air flows through the living room and the corridor to the extract air rooms (see Figure 3).

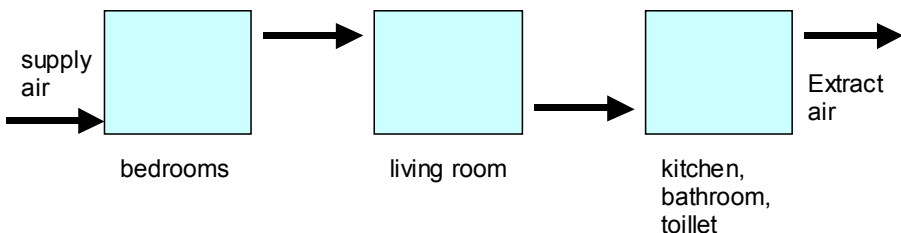


Figure 3: Principle of cascade ventilation (supply air only in bedrooms, living rooms are regarded as overflow zones)

This extended principle helps to save even more ducts, air inlets and silencers. An additional advantage is the fact, that the overall air change rate can be further reduced. Especially in countries with a long heating season, this is an important fact to avoid dry indoor air.

5. Principle of active overflow ventilation (AOP) – an innovative solution for residential refurbishing and school buildings

The AOP was developed and tested for the application in residential buildings by “Hochbaudepartement, Amt für Hochbauten, Stadt Zürich” (see [Sprecher 2011]). The occupied spaces take the air from the corridor via a fan installed in the door. The return flow of the air into the passage can be realized via the crack in the door or via an overflow valve (passive or active) back to the corridor, which works as distribution and mixing zone. It is vented by a heat recovery system.

Different technical solutions are available for the active overflow elements, which can be located in the door panel, above the door (lintel), in the door frame or in the wall. Figure 4 shows several solutions. The fan is running only if the door is closed (integrated switch).



Figure 4: Active overflow elements in the door panel (left), over the door (centre) and in the door frame (right) (Source: [Zürich 2011])

As the AOP works successfully in refurbishing of residential buildings, the author decided to investigate, if the principle is also applicable for school buildings. The major difference compared to residential buildings is the higher flow rate, which is more difficult to distribute without draft risk and low sound emission.

Within the EU project 3ENCULT, it was tested in two class rooms of a school building (NMS Hötting in Innsbruck, Austria see [Pfluger 2013b]). A fan is used to duct the air from the corridor to the class rooms and back again (see Figure 5). A central heat recovery unit, placed at the attic, takes the air from the toilets and wardrobes for preheating the outdoor air, which is ducted to the staircase. This way, vertical and horizontal ducts can be avoided, because the staircase and corridors are used as a duct.



Figure 5: Active overflow ventilation in a prototype class room in Innsbruck (A), air inlet via textile diffuser and fan from corridor (preheated supply air from central heat recovery unit at the attic without duct via staircase and corridor).

The air is distributed in the class room via textile diffuser without any draft risk.

The monitoring results of this test under real conditions with a prototype system manufactured by the company ATREA (CZ) showed promising results, in terms of ventilation and electrical efficiency as well.

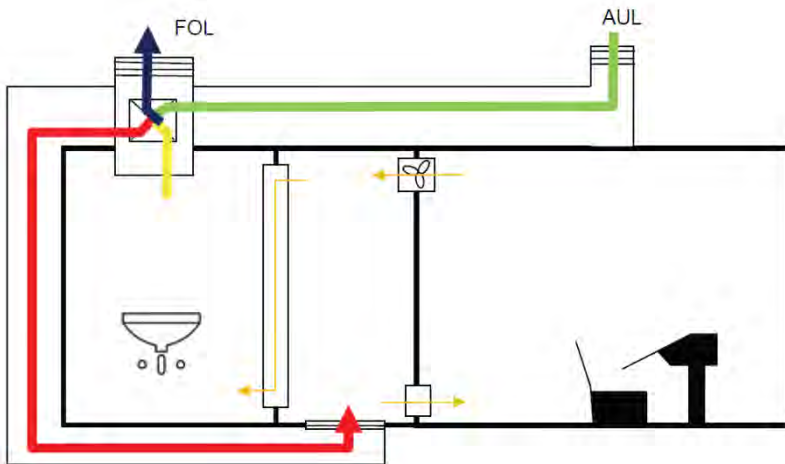


Figure 6: Active Overflow according to Dr. B. Kegel [Zürich 2012]

6. Coaxial duct system for ambient-/exhaust air

Coaxial duct systems, developed by University of Innsbruck can help to minimize the number of holes through the external walls. The outdoor air is ducted through the annular gap, whereas the exhaust air flows through the central duct (see Figure 6). As shown by tracer gas measurement, there is no danger of short circuit flow from exhaust air outlet to outdoor air inlet.

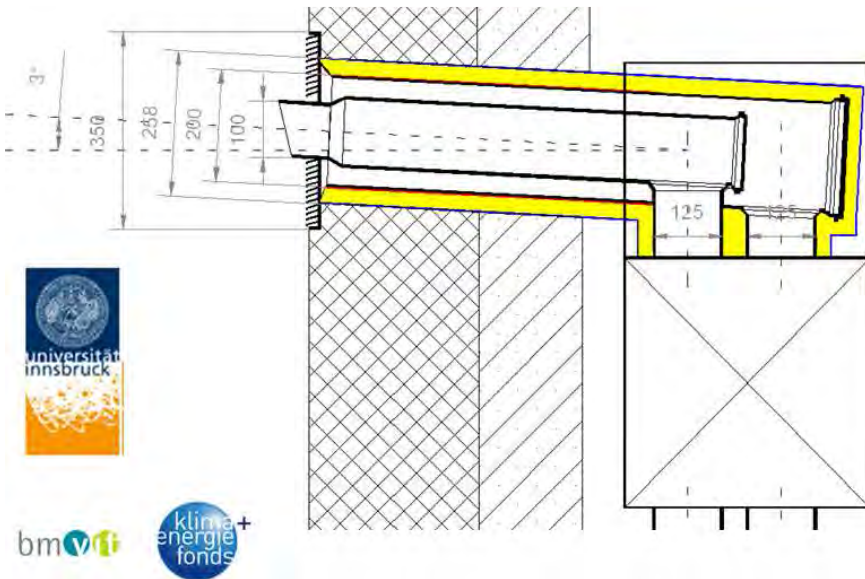


Figure 7: Coaxial duct for outdoor air intake and exhaust air outlet developed by University of Innsbruck within the research project low_vent.com; prototype built by company POLOPLAST

The use of coaxial ducts in ventilation systems was published in [Pfluger 2013c]

7. Frost protection using the physical principle of a thermosiphon and a heat pipe

Within the following chapter, the technical application of a heat pipe driven heat exchanger for frost protection in Passive House ventilation systems is explained. This investigations performed by University of Innsbruck are part of the research project low_vent.com.

In Figure 7 the physical principle of a thermosiphon versus that of a heat pipe is shown.

If heat is supplied at one end of the pipe, the refrigerant evaporates with a high uptake of energy. The vapor flows along the temperature gradient and condensates at the cold end (condenser) of the pipe, releasing the condensation heat.

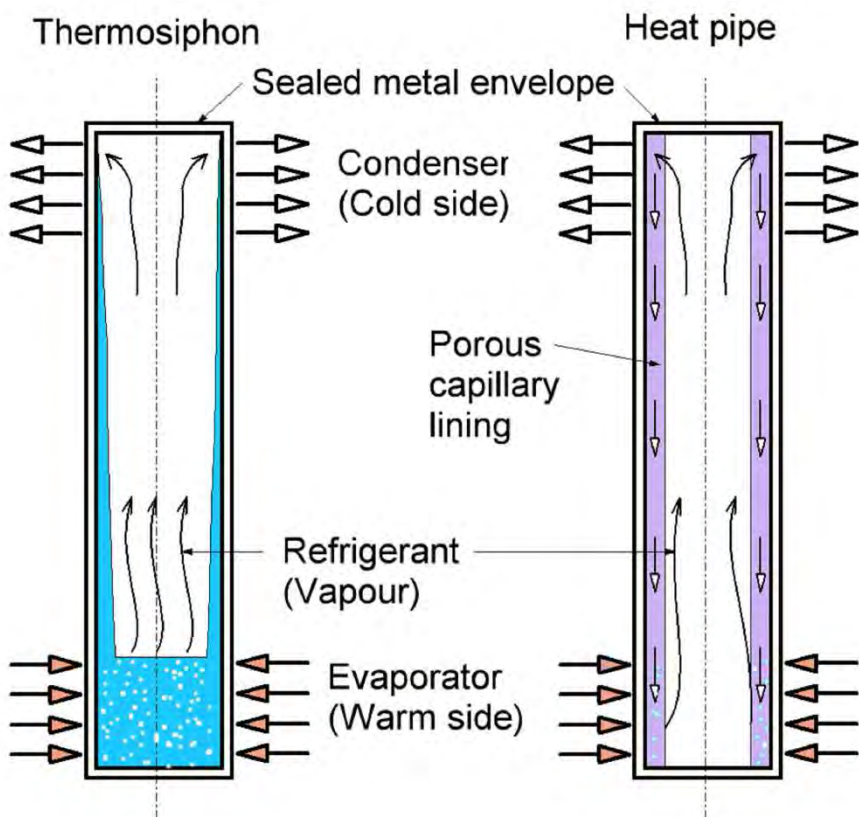


Figure 8: Principle of a thermosiphon based on condensate return flow driven only by gravity (left) and a heatpipe with porous capillary lining or wick (right)

The return flow of condensate is performed either by gravity only (in this case it is called thermosiphon, see Figure 7 left) or also by capillary lining or wick (in this case it is called a heat pipe, see Figure 7 right). This indicates that in the heat pipe the condensation/evaporation process can take place in both ends; heat pipe is side-reversible and independent of the orientation and slope, compared to thermosiphon.

This way, the heat transfer from one end of the pipe to the other is more than one hundred times higher than in case of a copper wire only.

As the heat transfer coefficient for boiling and condensing is one hundred times higher than the heat transfer coefficient of exchange from the surface to the ventilation air, fins are

necessary to enlarge the surface at the condenser side. Figure 8 shows a finned heat pipes for different heat transfer applications.



Figure 9: Finned heat pipe (Source: DAU GmbH & Co KG)

One of the advantages of a thermosiphon or heat pipe (in the following only called “heat pipe”) compared to a conventional brine circuit is, that no pump or other movable parts such as a non-return valve are necessary. Moreover, no anti-freeze is necessary to avoid freezing of the water circuit. In case of a heat pipe, the refrigerant is chosen out of those fluids, where no freezing will occur in the relevant temperature range (such as ammonia (triple point temperature $-94.65\text{ }^{\circ}\text{C}$), carbondioxide (triple point temperature $-56.56\text{ }^{\circ}\text{C}$)). Water at low pressure can be used for heat pipe applications in general, but also in frost protection systems if only the condenser part is in the frost zone. They work in the temperature range of $+5^{\circ}\text{C}$ to 275°C .

In Figure 9 a system application is shown, which takes the heat from the central heating system of the building, in this case it is one heating loop for space heating and domestic hot water. The control of the heating power for frost protection is solved by a thermostatic three way valve with remote-sensor in the exhaust air flow of the heat recovery system.

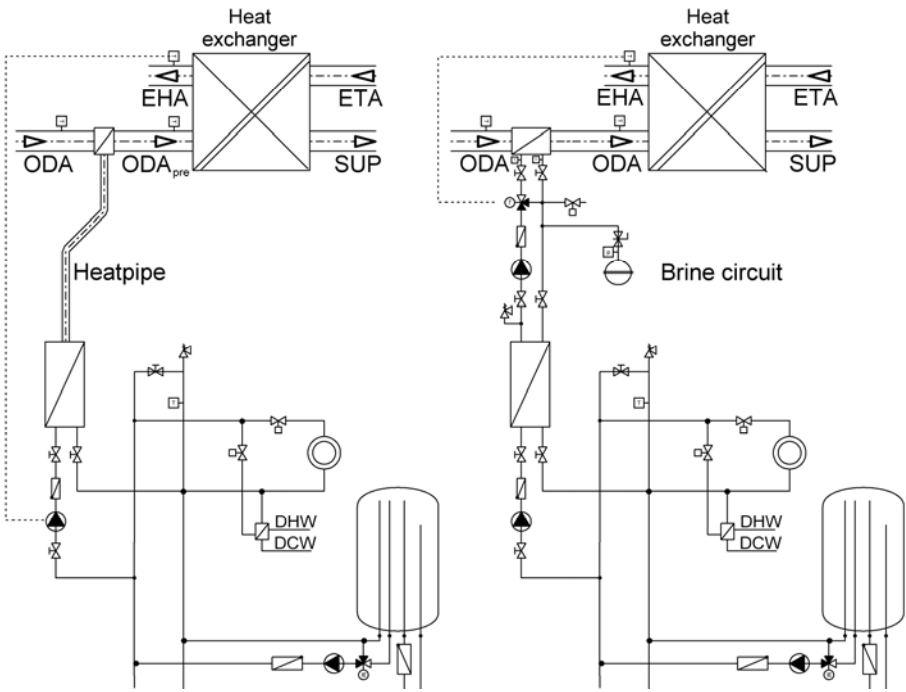


Figure 10: Principle of frost protection using heat pipe/thermosiphon technology (left) or brine circuit (right), the heat is taken from the central heating system of the building (e.g. heating loop for space heating and domestic hot water).

Heat pipes and thermosiphon have the advantages of passive elements, no pump, brine loop and expansion tank is necessary. Space saving inside the HVAC units and no reparation necessary over life time span that both fosters convenient, robustness and responsibility of the unit. This results in lower investment and maintenance costs with annual savings calculated by LCA in the range of 134-255 €/a per ventilation unit with around 3500 m³/h.

8. Acknowledgements

This publication originated within the context of the research project low_vent.com. This project is funded by the Climate and Energy Fund and realized within the framework of the 'NEUE ENERGIEN 2020' programme (Project number: 2626864).

9. References

[Pfluger 2013] Pfluger, R., Feist, W., Hasper, W., Kopeinig, G.R. Energy and cost efficient ventilation systems with heat recovery – state of the art and enhancement, ASHRAE Transactions Vol. 119, Part 2, 2013.

[Pfluger 2013a] Pfluger, R., Speer C., Feist W., Weger J., Zgaga J.: Entwicklung eines hocheffizienten Ventilators mit integrierter Gegenstromwärmerückgewinnung für den Einsatz in der Gebäudemodernisierung, Bauphysik 4/2013

[Pfluger 2013b] Pfluger, R., Längle, K.: Minimal Invasive Ventilation Systems with Heat Recovery for Historic Buildings, Conference proceedings 11th REHVA World Congress, CLIMA 2013

[Pfluger 2013c] Pfluger, R., Feist, W., Hasper, W.: The use of coaxial ducts in ventilation systems, Pollack Periodica, Vol. 8. No. 1, 2013, S. 89-96

[Sprecher 2011] Sprecher, F., Estévez M., Produktewettbewerb Aktive Überströmer, Bericht des Preisgerichtes, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, Verein Minergie, Zürich, 5 (2011)

[Zürich 2011] Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Produktewettbewerb Aktive Überströmer, Bericht des Preisgerichtes

[Zürich 2012] Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Schlussbericht, Lüftung für Schulen, Studie zu geeigneten Lüftungen für Schulhäuser bei Modernisierungen, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, Verein Minergie, Zürich 2011

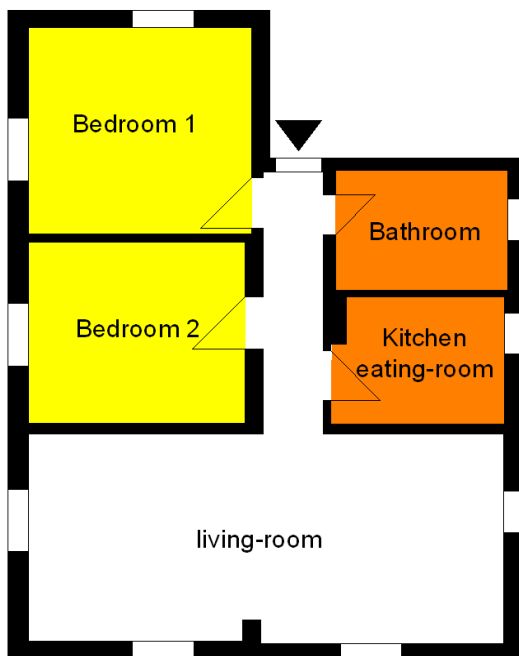
Kaskádové větrání – poznatky pro navrhování obytných místností bez otvorů pro přívod a odvod vzduchu

Gabriel Rojas, Dr. Rainer Pfluger

Technikerstr. 13, A-6020 Innsbruck, gabriel.rojas-kopeinig@uibk.ac.at

1. Úvod

Princip rozšířeného kaskádového větrání je založen na myšlence využití obytné místnosti jako zóny nerušeného proudění vzduchu bez vlastního přívodu. Takové řešení usnadňuje montáž a snižuje intenzitu výměny vzduchu, aniž by došlo ke snížení kvality vnitřního vzduchu, neboť čerstvý vzduch je efektivněji využíván. Nicméně je nutné, aby bylo půdorysné uspořádání řešeno vhodným způsobem. [Sibille a Pfluger 2013] systematicky zkoumali a posuzovali širokou škálu půdorysů. Tento příspěvek na ně navazuje a zabývá se otázkou, zda může mezi větracími otvory při proudění vzduchu nastat „zkrat“, pokud jsou umístěny v příliš úzké chodbě, jak je znázorněno na obrázku 1. Síla tohoto malého okruhu byla kvantifikována na základě počítačové simulace dynamiky tekutin (CFD) a měření účinnosti výměny vzduchu [Etheridge a Sandberg 1996a]. Byly upravovány různé parametry, aby bylo možno posoudit dopad různých geometrických a tepelných podmínek ohraničení prostoru na dvě nejběžnější řešení proudění vzduchu, která se vyskytují v architektuře pasivních domů (mezera pod dveřmi a v zárubni nahoře).

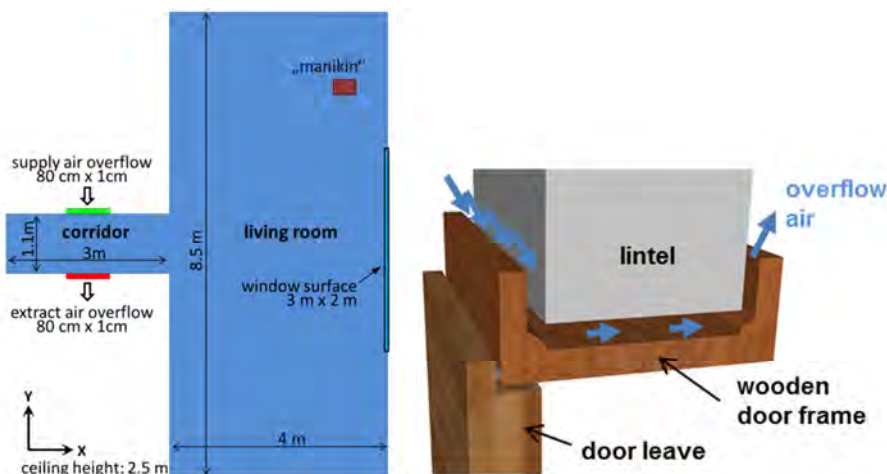


Obr. 1: Půdorys s nebezpečím zkratu proudění vzduchu. Při uplatnění principu rozšířeného kaskádového větrání nebude mít obývací pokoj přívod ani odvod vzduchu. Síla zkratového proudu vzduchu mezi dvěma protilehlými větracími otvory určuje, kolik čerstvého vzduchu obývací pokoj získá.

Bedroom = ložnice; Bathroom = koupelna; Kitchen eating room = kuchyně, jídelna; Living room – obývací pokoj

2. Metody

Pro zjednodušení byl v půdoryse na obrázku 1 redukován počet vstupních otvorů na pouze jeden pro přiváděný vzduch a proti němu jeden pro vzduch odváděný z místnosti. Rozvržení a vymezující parametry byly stanoveny tak, aby ukázaly realistické, ale nejhorší možné podmínky, jaké mohou nastat při problematice zkratových proudění vzduchu (obrázek 2, vlevo). V popisovaném případě byly do modelu zahrnuty pouze tepelné zisky dané jednou osobou. Místnosti interiéru byly v podstatě adiabatické; předpokládalo se, že jediná vnější stěna a okno v ní je v kvalitě odpovídající definici pasivního domu (tj. 0,1 a 0,6 W/m²K), při předpokládané venkovní teplotě kolem 8 °C.



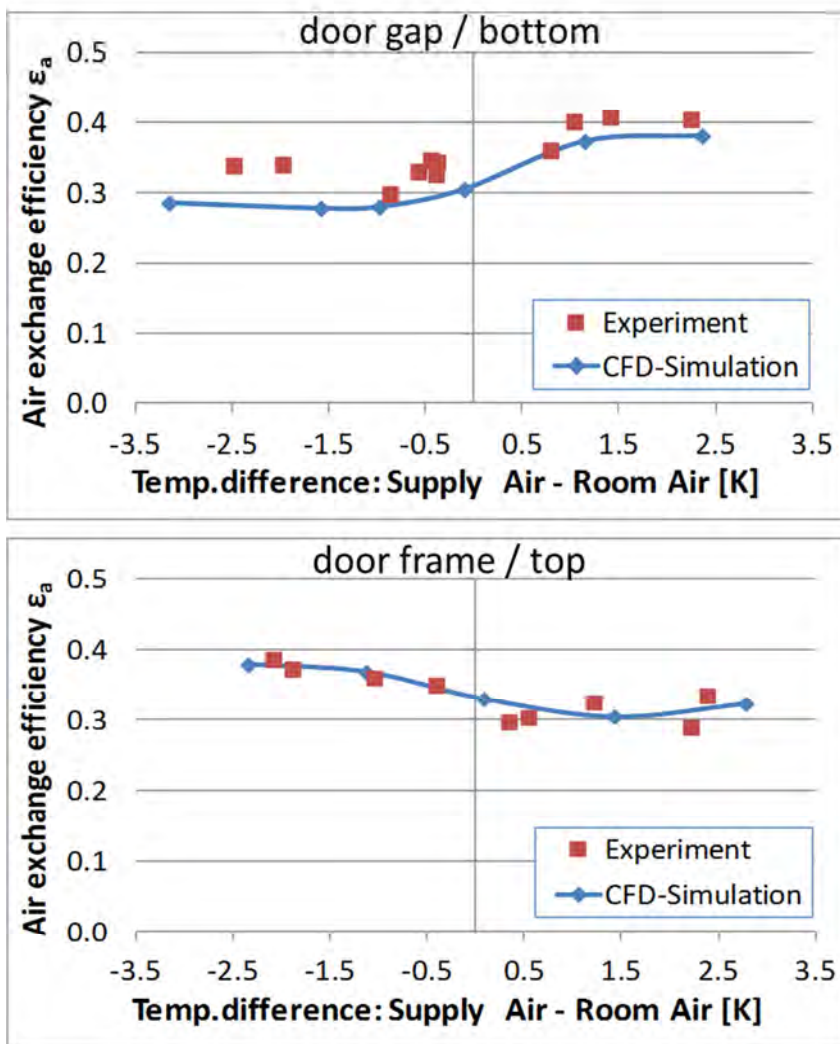
Obrázek 2: Náčrt uspořádání referenčního půdorysu (vlevo) a 3-D znázornění řešení unikajícího proudu vzduchu zárubní (vpravo).

Door leave = dveřní křídlo; Wooden door frame = dřevěná obložka zárubně; Lintel = překlad; Overflow air = unikající vzduch; Living room = obývací pokoj; Supply air overflow 80 cm x 1 cm = proud přiváděného vzduchu 80 cm x 1 cm; extract air overflow 80 cm x 1 cm = proud odváděného vzduchu 80 cm x 1 cm; corridor = chodba; Windows surface = plocha okna; Manikin = figurína

Větrací otvory byly modelovány buď jako jednoduché mezery o rozměrech 80 cm x 1 cm nacházející se mezi dveřním křídlem a podlahou nebo jako mezera mezi obložkou zárubně a překladem (obrázek 2, vpravo). Průtok vzduchu činil $30 \text{ m}^3/\text{h}$, což má za následek koncentraci CO_2 v obývacím pokoji v hodnotě 1000 ppm za předpokladu, že by směřování probíhalo ideálním způsobem.

Pro ověření uvedeného CFD modelu byla simulována podobná situace ve zkušební komoře PASSYS [Hahne a PFLÜGER 1996]. Tato zkušební komora byla vyvinuta pro testování fasád-ních složek za kontrolovatelných mezních podmínek, a proto se dobře hodí pro simulaci požadovaných podmínek našeho šetření. Vstupní chodba byla vytvořena za použití sádrokartonových desek se dvěma větracími otvory umístěnými proti sobě. Zbývající prostor ve zkušební komoře tvořil obývací pokoj s oknem. Venkovní podmínky (teplota a vítr) byly vytvořeny pomocí chladičho boxu. Účinnost výměny vzduchu ϵ_a byla měřena pomocí metody step-up/step-down za pomoci monitorování indikačního plynu CO_2 [Etheridge a Sandberg 1996b]. Jedná se o bezrozměrný parametr, který kvantifikuje účinnost výměny vzduchu (a tím i odvodu škodlivých látek) a vykazuje hodnoty od 0 (úplný zkrat proudění vzduchu) do 1 (pístový tok). Hodnota 0,5 označuje dokonalé promíchání vzduchu v místnosti. Pro obytné

větrání je to nejlepší reálně dosažitelná hodnota. Obrázek 3 znázorňuje srovnání měřené a simulované účinnosti výměny vzduchu.

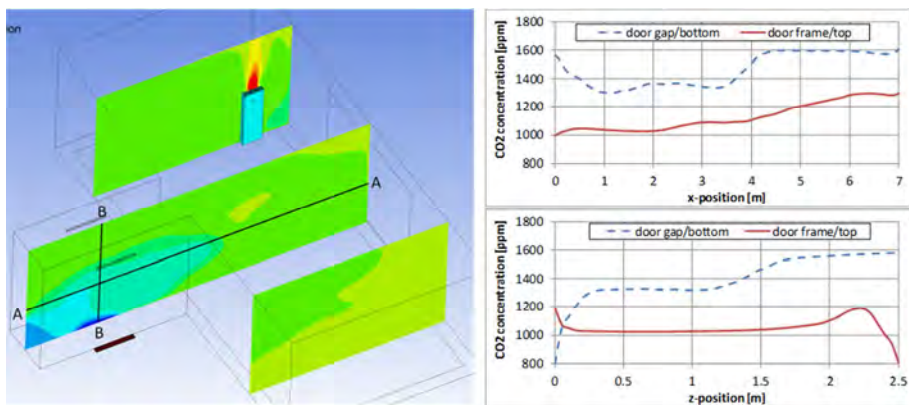


Obrázek 3: Srovnání výsledků simulace CFD a skutečného měření ve zkušební místnosti v závislosti na rozdílu teplot mezi přiváděným vzduchem (pocházejícím z ložnice) a vzduchem v obývacím pokoji.

Air exchange efficiency = účinnost výměny vzduchu; Door gap / bottom = dveřní štěrбина / dole; Door frame / top = zárubeň / nahoře; Experiment = měření; CDF – simulation = simulace CDF; Temp. Difference: Supply air – room air = Rozdíl teplot: přiváděný vzduch – vzduch v místnosti

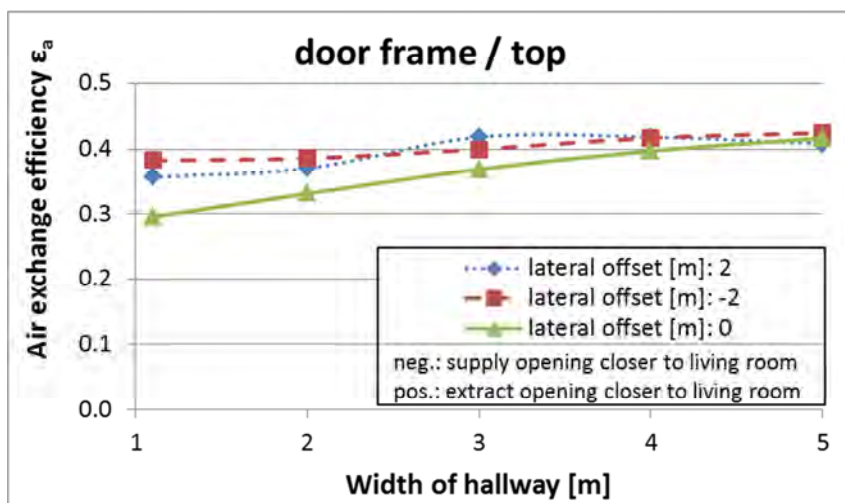
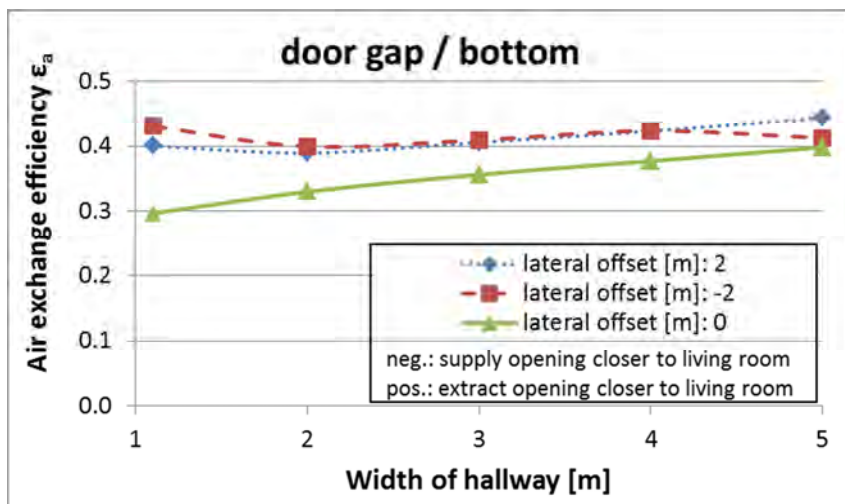
3. Výsledky

Vzhledem k nepříznivým podmínkám potvrzují modelové i skutečně naměřené hodnoty nebezpečí zkratu proudění v obývacím pokoji za předpokladu, že nemá vlastní otvor pro přívod nebo odvod vzduchu. V případě protilehlých vzduchových mezer pod dveřmi vykázal model za daných hraničních podmínek účinnost výměny vzduchu 0,27 s průměrnou koncentrací CO_2 v hodnotě 1500 ppm (místo 1000 ppm při dokonalém promíchání). Obrázek 4 znázorňuje prostorové rozdělení koncentrace CO_2 pro variantu s mezerami pod dveřmi a s prvky pro odvod vzduchu integrovanými v zárubni.



Obrázek 4: Výsledky simulace CFD: vlevo 3D vizualizace koncentrace CO_2 , vpravo prostorový profil odpovídající koncentrace podél zobrazených linií (AA podél osy x, BB podél osy z).

Za účelem vyhodnocení, jak se mění výsledky podle vstupních podmínek, byly vytvořeny různé kombinace parametrů. Účinnost výměny vzduchu byla zkoumána při různých teplotách přitékajícího vzduchu, různých hodnotách proudění, různých polohách umístění figuríny a různých teplotních vstupech. Byly též posuzovány různé změny v prostorovém uspořádání, jako je šířka chodby a boční odstup (vzdálenost) mezi vstupními otvory (viz obrázek 5).



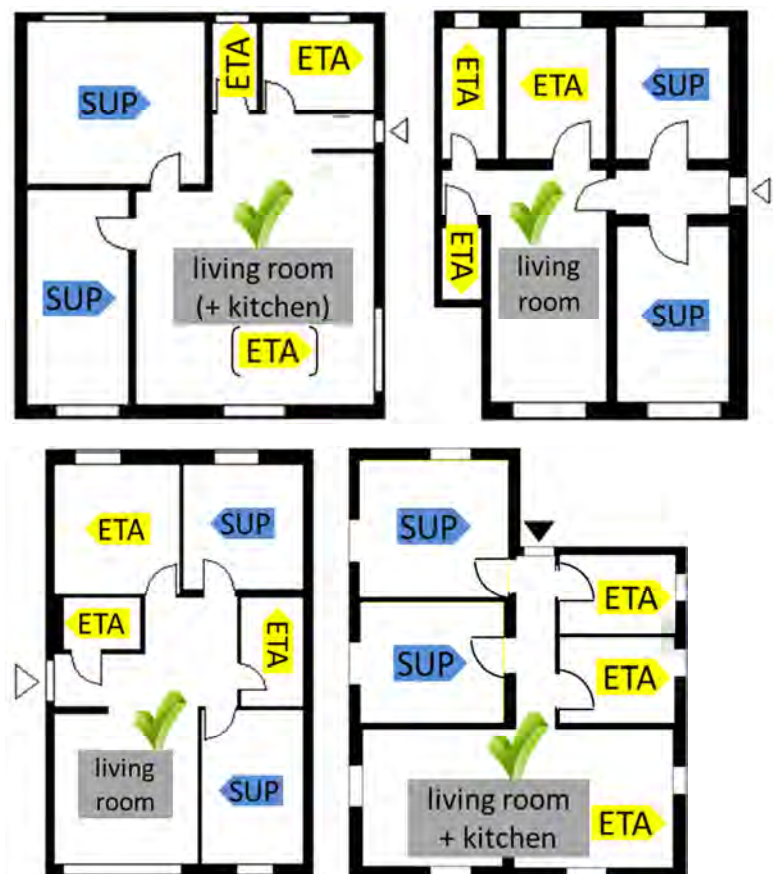
Obrázek 5: Účinnost výměny vzduchu jako funkce šířky chodby a různých poloh bočních otvorů (jejich vzdálenosti) při průtoku objemu $30 \text{ m}^3/\text{h}$ pro mezeru pod dveřmi (vlevo) a v zárubni (vpravo). Pro každý průtok vzduchu byla vybrána nejnepríznivější hodnota teploty. Vyhneme-li se přímo protilehlému uspořádání a při dostatečně široké chodbě lze dosáhnout přijatelných výsledků kolem 0,4.

Air exchange efficiency = účinnost výměny vzduchu; With of hallway = šířka chodby, Lateral offset = boční poloha; Door gap / bottom = dveřní otvor / dole; Door frame / top = zárubeň / nahoře; Neg: supply opening closer to living room = Zápor: otvor pro přívod vzduchu blíže k obývacímu pokoji; Pos: extract opening closer to living room = Klad: otvor pro odvod vzduchu blíže k obývacímu pokoji

4. Závěry / tipy pro navrhování

Z výsledků těchto měření a simulací mohou být pro navrhování rozšířeného kaskádového větrání odvozeny následující poznatky.

Obecně platí, že půdorysné uspořádání, ve kterém přívod a odvod vzduchu neústí do úzké chodby, je pro kaskádové větrání vhodné. [Sibille a Pflüger 2013] posoudili situaci na základě mnoha zkoumaných půdorysů a pro vyhodnocení vhodnosti dané dispozice existuje on-line nástroj [Sibille, Rojas a Pflüger 2013]. Rozšířené kaskádové větrání se ukázalo být použitelné pro většinu moderních půdorysů. Studie topologie půdorysů v tomto článku zjistila, že v případě, kdy má obývací pokoj vlastní odsávání znečištěného vzduchu (integrována kuchyně), nemusí být dodržovány žádné speciální požadavky. V tomto případě je odsávaného vzduchu dostatečné množství, aby zajistilo dostatečnou výměnu vzduchu mezi chodbou a obývacím pokojem. Tato výměna je mnohem větší než samotný objem odsávaného vzduchu.

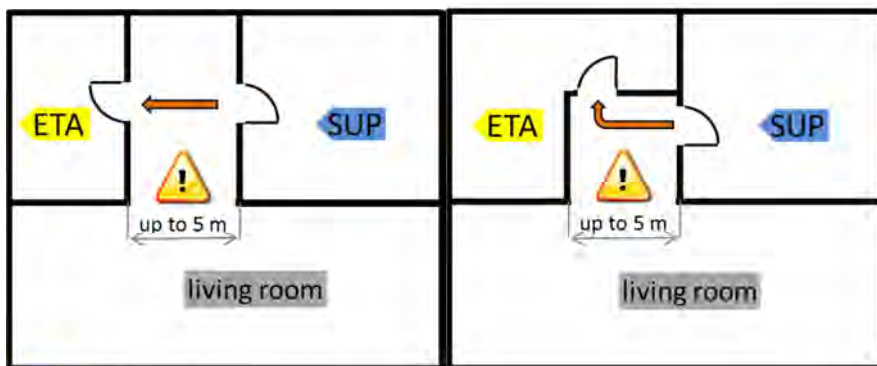


Obrázek 6: Příklady půdorysů, ve kterých lze rozšířené kaskádové větrání efektivně využít. Obývací pokoj je dostatečně zásoben proudícím vzduchem z ložnice. Díky tomuto efektivnímu využívání přiváděného vzduchu může být snížen jeho celkový průtok na byt. (SUP: přiváděný vzduch, ETA: odváděný vzduch)

Living room + kitchen = obývací pokoj + kuchyně

Pokud obývací pokoj nemá vlastní odvod odsávaného vzduchu a všechny větrací otvory vedou do stejné chodby, je využití rozšířeného kaskádového větrání vhodné jen omezeně. Chcete-li v takových případech zabránit zkratu v proudění vzduchu, měli byste vzít v úvahu následující tipy:

- Otvory pro přívod a odvod vzduchu by neměly být umístěny přímo proti sobě a neměly by svírat pravý úhel (obrázek 7). Jinými slovy, přívod proudícího vzduchu by neměl být umístěn přímo proti ploše, ze které je odváděn vzduch odpadní. V závislosti na tom, jaký druh otvoru je použit, platí tato rada pro rozměry (šířka chodby) do čtyř až pěti metrů.

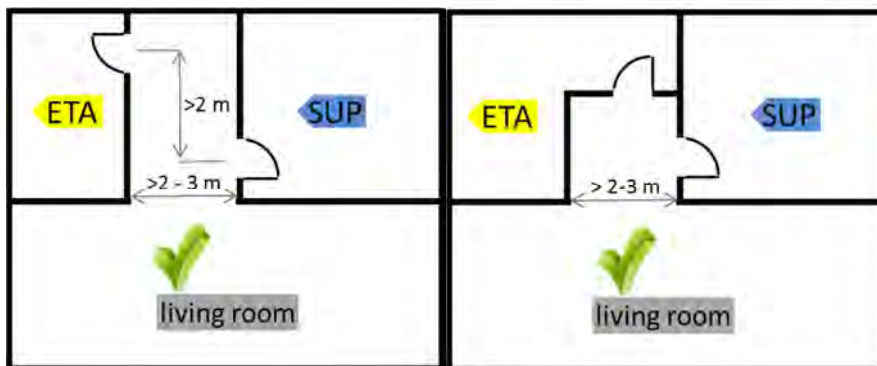


AL ...Supply Air

ZL ...Extract Air

Obrázek 7: Uspořádání chodby a proudění vzduchu, při kterém hrozí zkrat proudění vzduchu v závislosti na limitních podmínkách. V takových případech by měl být obývací pokoj vybaven vlastním přívodem (či odtahem) vzduchu. Living room = obývací pokoj; Supply air = přiváděný vzduch; Extract air = odváděný vzduch

- Pokud jsou chodby širší než dva až tři metry, větrací otvory umístěné proti sobě lze posunout vertikálně nebo horizontálně alespoň o dva metry, a obývací pokoj tímto způsobem získá dostatek proudícího vzduchu (obrázek 8).



AL ...Supply Air

ZL ...Extract Air

Obrázek 8: Možné uspořádání proudění vzduchu, které výrazně sníží riziko zkratu. Simulace prokázala účinnost výměny vzduchu $> 0,4$ pro chodby o šířce do tří metrů. S jednou osobou v obývacím pokoji by se koncentrace ustálila na hodnotách kolem 1150 ppm namísto 1000 ppm ($30 \text{ m}^3/\text{h}$).

Living room = obývací pokoj; Supply air = přiváděný vzduch; Extract air = odváděný vzduch

- Obecně (i při chodbách o šířce do dvou metrů), může kombinace otvoru pro přívod proudu vzduchu umístěného nahoře a otvoru pro odtah vzduchu v dolní části snížit riziko zkratu na přijatelnou úroveň. V takovém případě by měla být mezera pod dveřmi utěsněna (práh nebo schodek), aby se zabránilo proudění vzduchu (z přívodní místnosti) touto cestou.
- Vícepodlažní půdorysné uspořádání, ve kterém nemá obývací pokoj a celé jeho podlaží vlastní přívod nebo odvod vzduchu, není pro rozšířené kaskádové větrání obecně vhodné.

5. Závěry a poděkování

Rozšířené kaskádové větrání je velmi efektivní způsob větrání obytných prostorů. Snižuje pořizovací i provozní náklady a v zimních obdobích může zvýšit vlhkost vzduchu tím, že omezuje množství přiváděného čerstvého vzduchu. Tento způsob však nelze použít pro vytápění. Půdorysné uspořádání a potřeba flexibility využití jednotlivých místností by mohly zavádění rozšířeného kaskádového větrání bránit. Obecně lze konstatovat, že většina moderních půdorysů je pro realizaci kaskádového větrání vhodných. Pokud jsou však všechny větrací otvory svedeny do společné chodby a obývací pokoj nemá integrovanou kuchyň (s odtahem vzduchu), nastává riziko zkratu vzdušného proudění. Pro takové případy byly v tomto projektu vypracovány typy pro navrhování.

Tato studie obdržela finanční prostředky z Rakouského ministerstva dopravy, inovací a technologie jako součást projektů FFG Doppelnutzen (Haus der Zukunft plus) a low_vent.com (Neue Energien 2020).

Haus der Zukunft Plus je program pro výzkum a technologie Rakouského ministerstva dopravy, inovace a technologie (BMVIT). Navazuje na zkušenosti z programu Haus der Zukunft a bere v úvahu výsledky strategického procesu ENERGIE 2050. Pro BMVIT jej realizuje Rakouská agentura pro podporu výzkumu spolu s rakouským Wirtschaftsservice Gesellschaft a Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT). Program vychází z programového dokumentu Energie der Zukunft a pokrývá oblasti energetiky a stavebnictví.

6. Literatura

Etheridge, David, a Mats Sandberg. 1996a. „Definition of air-exchange efficiency“, s. 267 in *Building Ventilation - Theory and Measurement*. John Wiley & Sons

Etheridge, David, a Mats Sandberg. 1996b. „Tracer gas techniques for measuring age distribution and ventilation efficiency,” s. 627–38 in *Building Ventilation - Theory and Measurement*. John Wiley & Sons

Hahne, Erich, a Rainer Pfluger. 1996. „Improvements on PASSYS test cells.” *Solar energy* 58(4):239–46, staženo 21. srpna 2012

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X96000801>)

Sibille, Elisabeth, a Rainer Pfluger. 2013. „Optimization of dwelling floor-plan configuration for cascade ventilation,” in *Tagungsband: 17. Int. Passivhaus-Tagung*, ed. Wolfgang Feist. Passivhaus Institut

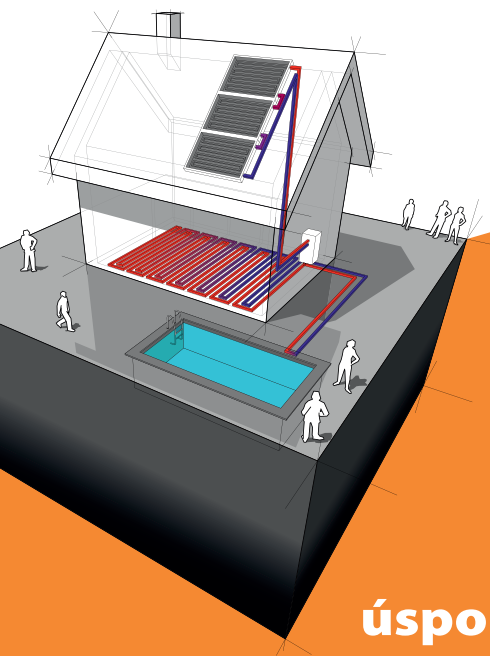
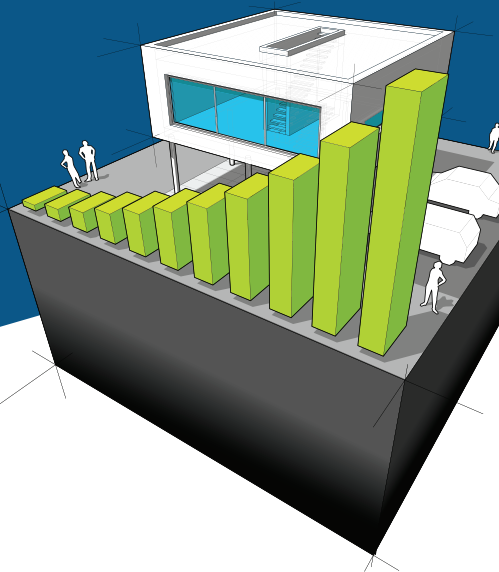
Sibille, Elisabeth, Gabriel Rojas, a Rainer Pfluger. 2013. „Planungshinweise für komfort- und kostenoptimierte Luftführungskonzepte - Erweiterte Kaskadenlüftung,” staženo 19. ledna 2014 (http://www.passipedia.de/passipedia_de/planung/tools)

ESTAV.cz

**S námi stavíte
na informacích**

**Portál pro širokou
stavební veřejnost**

www.estav.cz



www.tzb-info.cz



tzbinfo
www.tzb-info.cz

**Odborný portál
pro stavebnictví,
úspory energií a technická
zařízení budov**

Cascade ventilation – Planning considerations for living rooms without supply and extract air outlets

Gabriel Rojas, Dr. Rainer Pfluger

Technikerstr. 13, A-6020 Innsbruck, gabriel.rojas-kopeinig@uibk.ac.at

1. Introduction

The principle of extended cascade ventilation is based on the idea of using the living room as a pure overflow zone without its own supply air outlets. This approach facilitates installation and reduces the air exchange rate without reducing the quality of indoor air because fresh air is used more effectively. The floor plan has to have the right topology, however. [Sibille and Pfluger 2013] systematically investigated and assessed the suitability of a wide range of floor plans. This paper goes further to study whether the flow of air can “short circuit” between overflow elements if they lead to a narrow hallway, such as shown in Figure 1. The strength of this short circuit was quantified based on computer fluid dynamic (CFD) simulations and measurements of air exchange efficiency ϵ_a [Etheridge and Sandberg 1996a]. Various parameters were adjusted to assess the impact of geometric and thermal boundary conditions on the two most common overflow solutions found in Passive House architecture (door gap at bottom and doorframe integration at top).

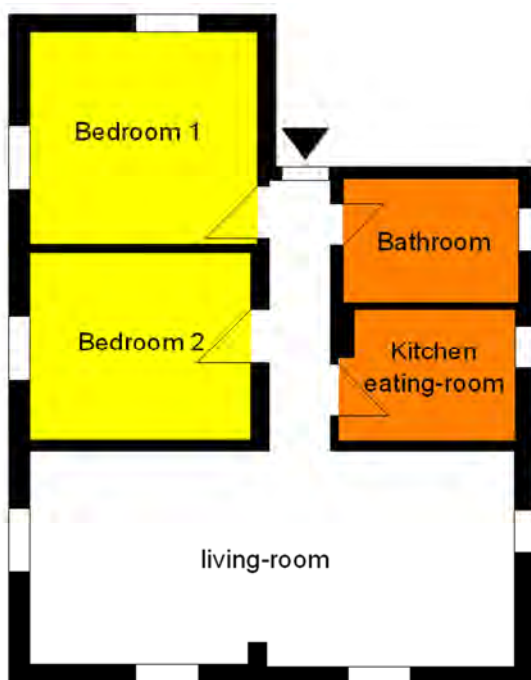


Figure 1: Floor plan with a risk of short-circuiting airflow. Applying the extended cascade ventilation principle, the living room would have neither supply nor extract air. The strength of the short circuit flow between the opposing overflow openings determines how much fresh air the living room gets.

2. Methods

To keep things simple, the floor plan in Figure 1 was reduced to only one overflow opening from a supply and one towards an extract air room. The geometry and the assumed boundary conditions were meant to show realistic but worst case conditions in matters of possible short-circuit airflows (Figure 2, left). In the reference case, only the heat gains from one person were included in the model. The interior rooms were basically adiabatic; the only exterior wall and the window in it were assumed to be in Passive House quality (0.1 and 0.6 W/m²K respectively) at an assumed outdoor temperature of about 8 °C.

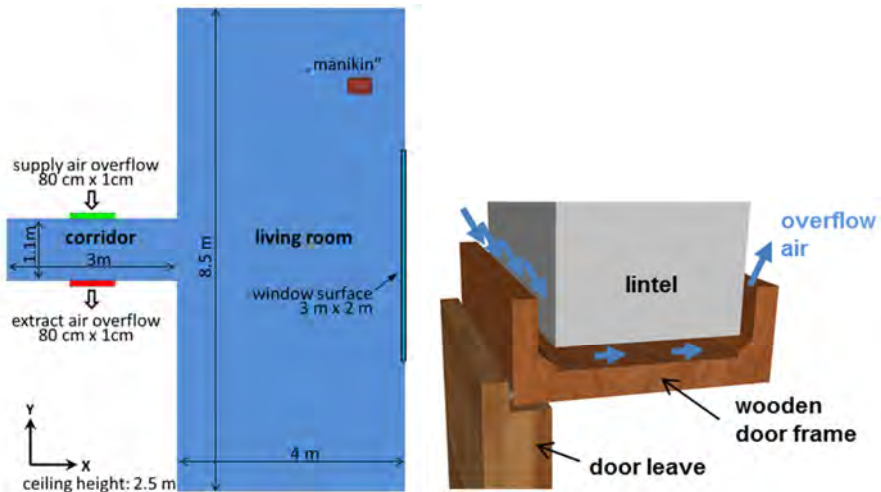


Figure 2: Sketch of the reference model's geometry (left) and a 3-D sketch of the doorframe integrated overflow solution (right).

The overflow openings were modelled either as a simple 80 cm x 1 cm gap between the door and the floor or as a gap between the frame connector and the door lintel (Figure 2, right). The overflowing air amounted to 30 m³/h, resulting in a CO₂ concentration of 1,000 ppm in the living room in case the mixing were ideal.

To validate the CFD model, a situation similar to the one in the simulation was created in a PASSYS test cell [Hahne and Pfluger 1996]. This test cell was developed to test façade components under controllable boundary conditions and is therefore well suited to producing the desired conditions for this investigation. The entryway was recreated using gypsum board with the two overflow openings facing each other. The remaining space of the test cell formed the living room with a window façade. The outdoor conditions (temperature and wind) were created using a cold box. The air exchange efficiency ϵ_a was measured using a step-up / step-down method with CO₂ as the tracer gas [Etheridge and Sandberg 1996b]. It is a dimensionless parameter quantifying the efficiency of air exchange (and therefore pollutant removal) and can vary from 0 (complete short circuit of air flow) to 1 (piston flow). A value of 0.5 indicates a perfect mixing of air in the room. Realistically this is the best achievable value for residential ventilation. Figure 3 shows a comparison of the air exchange efficiency levels measured and simulated.

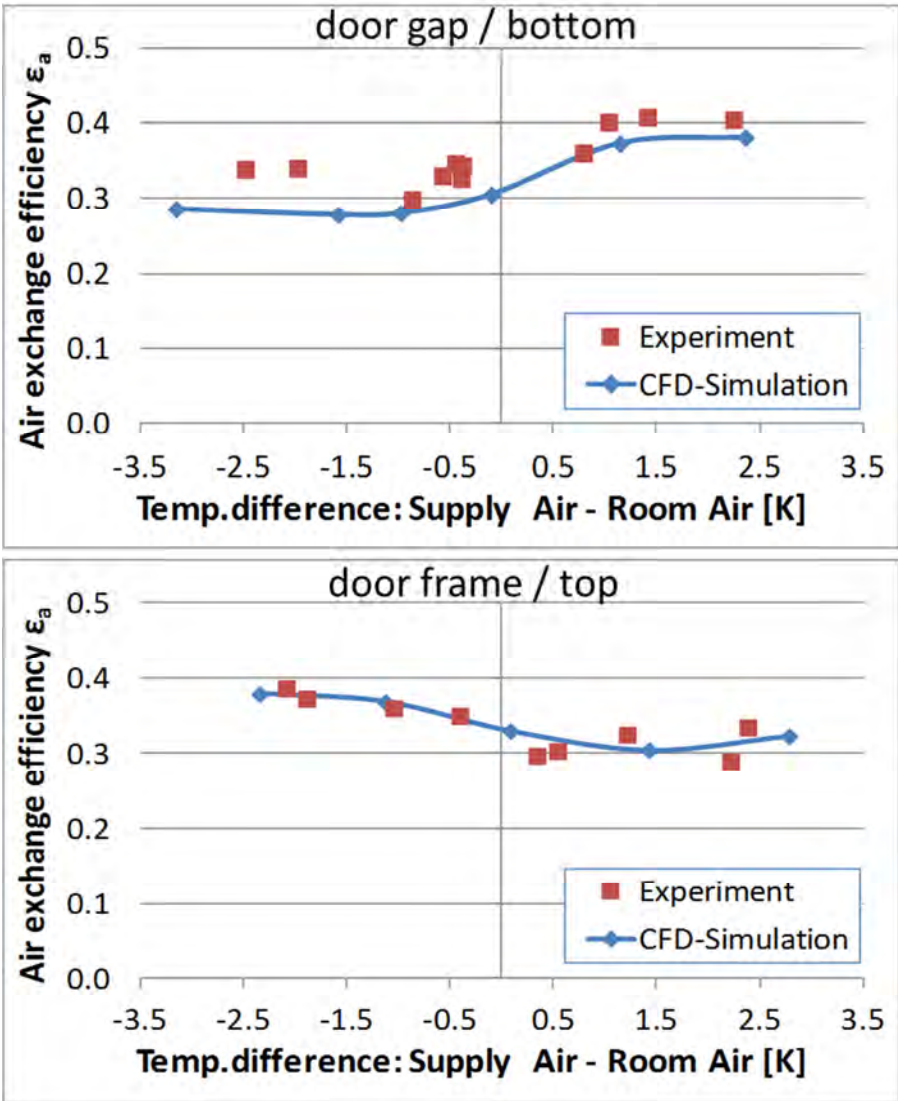


Figure 3: Comparison of the CFD simulation and measurement results for the test room as a function of the temperature difference between overflow air (coming from the bedroom) and living room air.

3. Results

Given unfavorable conditions, the simulation and measurement results do confirm a risk of short circuit flow in the living room if it has no supply or extract air outlet. In the case of opposing door gap overflow openings the simulations gave an air exchange efficiency of 0.27 for the chosen boundary conditions, with an average CO_2 -concentration of 1500 ppm (instead of 1000 ppm with perfect mixing). The spatial distribution of the CO_2 -concentration is shown in Figure 4 for the case with door gap overflow elements and for the case with doorframe-integrated overflow elements.

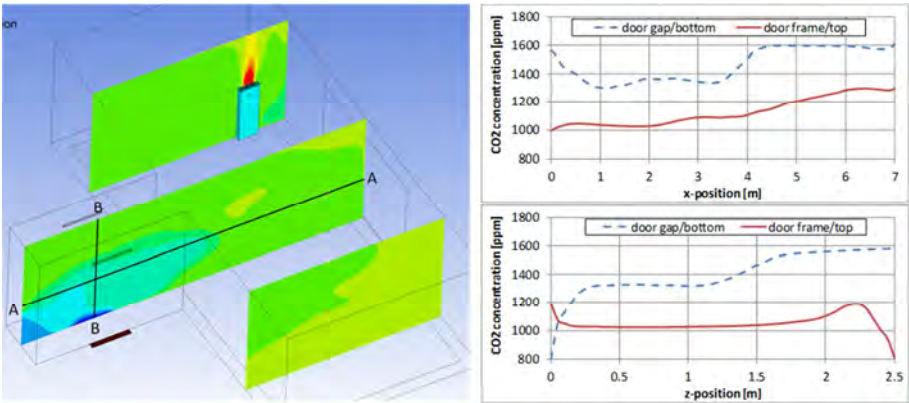


Figure 4: CFD simulation results: On the left, a 3-D visualisation of the CO_2 concentration. On the right, the spatial profile of the corresponding concentration along the depicted lines (A-A along x-axis, B-B along z-axis).

To study how these results relate to the underlying assumptions, a number of parameters were varied. The air exchange efficiency was studied for various air temperatures of the overflowing air, volume flows, manikin positions, and heat inputs. The width of the hallway and the lateral offset (distance) between the overflow openings were also varied (see Figure 5).

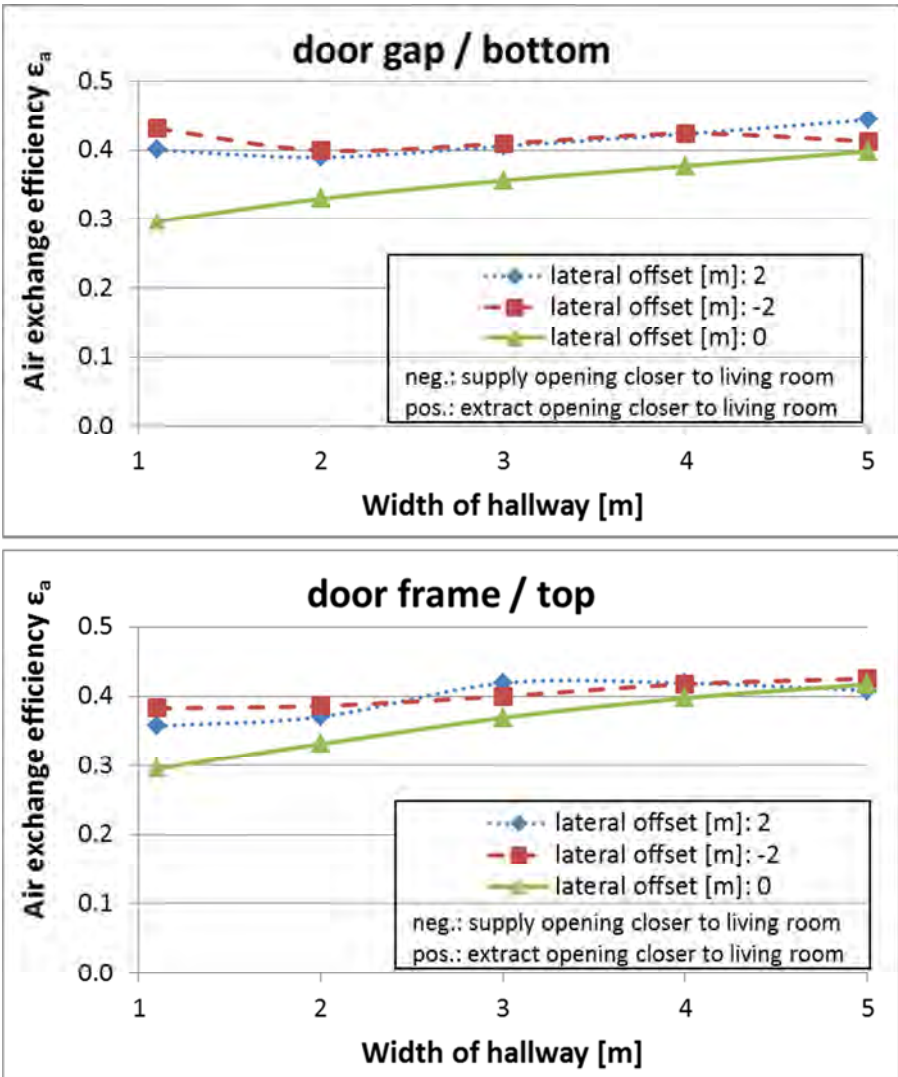


Figure 5: Air exchange efficiency as a function of the width of the hallway and for various lateral offsets (distance between the overflow openings) at a volume flow of $30 \text{ m}^3/\text{h}$ for the door gap (left) and the door frame solution (right). The most unfavorable temperature condition was selected for each overflow solution. When avoiding directly opposing arrangement and/or having sufficiently wide hallways acceptable results around 0.4 can be achieved.

4. Conclusions / planning tips

The following tips for planning extended cascade ventilation can be derived from the results of these measurements and simulations.

In general, floor plans in which the overflowing supply and extract air do not all lead into a narrow hallway are suitable for cascade ventilation. [Sibille and Pfluger 2013] assessed the situation based on a wide range of floor plans, and an online tool is available to evaluate a given floor plan for suitability [Sibille, Rojas, and Pfluger 2013]. Extended cascade ventilation proved to be applicable for most modern floor plans. The study of the floor plan topology in this paper found that no special tips have to be followed if the living room has its own extract air (integrated kitchen). In that case the extract airflow is enough to ensure sufficient air exchange between the hallway and the living room. This exchange is much greater than the volume of extract airflow itself.

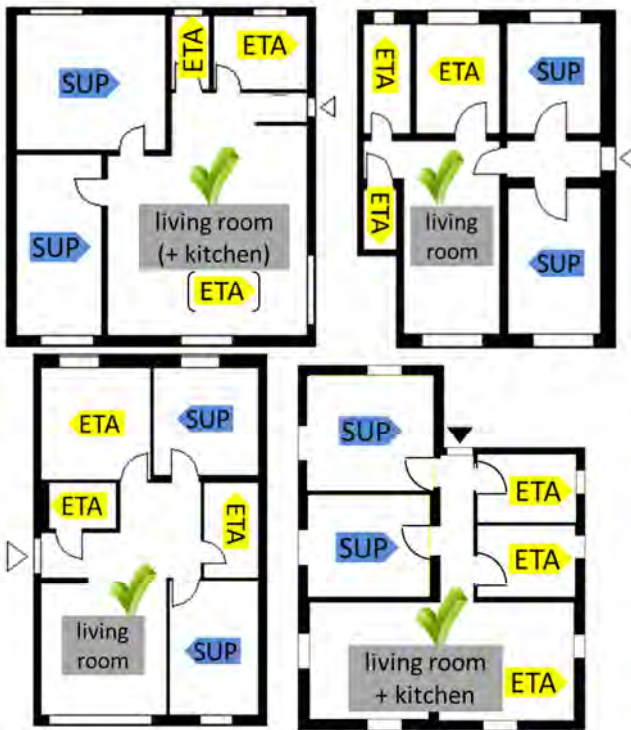
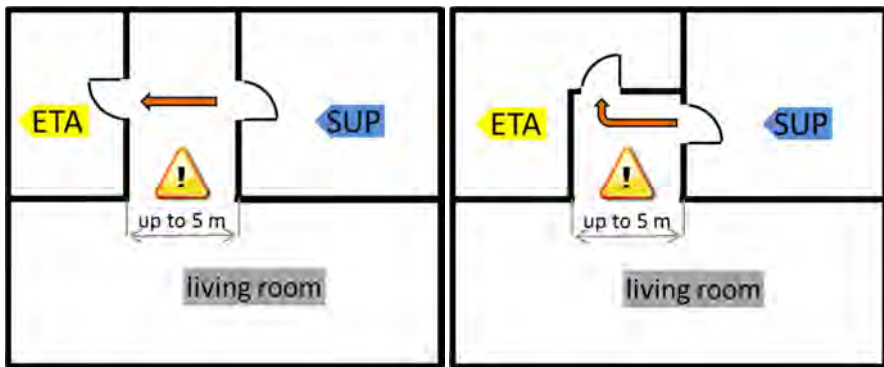


Figure 6: Examples of floor plans in which extended cascade ventilation can be used effectively. The living room is sufficiently supplied with overflowing air from the bedrooms. Due to this efficient use of supply air, the total volume flow for the apartment can be reduced. (SUP: supply air, ETA: extract air)

If a living room does not have its own extract air and all of the overflow openings lead into the same hallway, the use of extended cascade ventilation is of limited suitability. To prevent airflow from short circuiting in these cases, the following tips should be kept in mind:

- Supply air and extract air openings should not directly face each other or be at a 90° angle next to each other (Figure 7). In other words, the overflowing supply air should not be directed straight towards the area where extract air is drawn out. Depending on what type of opening is used, this advice is valid for distances (width of hallway) of up to four or five meters.



AL ...Supply Air
ZL ...Extract Air

Figure 7: Hallway and overflow arrangement in which there is a potential of short circuiting airflow depending on boundary conditions. In such cases, the living room should have its own supply (or extract) air outlet.

- If hallways are wider than two to three meters, overflow openings facing each other can be offset laterally or vertically by at least two meters so that the living room receives enough overflow air (Figure 8).

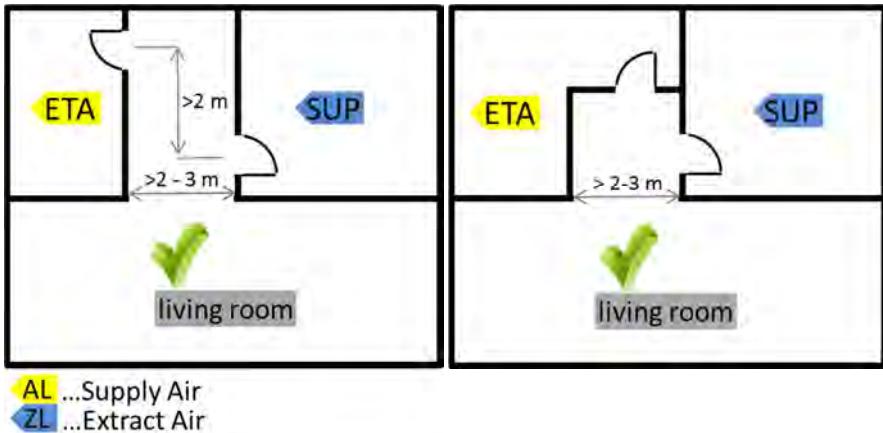


Figure 8: Possible overflow arrangement which significantly reduce the risk of short circuiting. The simulation revealed an air exchange efficiency of > 0.4 for hallways up to three meters deep. With one person in the living room, the steady state concentration would be around 1,150 ppm instead of 1,000 ppm (at $30 \text{ m}^3/\text{h}$).

- In general (even in hallways less than two meters wide), the combination of “supply-air-overflow-opening” at the top and an “extract-air-overflow-opening” at the bottom can also reduce the risk of a short circuit to an acceptable level. In that case, the gap under the door should be sealed (simple step or drop-down seal) to prevent overflowing air (from the supply air room) coming through the gap.
- Multistory floor plans in which the living room and its entire floor level have no supply or extract air outlets of its own are generally not suitable for extended cascade ventilation.

5. Summary & Acknowledgements

The extended cascade ventilation principle is a very efficient way of guiding the supply air through residential dwellings. It reduces the installation work along with operation costs and can mitigate dryness during winter by the possibility of reducing the amount of supply air. The approach cannot be used, however, with air heating. Depending on the floor plan and the need for flexibility in the way rooms are used, the implementation of extended cascade ventilation might not be suitable. In principle, a lot of modern floor plans are excellent for implementation. But in the case that all airflow openings lead to a joint hallway and the living room does not have an integrated kitchen (with extract air), there is a risk of airflow short circuiting. Planning tips were worked up for such cases in this project.

This study received funding from the Austrian Ministry of Transport, Innovation, and Technology as part of the FFG projects Doppelnutzen (Haus der Zukunft plus) and low_vent.com (Neue Energien 2020).

Haus der Zukunft Plus is a research and technology program of the Austrian Ministry of Transport, Innovation, and Technology (BMVIT). It builds on the experience from Haus der Zukunft and takes account of the results of the ENERGIE 2050 strategy process. It is processed by the Austrian Research Promotion Agency along with Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft and Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) on behalf of the BMVIT. The program focuses on the Energie der Zukunft program document and covers the fields of energy and buildings.

6. Literature

Etheridge, David, and Mats Sandberg. 1996a. "Definition of air-exchange efficiency." P. 267 in *Building Ventilation - Theory and Measurement*. John Wiley & Sons.

Etheridge, David, and Mats Sandberg. 1996b. "Tracer gas techniques for measuring age distribution and ventilation efficiency." Pp. 627–38 in *Building Ventilation - Theory and Measurement*. John Wiley & Sons.

Hahne, Erich, and Rainer Pfluger. 1996. "Improvements on PASSYS test cells." *Solar energy* 58(4):239–46. Retrieved August 21, 2012 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X96000801>).

Sibille, Elisabeth, and Rainer Pfluger. 2013. "Optimization of dwelling floor-plan configuration for cascade ventilation." in *Tagungsband:17. Int. Passivhaus-Tagung*, edited by Wolfgang Feist. Passivhaus Institut.

Sibille, Elisabeth, Gabriel Rojas, and Rainer Pfluger. 2013. "Planungshinweise für komfort- und kostenoptimierte Luftführungskonzepte - Erweiterte Kaskadenlüftung." Retrieved January 19, 2014 (http://www.passipedia.de/passipedia_de/planung/tools).

Solární fototermický a fotovoltaický ohřev vody

Tomáš Matuška, Bořivoj Šourek, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT

1. Úvod

Solární fotovoltaické (FV) a fototermické (FT) systémy patří k obnovitelným zdrojům energie se zanedbatelným vlivem na životní prostředí. Neprodukují žádné emise, nespotřebovávají v podstatě žádnou externí energii. Výjimkou je elektrická energie pro pohon oběhového čerpadla u fototermických systémů, nicméně se jedná o zanedbatelná množství na úrovni menší než cca 1 % z tepelného zisku. Energetická návratnost FV modulů se dnes pohybuje okolo 3 let, u fototermických kolektorů je to méně, do 1 roku. Na druhé straně solární systémy nejsou zdroji energie v pravém slova smyslu, neboť mají velmi nestabilní výkon během dne a během roku. V ekonomicky únosných aplikacích vyžadují vždy záložní zdroj energie. Jsou tedy spíše úsporným opatřením, které snižuje potřebu externí energie pouze do určité míry.

Fotovoltaické systémy produkují hodnotnou elektrickou energii, která může být využita pro krytí spotřeby domácích spotřebičů, technologií (čerpadla) či osvětlení a přebytky, které může být ekonomicky nevýhodné předat do nadřazené sítě, lze přeměnit na teplo a využít pro ohřev vody nebo vytápění. Fototermické systémy produkují tepelnou energii, která může být využita většinou pouze pro účely přípravy teplé vody nebo vytápění. V poslední době se však na trhu objevily jednoduché solární fotovoltaické systémy, které jsou určeny pouze pro ohřev vody bez jiného využití fotovoltaické elektřiny a jsou prezentovány jako adekvátní konkurence konvenčních solárních fototermických systémů. Výpočty jejich energetických přínosů a ekonomiky jsou založeny na zkušenosti z fotovoltaických systémů dodávajících elektrickou energii primárně do sítě (100% využitelnost) v každém okamžiku s maximálním výkonem bez ohledu, zda takové podmínky platí i pro ohřev vody s akumulacím zásobníkem. V solárních autonomních (grid off) systémech s akumulací, jakým v podstatě fotovoltaický ohřev vody je, je nutné kromě energetických ztrát akumulace zohlednit i využitelnost produkované energie. Regulátor po dosažení požadované maximální teploty odstavuje solární panely a elektrickou energii, která by mohla být dále generována, nelze v takovém systému jinak využít. To, co je běžné, známé a zohledňované u solárních fototermických systémů, je nutné zohlednit i u fotovoltaického ohřevu.

Pro porovnání reálného provozu jednoúčelových FV systémů pro ohřev vody s tradičními solárními tepelnými soustavami byla provedena a publikována energetická a ekonomická srovnávací analýza provozu fotovoltaického a fototermického systému ohřevu vody [1] s využitím detailní počítačové simulace systémů v prostředí TRNSYS [2]. Analýza vyvolala diskuzi s celou řadou námitek proti technickému řešení srovnávaných systémů, např.:

- u srovnávaného systému není vhodně zvolen výkon elektrického tělesa;
- objektivní by bylo porovnávat stejně výkonné systémy (z pohledu instalovaného výkonu);
- objektivní by bylo porovnávat systémy o stejné ploše (bez ohledu na výkon);
- vhodnější by byl pro FV systém větší zásobník, apod.

V citované analýze však nebyly srovnávány fiktivní teoretické systémy s optimalizovanými prvky, ale právě zcela konkrétní systémy nabízené na trhu, často oba (FV i FT) jediným dodavatelem, jako adekvátní řešení téhož ohřevu vody pro stejný odběr. Cílem analýzy bylo podat jasné a detailními výpočty podložené zhodnocení obou systémů prodávaných na trhu v konkrétní konfiguraci a upozornit na možné nedostatky obou.

Za účelem srovnání čistě technologie solárního ohřevu nebyl v citované analýze uvažován v žádném ze solárních systémů dohřev záložním elektrickým tělesem přímo v zásobníku a tak výsledky pro všechny varianty solárních systémů, a zvláště fotovoltaických, byly relativně optimistické. Následující příspěvek se proto dále zabývá reálným provozem srovnávaných solárních systémů a otázkou, jak je možné uvedené systémy ohřevu vody optimalizovat pro zvýšení produkce a využití sluneční energie.

2. Porovnávání systémy solárního ohřevu vody

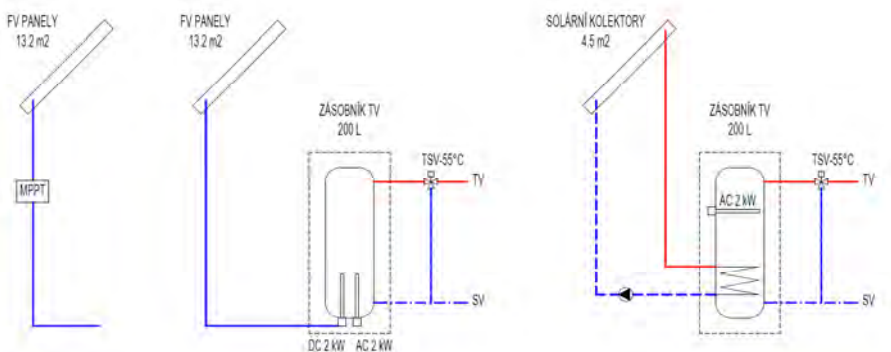
Porovnávání solární systémy jsou podrobně popsány v [1], proto níže jsou popsány již jen stručně. Pro porovnání byly zvoleny reálné systémy solárního ohřevu v konfiguraci (počet kolektorů, objem zásobníku), která je nabízena na trhu jako vzájemná alternativa pro rodinu se 3 až 4 členy. Všechny varianty ohřevu využívají solární zásobník teplé vody o objemu 200 l s denní ztrátou tepla 1,4 kWh/den, od stejného výrobce.

Fotovoltaický systém nabízený na trhu s 200litrovým zásobníkem je tvořen 8 polykrystalicími panely o celkové ploše panelů 13,2 m² a instalovaném výkonu 2 kW (8 x 250 W). Panely jsou sériově zapojeny do elektrického DC topného tělesa o výkonu 2 kW s elektrickým odporem 25 Ω. Fotovoltaický systém je uvažován ve dvou variantách:

- bez sledovače maximálního výkonu, MPPT off;
- se sledovačem maximálního výkonu, MPPT on.

U systému bez použití MPPT je napětí na FV panelech závislé na generovaném proudu a zátěži (odporu elektrického topného tělesa). Vlivem konstantní zátěže se FV panel v provozu dostává mimo optimální bod výkonového maxima a celková produkce elektrické energie je výrazně nižší než při použití MPPT.

Fototermický (FT) systém byl uvažován se dvěma plochými solárními tepelnými kolektory s celkovou plochou apertury 4,5 m². Průtok okruhem solárních kolektorů byl uvažován 50 l/h.m² plochy kolektorů. Rozvod okruhu solárních kolektorů je z Cu potrubí 18x1 mm izolovaného tepelnou izolací tl. 19 mm. Délka kolektorového okruhu je celkem 40 m.



Obr. 1 Porovnávané solární systémy pro ohřev vody

Pro všechny varianty systémů bylo uvažováno využití sluneční energie pouze pro samostatný ohřev vody. Odběr teplé vody byl uvažován 160 l/den. Požadovaná teplota teplé vody byla 55 °C, teplota studené vody 10 °C. Denní profil odběru teplé vody byl uvažován s významnou ranní a večerní špičkou. Celková potřeba tepla na přípravu teplé vody byla 2767 kWh/rok (bez cirkulace, rodinný dům). Klimatické údaje použité v simulační analýze byly převzaty z typického meteorologického roku pro Prahu (databáze Meteonorm). Klimatické údaje TMY vykazují relativně konzervativní úhrn dopadající sluneční energie na vodorovnou rovinu 998 kWh/m².rok s roční průměrnou teplotou venkovního vzduchu 8,9 °C. Solární kolektory uvažované ve všech variantách mají sklon 45° a orientaci k jihu. Pro všechny varianty byla uvažována maximální teplota v zásobníku teplé vody 85 °C. Byly uvažovány jak tepelné ztráty zásobníku, tak jeho tepelné zisky v případě, že teplota v zásobníku je nižší než teplota okolí (15 °C).

Využitý zisk solárních systémů je definován jako rozdíl mezi potřebou tepla Q_p danou odběrem teplé vody a potřebou dodatekové energie Q_d podle vztahu

$$Q_{ss,u} = Q_p - Q_d$$

Ztráty solárního zásobníku jsou při hodnocení na vrub solárnímu systému.

Solární podíl f je potom poměr využitých zisků a potřeby tepla

$$f = 1 - Q_d / Q_p$$

3. Výsledky bez vlivu dohřevu

Jako první je uvedena analýza porovnávající čistě samotné solární systémy bez vlivu reálného dohřevu elektrickým topným tělesem uvnitř zásobníku, jak byla prezentována v [1]. Dohřev je uvažován externí a množství energie na dohřev vody bylo stanoveno na základě odebíraného aktuálního průtoku a rozdílu mezi požadovanou teplotou a teplotou vody dosaženou na výstupu ze zásobníku. Simulace celoročního provozního chování všech variant systémů ohřevu vody byla provedena s minutovým krokem z důvodu definice odběrového profilu teplé vody v minutových intervalech. V tab. 1 jsou uvedeny výsledky. Z hlediska roční bilance je zřejmé, že fototermický systém se dvěma kolektory nabízený na trhu s 200litrovým zásobníkem teplé vody dodá o cca 25 % více energie než srovnatelný FV systém se sledovačem výkonového maxima a více než dvojnásobek oproti FV systému bez sledovače.

Je možné si všimnout velkého rozdílu mezi produkcí FV systému se sledovačem výkonového maxima a bez něj. Vlivem proměnlivosti slunečního záření a teploty FV panelů dosahuje rozdíl v produkci elektrické energie 40 %. Obecně lze říci, že systémy bez sledovače výkonu jsou velmi neúčinné.

Tab. 1 – Roční výsledky simulace solárního ohřevu (bez vlivu interního dohřevu)

Varianta systému	Energie pro dohřev [kWh]	Solární tepelné zisky [kWh]	Solární podíl [%]
FV MPPT off	1964	803	29
FV MPPT on	1442	1325	48
FT	1090	1677	61

Na druhé straně fototermický systém pro přípravu teplé vody s podílem krytí potřeby tepla okolo 60 % dosahuje běžně předpokládaných měrných zisků na úrovni 370 kWh/m²rok a to i přes relativně vysoký podíl tepelných ztrát solární soustavy (potrubí, zásobník) okolo 25 % z energie vyrobené solárními kolektory.

4. Výsledky s vlivem dohřevu

Ve snaze přiblížit počítačovou simulaci realitě provozu byl u všech solárních systémů uvažován záložní zdroj (dodatkový dohřev) – elektrické topné těleso, napojené na síť přes termostat. Termostat je nastaven na požadovanou teplotu v zásobníku (55 °C) a má zajistit v každém okamžiku dostupnost teplé vody pro odběr. Elektrické topné těleso je umístěno přímo v solárním zásobníku. Na obr. 1 je ze schématu FV systému patrné typické avšak zcela nevhodné umístění záložního topného tělesa ve spodní části zásobníku fotovoltaických systémů. Takové řešení prakticky znamená udržování celého objemu na konstantní teplotě 55 °C záložním zdrojem. Tím se významně sníží akumulační schopnost zásobníku a FV panely zpravidla dodávají energii pro ohřev mezi teplotními hladinami 55 a 85 °C. Podobně u fototermického systému trvalý dohřev horní části objemu zásobníku elektrickým topným tělesem snižuje akumulační kapacitu pro ukládání tepla ze solárních kolektorů (těleso je umístěno tradičně v horní třetině zásobníku).

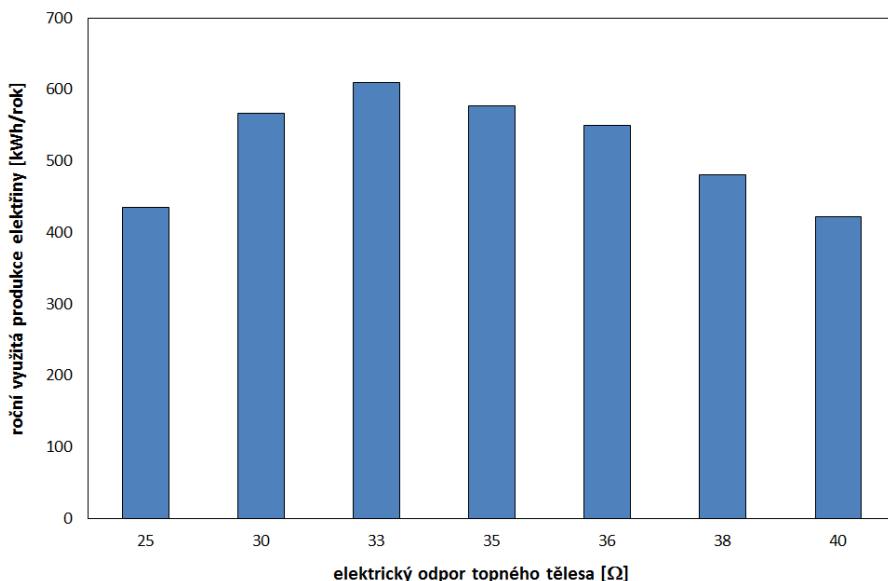
Výsledky simulace tento předpoklad potvrzují (viz tab. 2). Oproti případu bez vlivu dohřevu klesá významně roční přínos fotovoltaického i fototermického systému. U fototermického systému však vlivem tradičního řešení zásobníku s elektrickým topným tělesem v horní třetině objemu není pokles tak výrazný jako u FV systému.

Tab. 2 – Roční výsledky simulace solárního ohřevu (s vlivem interního dohřevu)

Varianta systému	Energie pro dohřev [kWh]	Solární tepelné zisky [kWh]	Solární podíl [%]
FV MPPT off	2332	435	16
FV MPPT on	1767	1000	36
FT	1324	1443	52

5. Optimalizace zátěže FV systému bez sledovače výkonového maxima

Jednou ze správných námitek proti konfiguraci na trhu propagovaného FV systému pro ohřev vody bez sledovače výkonového maxima (MPPToff) jsou nevhodné výkonové parametry topného tělesa. Simulace FV systému v prostředí TRNSYS s detailním modelem zohledňujícím voltampérovou charakteristiku sériově zapojených modulů umožňuje vyhodnotit optimální hodnotu odporu topného tělesa (konstantní zátěže) v klimatických podmínkách ČR, pro kterou bude využitý solární zisk z FV systému (MPPT off) nejvyšší. Výpočet byl proveden pro výše uvedený systém s reálným vlivem dohřevu záložním elektrickým tělesem. V grafu na obr. 2 jsou uvedeny výsledky. Optimální hodnota elektrického odporu se pro daný FV systém s 8 sériově zapojenými moduly o celkovém výkonu 2 kW pohybuje okolo hodnoty 33 Ω . Pro jiný počet sériově zapojených modulů by optimální hodnota byla jiná. To je samozřejmě pro výrobce zásobníku s integrovaným topným tělesem ve snaze o univerzální řešení nevhodné a proto používá topné těleso s jediným odporem 25 Ω .



Obr. 2 Vliv elektrického odporu topného tělesa na roční zisk elektrické energie

Optimalizací hodnoty elektrického odporu zátěže lze zvýšit produkci využité elektrické energie, jak ukazuje obr. 2 o více než 30 % proti stávajícímu řešení prodávaném na trhu. I tak je

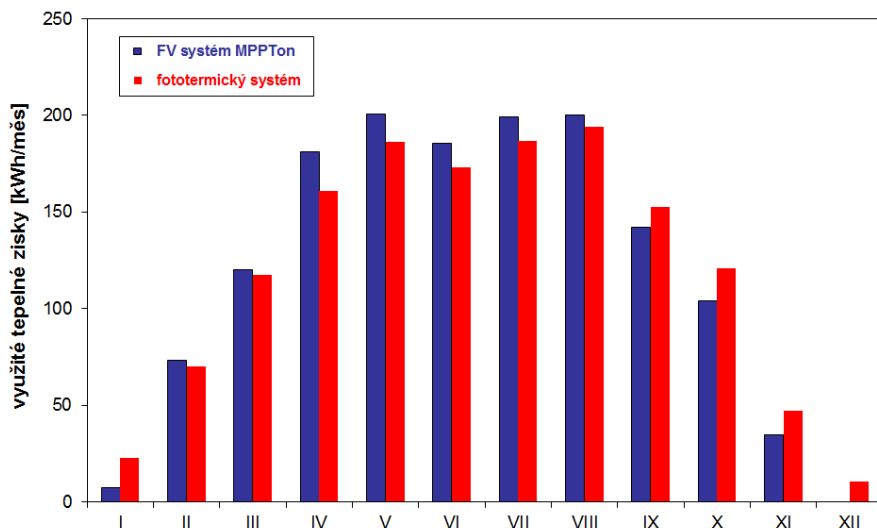
však rozdíl mezi FV systémem bez sledovače (MPPT off) a FV systémem se sledovačem (MPPT on) v dané konfiguraci s vlivem dohřevu zásobníku záložním zdrojem téměř 40 %.

Pokud by byl porovnán pouze čistý zisk FV modulů bez vlivu napojení na zásobník, odběru tepla a dohřevu (využitelnosti energie), pak 8 modulů bez sledovače (s optimálním el. odporem $33\ \Omega$) vyprodukuje ročně 1191 kWh a 8 modulů se sledovačem výkonového maxima 1625 kWh. Rozdíl je potom pouze 27 %, což je v podstatě shodný závěr jako v [3].

6. Výkonové porovnání

Srovnávat instalovaný výkon solárních prvků a systémů je poněkud problematické jak s konvenčními zdroji, tak mezi sebou. Výkon solárních systémů se mění každou chvíli v rozmezí od nuly do maximální hodnoty podle úrovně slunečního záření. Oproti FV modulu je výkon fototermtických kolektorů navíc výrazně závislý na provozní teplotě. Zatímco pro statistiku instalovaného výkonu FV systémů se používá špičkový výkon modulů při $1000\ \text{W/m}^2$ a teplotě FV článků $25\ ^\circ\text{C}$, v oblasti solárních fototermtických kolektorů se používá jmenovitý výkon určený pro $1000\ \text{W/m}^2$ a teplotní rozdíl mezi kolektorem a okolím $30\ \text{K}$ [4]. Instalovaný výkon uvažovaného systému s 8 fotovoltaickými moduly je tedy 2 kW, zatímco instalovaný výkon fototermtického systému je 3,1 kW, tedy zhruba o 50 % vyšší. Pro porovnání výkonově stejných solárních systémů je tedy nutné pro FV systém použít 12 modulů s celkovou plochou $19,7\ \text{m}^2$.

Výsledky simulačního výpočtu FV systému se sledovačem výkonového maxima (MPPT on) jsou porovnány po měsících s fototermtickým systémem na obr. 3. Celkové roční hodnoty tepelného přínosu pro přípravu teplé vody jsou překvapivě naprosto totožné 1443 kWh/rok. Z pohledu zastavěné plochy na střeše je FV systém 4krát náročnější. Z pohledu ceny se jedná o zhruba 30 tis. Kč (bez DPH) dražší solární systém než fototermtický, který však zajistí stejné úspory. Při porovnání plochy je patrné, že fotovoltaický systém, který by měl stejnou plochu jako fototermtický bude mít velmi nízké solární pokrytí a vysokou potřebu záložního zdroje.



Obr. 3 Měsíční bilance solárních systémů se stejnou roční využitou produkcí

Poznámka ke grafu:

V grafu jsou uváděny využití tepelné zisky systémů, nikoli kolektorů / modulů, tzn. jak je výše uvedeno rozdíl mezi potřebou tepla na ohřev vody a energií dodanou ze záložního zdroje (z elektrického topného tělesa do solárního zásobníku). Vzhledem k tomu, že záložní zdroj kryje kromě potřeby tepla na ohřev vody i část tepelných ztrát zásobníku, může být v některých měsících zimního období bilance přínosu i záporná (prosinec), tzn. solární zdroj nevyprodukuje tolik energie, aby vykompenzoval potřebu energie záložního zdroje na krytí ztrát zásobníku.

7. Závěr

V příspěvku bylo provedeno porovnání konkrétních solárních fotovoltaických a fototermických systémů určených výhradně pro ohřev vody v zásobníku o stejném objemu (200 l) a izolačních parametrech (ztráta 1,4 kWh/den). Porovnání bylo provedeno za stejných reálných provozních podmínek včetně současného dohřevu vody a požadovanou teplotu a za stejných klimatických podmínek.

Jednoduché jednoúčelové FV systémy bez sledovače výkonového maxima určené pouze pro ohřev vody v zásobníku mají velmi nízkou účinnost. Důvodem je jednak nevhodně navržené parametry elektrického DC topného tělesa (nevhodný el. odpor a výkon) a jeho nevhodné umístění v dolní části zásobníku vedle AC topného tělesa. Energetickou bilanci takových

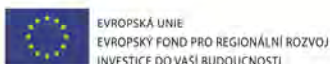
systémů lze do jisté míry zlepšit, nicméně jejich produkce (i při zachování stejných cen komponent) zůstává vzdálená ekonomické konkurenceschopnosti se solárními fototermickými systémy.

Snaha o „spravedlivější“ hodnocení prostřednictvím srovnávání stejně výkonných systémů (stejný instalovaný výkon) vede sice k identickým tepelným přínosům a stejnému solárnímu pokrytí, avšak s výrazně dražším FV systémem než je fototermický.

Zcela jinou kapitolou jsou fotovoltaické systémy s měničem, které slouží pro produkci elektrické energie ke krytí potřeby v domě s využitím pokročilého energetického managementu, v němž je kromě jiného zakomponován i ohřev vody elektrickou energií pro zvýšení využití FV elektřiny v domě v době přebytků. FV systém, pokud je na domě instalován, pak spojuje energetické výhody MPPT, použití střídače a standardního elektrického ohřivače. Napojení vlastní FV technologie pro ohřev vody je ve své podstatě zdarma.

8. Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Evropské unie, projektu OP VaVpl č. CZ.1.05/2.1.00/03.0091 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov.



9. Odkazy

- (1) Matuška, T., Šourek, B.: Porovnání solárního fototermického a fotovoltaického ohřevu vody, Portál tzb-info 2014. dostupné z <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/11103-porovnani-solarniho-fototermickeho-a-fotovoltaickeho-ohrevu-vody>
- (2) Transient System Simulation Tool TRNSYS 17.1 (2012), University of Madison, dostupné z <http://www.trnsys.com>
- (3) Wolf, P., Benda, V.: Optimalizace fotovoltaického systému pro přípravu teplé vody, dostupné z <http://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/10697-optimalizace-fotovoltaickeho-systemu-pro-pripravu-teple-vody>
- (4) Converting solar thermal collector are into installed capacity, dokument European Solar Thermal Industry Federation, dostupný na <http://www.estif.org>



broušená cihla HELUZ FAMILY 50 2in1
s integrovanou tepelnou izolací
 $U = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$

HELUZ TRIUMF

pasivní dům z cihel bez dodatečného zateplení
nabízí příjemné vnitřní prostředí pro bydlení.

- výsledek Blower-door testu $n_{50} = 0,2 \text{ h}^{-1}$
- průměrný součinitel prostupu tepla budovy $U_{em} = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$
- měrná potřeba tepla na vytápění $E_A = 15 \text{ kWh/(m}^2\text{.a)}$
- celková tepelná ztráta objektu (včetně větrání) $Q = 2,59 \text{ kW}$

Tento objekt byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu ČR.

Zveme Vás na prohlídku vzorového pasivního domu z českých cihel #HELUZ Family v areálu českobudějovického výstaviště u vstupní brány č. 3. Zájemci se mohou přihlásit na www.heluz.cz.



Stanovení výnosů a optimalizace systému fv ohřevu bez MPPT sledovače, alternativní metody přizpůsobení

Ing. Tomáš Vocílka

+420 736 625 020, tomas.vocilka@asolar.cz, www.asolar.cz

1. Úvod

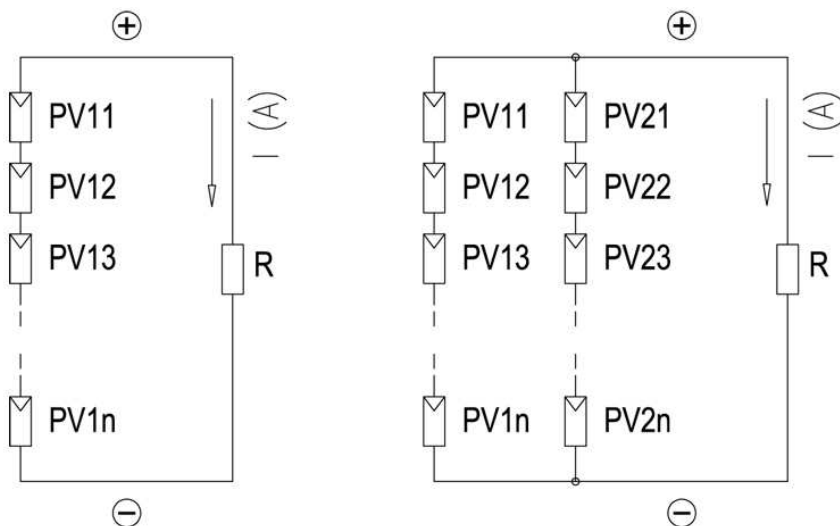
Fotovoltaický ohřev je aktuální téma současnosti. Díky poklesu cen hlavních technologií a díky novým perspektivním směrům v oblasti impedančního přizpůsobení a optimalizaci se fotovoltaický ohřev stává více než jenom rovnocenným partnerem stávajících solárně-termických systémů. Cílem článku je podrobněji rozebrat problematiku optimalizace, vyčíslit měrné výnosy jednotlivých systémů a představit nové směry v oblasti přizpůsobení fotovoltaických systémů topné zátěži.

2. Optimalizace systému fotovoltaického ohřevu bez MPPT sledovače

Problematika přizpůsobení fotovoltaických panelů zátěži je detailně rozebrána ve statích [1] a [2], není účelem tohoto článku tyto rozborů opakovat. V následujících odstavcích provedeme analýzu typového řešení LOGITEX, typického představitele fotovoltaického ohřevu a provedeme návrh opatření ke zvýšení efektivity tohoto a jemu podobných systémů. Systémem LOGITEX se v rozsahu tohoto článku míní zařízení, vyvinuté firmou Logitex, s.r.o., podrobnosti uvedeny na www.logitex.sk a www.dzd.cz.

2.1. Rozbor účinnosti systému LOGITEX - výpočetní model

Fotovoltaické panely PV_n , určené k fotovoltaickému ohřevu, je možno propojit do sériových či sério-paralelních kombinací (**obr. 1**), připojených do zatěžovacího odporu R , kterým vlivem osvitu G protéká stejnosměrný pracovní proud I .



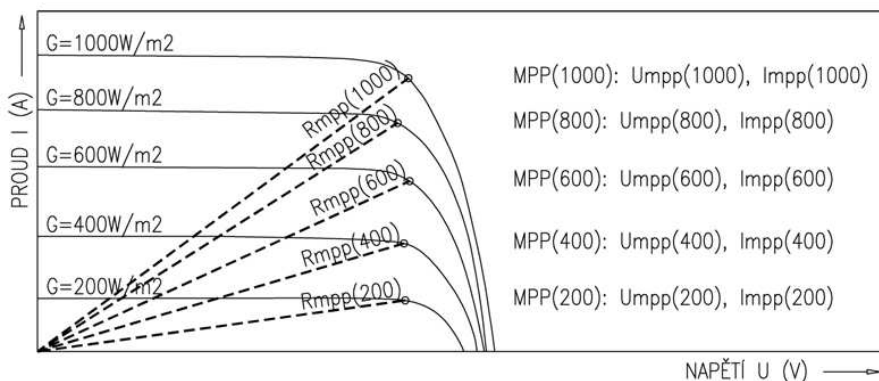
Obr. 1: Sériové a sério-paralelní propojení panelů a zátěže

Na obrázku 2 jsou znázorněny volt-ampérové charakteristiky pole panelů a zátěže s vyznačenými body maximálního výkonu **MPP(200)** až **MPP(1000)** pro různou intenzitu záření **G = 200 až 1000 W/m²**. Těmto bodům **MPP(G)** přísluší napětí $U_{mpp(G)}$ a $I_{mpp(G)}$ optimálního pracovního bodu pro daný osvit **G**. Při zatížení pole panelů odporem blízkým hodnotě

$$R_{mpp(G)} = U_{mpp(G)} / I_{mpp(G)} [\text{ohm}] \quad (1)$$

dochází při daném osvitu **G** k realizaci maximálního možného výkonu do zátěže **R**. Z obrázku 2 vyplývá, že optimální hodnota $R_{mpp(G)}$ zatěžovacího pracovního odporu **R** se mění ($R_{mpp(200)} - R_{mpp(1000)}$) zejména s intenzitou záření **G**. Pokud bude pole panelů zatíženo konstantní hodnotou odporu $R_{mpp(1000)}$, optimální pro nejvyšší intenzitu záření (1000 W/m²), při všech ostatních nižších intenzitách bude výkon, realizovaný v zátěži, kvadraticky klesat s poklesem intenzity záření.

Poznámka: pro zjednodušení výkladu není zmiňován vliv teploty panelů **t**.



Obr. 2: Volt-ampérové charakteristiky pole panelů a optimálních zátěží $R_{mpp(200-1000)}$ pro různý osvit G

Analyzován byl systém fotovoltaického ohřevu složený z 8 kusů fotovoltaických panelů, zapojených v sérii a připojených k zátěži R , tvořené typovým bojlerem LOGITEX.

Přibližný výpočet celkové topné energie, realizované v zátěži (bojleru), je proveden součtem hodinových energií, realizovaných v zátěži v průběhu jednoho roku. Výchozím datovým souborem analýzy je databáze Meteoronorm 6.1, pro výpočet byla použita hodinová data specifické irradiance na ploše panelů, z nich byla stanovena ekvivalentní hodinová intenzita záření G pro každou hodinu v roce. Teplota panelů byla dopočtena pomocnými SW nástroji z hodinových dat teploty vzduchu a rychlosti větru (není předmětem tohoto článku). Výpočet byl proveden pro všechna krajská města České republiky a následně zprůměrován.

Výpočet byl proveden za následujících zjednodušujících podmínek:

- Specifická hodinová irradiance na ploše panelů je přepočtena na ekvivalentní hodinovou intenzitu záření G konstantní hodnoty. Výpočet nezohledňuje změny G v rámci dané výpočtové hodiny.
- Hodinová energie E_1 , realizovaná v zátěži R , je vypočtena pomocí hodnot pracovního proudu $I_{work(G)}$ a pracovního napětí U_{work} po korekci na teplotu. Volíme výchozí (STC) hodnotu $I_{work(STC)} = 8,7$ A, z intervalu $<I_{mpp}, I_{sc}>$, $U_{work(STC)} = 260$ V, z intervalu $<U_{mpp}, V_{oc}>$, bez dalšího vysvětlení – přibližné pracovní hodnoty, vyplývající z V-A charakteristiky.
- Je uvažována lineární závislost proudu v zátěži $I_{mpp(G)}$ a $I_{work(G)}$ na intenzitě záření G v celém rozsahu G .

- Napětí U_{mpp} , U_{work} je uvažováno konstantní v celém rozsahu intenzity záření G , jeho hodnota je korigována pouze teplotou panelů.
- Výpočet předpokládá odběr veškeré, systémem distribuované, energie.

Fotovoltaický zdroj:		
Fotovoltaický panel ET-P660250WW, ET Solar		
Maximální výkon $P_{mpp}(STC)$	(Wp)	250
Napětí při maximálním výkonu $U_{mpp}(STC)$	(V)	30,34
Proud při maximálním výkonu $I_{mpp}(STC)$	(A)	8,24
Napětí naprázdno $V_{oc}(STC)$	(V)	37,47
Proud nakrátko $I_{sc}(STC)$	(A)	8,76
Teplotní koeficient napětí V_{oc}	(%/K)	-0,34
Teplotní koeficient proudu I_{sc}	(%/K)	0,04
Počet panelů fotovoltaického generátoru	(-)	8
Celkový výkon fotovoltaického generátoru	(kWp)	2,00
Sklon panelů vůči horizontální rovině	(°)	30
Azimut panelů	(°)	180
Hodinová data – databáze Meteonorm 6.1		

Zátěž:		
Bojler LOGITEX LX ACDC/M, 1,0/1,5/2,0 kW		
Pracovní rezistance topné vložky R (2,0 kW)	(ohm)	28,9

Tab. 1: Parametry analyzovaného systému

Přibližný výpočet byl proveden pomocí tabulkového kalkulátoru (pro každou hodinu v roce), v tabulce 2 je ukázka výpočtu (výřez z tabulky, lokalita Brno) pro dvě rozdílné intenzity osvi-

tu **G**. Výsledkem výpočtu jsou hodinové energie **E1** nepřizpůsobeného systému a **E2** referenčního systému s MPPT sledovačem (účinnost 95 %).

Datum	Čas	Teplota panelů t (°C)	G - ekvivalentní hodinová intenzita záření na ploše panelů (W/m²)	U _{mp} po opravě na teplotu panelů (V)	I _{mp} (G) po opravě na teplotu panelů (A)	R _{mp} (G) po opravě na teplotu (ohm)	U _w po opravě na teplotu panelů (V)	I _w (G) po opravě na teplotu panelů (A)	E1 - hodinová energie, realizovaná v zátěži R - bez MPPT sledovače a jiného přizpůsobení (kWh)	E2 - hodinová energie, realizovaná v zátěži R, přizpůsobeno MPPT sledovačem (kWh)
14. 6.	15:00	37,9	532,8	232,09	4,41	52,59	248,61	4,66	0,63	0,97
14. 6.	16:00	32,4	349,5	236,65	2,89	81,92	253,50	3,05	0,27	0,65

Tab. 2: Ukázka výpočtu realizované hodinové energie **E1** a **E2** v zátěži **R** pro dvě různé intenzity **G**

2,0 kWp systém LOGITEX – neoptimalizován - celorepublikový průměr		
E1a - celková roční energie, realizovaná v topné zátěži R (28,9 ohm)	(kWh)	1 349
E1am - celková měrná roční energie, realizovaná v topné zátěži R (28,9 ohm)	(kWh/kWp)	675

Tab. 3: Rekapitulace výnosu neoptimalizovaného systému LOGITEX (celorepublikový průměr)

2,0 kWp systém s MPPT sledovačem, účinnost měniče 95 % - celorepublikový průměr		
E2a - celková roční energie, realizovaná v topné zátěži R (28,9 ohm)	(kWh)	2 212
E2am - celková měrná roční energie, realizovaná v topné zátěži R (28,9 ohm)	(kWh/kWp)	1 106

Tab. 4: Rekapitulace výnosu srovnávacího systému s MPPT sledovačem (celorepublikový průměr)

V tabulce 5 v Příloze 1 je provedeno porovnání měsíčních výnosů systému LOGITEX a srovnávacího MPPT systému (lokalita Brno)

Dílčí závěr: Roční výnos rezistančně neoptimalizovaného systému LOGITEX (typové doporučené zapojení) činí cca **60 %** ročního výnosu srovnávacího systému s MPPT sledovačem (referenční výnos = 100 %). Jak vyplývá z podrobné tabulky 5, Příloha 1, redukce výnosu je významně vyšší v zimních měsících roku – nízká účinnost systému LOGITEX v zimních měsících.

2.2. Optimalizace systému LOGITEX

Na základě hodinových dat byl proveden výpočet ročního výnosu systému LOGITEX pro různou velikost odporu topné vložky **R**.

Rezistance topné vložky R	(ohm)	30	35	40	45	50	55	60	65	70
E1a - celková roční energie, realizovaná v topné vložce R , bez MPPT sledovače	(kWh)	1 387	1 516	1 588	1 626	1 641	1 639	1 626	1 606	1 581
E1am - celková měrná roční energie, realizovaná v topné vložce R , bez MPPT sledovače	(kWh/kWp)	693	758	794	813	820	819	813	803	790

Tab. 6: Závislost výnosu systému LOGITEX na změně rezistance **R** topné vložky

Z tabulky 6 a následného podrobného rozboru v okolí optimální hodnoty **R** vyplývá optimalizovaná velikost topné vložky pro systém LOGITEX (2 kWp panelů):

$$\mathbf{R = 50,0 (+ 10 \% / - 5 \%) \text{ ohmů} \quad (2)}$$

2,0 kWp systém LOGITEX - optimalizován - celorepublikový průměr		
E1a - celková roční energie, realizovaná v topné zátěži R (50,0 ohm)	(kWh)	1 641
E1am - celková měrná roční energie, realizovaná v topné zátěži R (50,0 ohm)	(kWh/kWp)	820

Tab.7: Rekapitulace výnosu systému LOGITEX po optimalizaci (celorepublikový průměr)

Dílčí závěr: Pomocí změny pracovní rezistance **R** systému LOGITEX lze zvýšit výnos systému o cca 20 % (změna výnosu z 675 kWh/kWp na 820 kWh/kWp a rok). Popis úpravy systému s nulovými investičními náklady je uveden v kapitole 2.4. V podrobné tabulce 8 a grafu v Příloze 1 je vyčíslen přínos optimalizace v jednotlivých měsících roku.

2.3. Kontrolní výpočet optimální rezistance

V článku [1] je zmíněno doporučení dimenzovat topnou zátěž pro intenzitu osvitu $G = 600 \text{ W/m}^2$.

Z této informace lze vypočítat velikost optimální rezistance pro výše definované 2kW fotovoltaické pole dle vztahu (1):

$$R_{\text{mpp}(G)} = U_{\text{mpp}(G)} / I_{\text{mpp}(G)}$$
$$R_{\text{mpp}(600)} = 8 \times 30,34 \text{ V} / 0,6 \times 8,24 \text{ A}$$
$$R_{\text{mpp}(600)} = 49,1 \text{ ohmů}$$

Dílčí závěr: Vypočtená optimální rezistance dle článku [1] je ve shodě s hodnotou rezistance, vypočtenou v kapitole 2.2.

2.4. Provedení optimalizace systému LOGITEX

Dle podkladů výrobce bojleru LOGITEX je typový systém vybaven univerzální topnou vložkou 2,0 kW / 1,5 kW / 1,0 kW o rezistancích 28,9 / 21,7 / 14,5 ohmů. Viz následující obrázek 3:

Limitné parametre ohrievačov vody Logitex	
1,0 kW =	120V DC, 8,3 A, 14,5 Ω
1,5 kW =	180V DC, 8,3 A, 21,7 Ω
2,0 kW =	240V DC, 8,3 A, 28,9 Ω

Převzato: www.logitex.sk

Optimálního odporu R bude tedy dosaženo propojením topné vložky 1,5 kW a 2,0 kW do série (21,7 + 28,9 ohmů). Výsledná hodnota takto vzniklé rezistance je **50,6 ohmů**, tedy téměř rovna vypočtené optimální rezistanci. Z obrázku 4 pak vyplývá, že takto navržené sériové propojení bude uskutečněno připojením přírodních vodičů na svorky „2,0 kW“ a „1,5 kW“ topné vložky (na místo původního doporučeného zapojení „+“ a „2,0 kW“). **Poznámka:** úpravu zařízení nutno provádět se souhlasem výrobce.



Obr. 4: Svorkovnice topné vložky LOGITEX, převzato: www.logitex.sk

2.5. Výpočet optimální topné rezistance libovolného fotovoltaického pole

Z výše uvedeného rozboru vyplývá, že správně navržený systém fotovoltaického ohřevu vykazuje i bez MPPT sledovače zajímavých ročních výnosů.

Protože z praxe vyplývá potřeba návrhu i větších systémů ohřevu, byla provedena na velkém vzorku sestav fotovoltaických polí výše uvedená hodinová analýza výnosu a byl odvozen následující obecný vztah pro stanovení velikosti optimální rezistance R_{opt} libovolného fotovoltaického pole:

$$R_{opt} = K * U_{mpp(STC)} / I_{mpp(STC)} \text{ [ohm]} \quad (3)$$

$U_{mpp(STC)}$... napětí bodu maximálního výkonu soustavy panelů za podmínek STC (1000 W/m^2 , 25°C), vypočteno z katalogové hodnoty daného panelu a ze schématu zapojení daného fotovoltaického pole

$I_{mpp(STC)}$... proud bodu maximálního výkonu soustavy panelů za podmínek STC (1000 W/m^2 , 25°C), vypočteno z katalogové hodnoty daného panelu a ze schématu zapojení daného fotovoltaického pole

K ... empiricky odvozená klimatická konstanta. Pro lokaci Česká republika, náklon panelů 30° , azimut panelů 180° a instalaci bez vlivu stínů je možno uvažovat hodnotu **K = 1,7**

Poznámka: Klimatická konstanta **K** byla empiricky odvozena pro potřeby orientačního návrhu vhodné pracovní rezistance fotovoltaického ohřevu. Pro přesný návrh je pak doporučeno použít výše uvedenou hodinovou analýzu výnosu.

Konstanta **K** má úzkou souvislost s geografickou polohou a klimatickými podmínkami místa instalace. Na její velikost má vliv orientace panelů a zastínění. Úzce souvisí s četností výskytu jednotlivých úrovní intenzity osvitu v průběhu roku a dne, tak jak je uvedeno v prameni [1]. Má též souvislost s formulí, uvedenou na obrázku 5, která definuje metodiku výpočtu reálné účinnosti fotovoltaických měničů pro dané oblasti (Kalifornie, Evropa). Z formule je zřejmá roční četnost výskytu jednotlivých úrovní intenzity osvitu **G**.

California Energy Commission (CEC) weighted efficiency

$$\eta_{CEC} = 0.04 \cdot \eta_{10\%} + 0.05 \cdot \eta_{20\%} + 0.12 \cdot \eta_{30\%} + 0.21 \cdot \eta_{50\%} + 0.53 \cdot \eta_{75\%} + 0.05 \cdot \eta_{100\%}$$

European weighted efficiency

$$\eta_{EU} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.10 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.20 \cdot \eta_{100\%}$$

Obr. 5: CEC a Euro formule definice účinnosti síťových měničů

Z výše uvedené formule pro oblast Evropy mimo jiné vyplývá, že 80 % roční produkce měniče se odehraje na výkonu menším než 50 % jmenovitého výkonu měniče. Analogicky lze z této informace odvodit strukturu intenzity osvitu v průběhu roku a její vliv na výnos nepřizpůsobených systémů.

2.6. Shrnutí

- Roční výnos neoptimalizovaného systému LOGITEX (doporučené typové zapojení) činí cca **60 %** ročního výnosu srovnávacího systému s MPPT sledovačem (referenční výnos = 100 %). Měrný výnos takového systému je cca **675 kWh/kWp/rok**.
- Roční výnos optimalizovaného systému LOGITEX činí cca **74 %** ročního výnosu srovnávacího systému s MPPT sledovačem (referenční výnos = 100 %). Měrný výnos takového systému je cca **820 kWh/kWp/rok**.

Poznámka: vzhledem k tomu, že v reálném návrhu obecného fotovoltaického pole nebude vždy možné osadit pracovní rezistanci přesně stanovené velikosti, dosažená hodnota maximálního výnosu systému bude nižší, než výše uvedená.

- Redukce výnosu systémů bez MPPT sledovače je významně vyšší v zimních měsících roku – nízká účinnost systému LOGITEX v zimních měsících (kvadratický pokles topného výkonu s poklesem intenzity osvětlení G).
- Pomocí změny pracovní rezistance R systému LOGITEX lze zvýšit výnos systému o cca **20 %**. Popis jednoduché úpravy systému s nulovými investičními náklady je uveden v kapitole 2.4.
- Optimální velikost rezistance topné vložky bojleru LOGITEX (FV systém 2kWp) je **50,0 (+ 10 % / - 5 %) ohmů**
- V kapitole 2.5 byl definován obecný vztah pro výpočet optimální pracovní rezistance R_{opt} libovolného fotovoltaického pole.
- Výpočty byly provedeny na základě modelových databází při definovaných zjednodušujících podmínkách (kapitola 2.1). Je žádoucí reálnost výpočtu ověřit praktickým srovnávacím měřením na reálném zkušebním zařízení.

3. Alternativní možnosti aktivního přizpůsobení

Z výsledků výpočtů v předešlé kapitole vyplývá, že existuje prostor pro navýšení výnosu pasivního systému pomocí dodatečného zařízení. Je zřejmé, že hlavními kritérii pro výběr takového zařízení budou spolehlivost, **cena** a účinnost. Níže jsou popsány dvě varianty řešení. První z nich je popis reálného zařízení s provedenými testy funkčnosti. Druhá varianta představuje ideový návrh a jeho technický rozbor, jenž doposud nebyl realizován do podoby funkčního zařízení.

3.1. Přizpůsobení pomocí frekvenčního měniče

Perspektivním způsobem, který by mohl splnit výše uvedená kritéria (spolehlivost/cena/účinnost), se jeví použití frekvenčních měničů s upraveným DC meziobvodem. Na obrázku 6 je uvedeno principiální schéma zapojení systému s frekvenčním měničem **FM**.

Měření výnosu 7.9.2014 - 12.9.2014, místo měření: 48°51.78800'N, 16°2.60605'E, FVE renerga solutions s.r.o., Mičurina 1752/9, Znojmo	Pi instalovaný výkon (kWp)	Edc výnos na DC vstupu do měniče	Účinnost měniče (-)	Eac výnos na AC výstupu měniče (kWh)	Eacm měrný výnos na AC výstupu měniče (kWh/kWp)	Procentní vyjádření výnosu
Frekvenční měnič ASY2200L - fotovoltaický ohřev	1,92	34,7	0,98	33,71	17,71	99,3%
Referenční síťový měnič Sunny Tripower STP17000TL - síťová fotovoltaická elektrárna	14,88	-	-	265,40	17,84	100,0%

Tab. 9: Srovnávací měření výnosu frekvenčního měniče a síťové elektrárny – společná lokalita



Obr. 7: Testované frekvenční měniče

Vlastnosti systému fotovoltaického ohřevu s frekvenčním měničem:

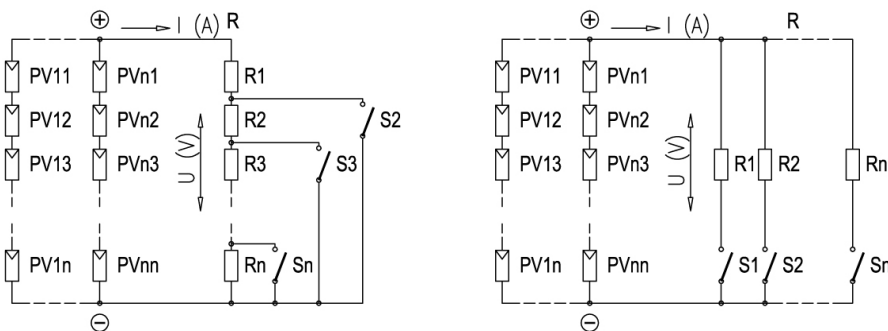
- Měrný výnos srovnatelný s běžnou síťovou fotovoltaickou elektrárnou.
- Pořizovací cena fotovoltaického ohřevu s frekvenčním měničem je srovnatelná s cenou fototermického systému stejného výkonu, měrná cena (4Q/2014) vlastního měniče cca **190 – 250 USD / kWp instalovaných panelů** (bez DPH, cena platná pro výkonový rozsah do 5,5 – 7,5 kW, při větším výkonu či větších obrazech lze očekávat ceny nižší).
- Minimální provozní náklady celého systému.
- Velký rozsah výstupních výkonů frekvenčního měniče, testovaný typ měničů je vyráběn v řadě 0,75 kW až 100 kW. Možnost instalace i velkých fotovoltaických ohřevů (průmysl, veřejný sektor, apod.).

- S ohledem na EMC kompatibilitu je nutno dodržet zásady pro instalaci frekvenčních měničů.
- Systém je zcela autonomní a nepotřebuje pro svoji funkci napájení z vnější elektrické sítě, vhodné řešení pro ostrovní systémy, systém je funkční i v případě blackoutu, použití běžných bojlerů.
- Díky instalaci fotovoltaických panelů lze dodatečně systém ohřevu změnit na ostrovní systém, zdroj elektrické energie pro objekt.
- Za provozu měniče může docházet k akustickému šumu, nainstalovat do prostoru s trvalým pobytem osob.

Dílčí závěr: Testované zařízení se jeví jako velmi vhodný způsob přizpůsobení pro potřeby fotovoltaického ohřevu. Měrný výkon takového systému je srovnatelný s měrným výkonem běžné fotovoltaické elektrárny.

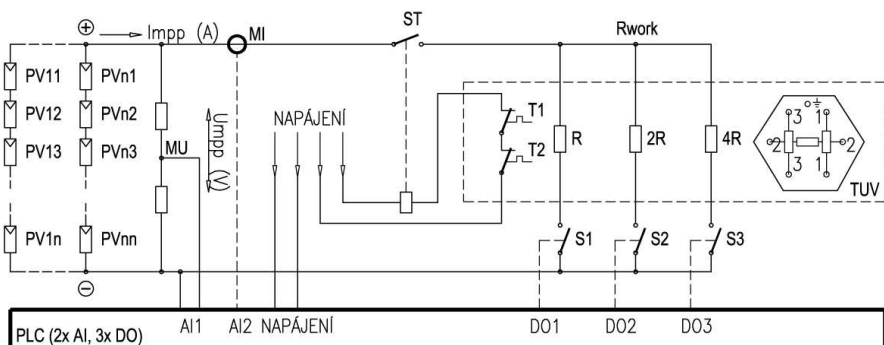
3.2. Přizpůsobení pomocí kvazi-spojitého řízení zátěže

Jednou z možností, jak přizpůsobit topnou zátěž danému fotovoltaickému poli, je sériové či paralelní připínání topných vložek tak, aby došlo ke změně odporu topné zátěže R dle osvitu. Tato možnost je v různých pramenech zmiňována pouze okrajově z důvodu potřeby velkého počtu spínacích prvků $S_1 \dots S_n$ a topných spirál $R_1 \dots R_n$ (obrázek 8).



Obr. 8: Změna pracovního odporu R sériovým či paralelním řazením dílčích odporů $R_1 \dots R_n$

Na obrázku 9 je vyobrazeno principiální schéma zapojení, které zmíněnou nevýhodu eliminuje. Změna odporu je provedena paralelním řazením tří topných spirál (v jedné atypické topné vložce), jejichž rezistance je o velikosti R , $2R$ a $4R$.



Obr. 9: Principiální schéma kvazi-spojitého řízení topné zátěže

Pomocí binárního řazení topných odporů **R**, **2R** a **4R** je vytvořena sedmistupňová škála pracovního odporu **R_{work}** (tabulka 10). Tedy pomocí tří spínacích prvků **S1**, **S2** a **S3** je vytvořeno sedm hodnot pracovního odporu **R_{work}**. V případě použití čtyř spínacích prvků a topných odporů o velikosti **R**, **2R**, **4R**, **8R** je možno vytvořit patnáct hodnot pracovního odporu **R_{work}**. Tabulka 10 je binární tabulkou sedmistupňového kvazi-spojitého řízení rezistance **R_{work}**, v tabulce jsou uvedeny hodnoty **R / 2R / 4R**, výsledné hodnoty **R_{work}** jednotlivých stupňů a ekvivalentní intenzita záření **G** pro jednotlivé stupně (použita pro stanovení intervalů ve výpočtu výnosu, model hodinové analýzy kvazi-spojitého řízení zátěže).

R (ohm) - S1	2R (ohm) - S2	4R (ohm) - S3	R_{work} (ohm)	ekvivalentní G (W/m²)
55	110	220		
1	1	1	31,4	937
1	1	0	36,7	803
1	0	1	44,0	669
1	0	0	55,0	536
0	1	1	73,3	402
0	1	0	110,0	268
0	0	1	220,0	134
0	0	0	-	-

Tab. 10: Tabulka rezistancí **R** / **2R** / **4R**, hodnoty výsledného pracovního odporu **R_{work}**, hodnoty ekvivalentní intenzity osvětlu **G**, (2 kWp FV pole)

Celé zařízení se skládá z řídicího obvodu, tvořeného programovatelným automatem **PLC** (např. platforma Arduino), měřením napětí **MU** (odporový dělič) a proudu **MI** (halova sonda) fotovoltaického pole. Za pomoci libovolného algoritmu MPPT (např. Perturb and Observe P&O [8]) je řazena taková binární kombinace spínačů **S1**, **S2**, **S3** (je měněna pracovní rezistance **R_{work}**), aby bylo dosaženo maximální hodnoty součinu **MU** a **MI** (maximální výkon). Spínače **S1**, **S2**, **S3** jsou v polovodičovém provedení, např. tranzistory FET s optooddělovači. Topná vložka bude v atypickém provedení s hodnotou odporu jednotlivých spirál **R**, **2R**, **4R**. Pro analyzované 2 kWp fotovoltaické pole je zvolena optimální velikost odporů 55 / 110 / 220 ohmů. Zařízení se čtyřmi pracovními odpory bude pracovat analogicky s jemnějším dělením pracovní rezistance **R_{work}** (patnáct stupňů pracovního odporu).

Pomocí hodinové analýzy (celorepublikový průměr) bylo provedeno vyčíslení výnosu kvazi-spojitého řízení zátěže a porovnáno s referenčním systémem s MPPT sledovačem. Podrobný výsledek analýzy 2 kWp systému je uveden v tabulce 11 v Příloze 1.

2,0 kWp systém, kvazi-spojité řízení zátěže (7 stupňů) - celorepublikový průměr		
E1a - celková roční energie, realizovaná v topné zátěži R_{work} (31,4 - 220 ohm)	(kWh)	2 013
E1am - celková měrná roční energie, realizovaná v topné zátěži R_{work} (31,4 - 220 ohm)	(kWh/kWp)	1 007

Tab. 12: Rekapitulace výnosu systému s kvazi-spojitém řízením zátěže (celorepublikový průměr)

Vlastnosti systému fotovoltaického ohřevu s kvazi-spojitém řízením zátěže:

- Měrný výnos blížící se zařízení s MPPT sledovačem (91% u sedmistupňového řízení).
- Jednoduchá konstrukce, bez elektrolytických kondenzátorů – zvýšení spolehlivosti.
- Absence PWM řízení, předpokládána nízká úroveň rušivého elektromagnetického vyzařování.
- Možnost zařízení miniaturizovat a vestavět přímo do bojleru TUV, masové nasazení.
- Modulární koncepce, jedním řídicím obvodem je možno paralelně spínat více polovodičových spínačů a tím vytvořit systémy velkého výkonu.
- Předpokládána nízká měrná pořizovací cena, zejména u velkých systémů.

Dílčí závěr: Roční výnos kvazi-spojitého systému činí cca **91 %** ročního výnosu srovnávacího systému s MPPT sledovačem (referenční výnos = 100 %). Měrný výnos takového systému je cca **1007 kWh/kWp/rok**. Oproti systému LOGITEX bez optimalizace se jedná o cca **50 %** navýšení (z **675 kWh/kWp/rok** na **1007 kWh/kWp/rok**).

4. Ekonomické vyhodnocení systémů FV ohřevu

Byla provedena ekonomická analýza následujících variant FV ohřevu:

- FV ohřev s MPPT sledovačem – frekvenční měnič
- FV ohřev s kvazi-spojitém řízením
- FV ohřev bez MPPT sledovače – optimalizovaný
- FV ohřev bez MPPT sledovače – neoptimalizovaný (LOGITEX)

Pro výpočet byly stanoveny investiční náklady **IN** jednotlivých systémů ohřevu o instalovaném výkonu **7,5 kWp** a velikosti akumulární nádrže **1 m³**, ceny bez DPH (**4Q/2014**), uvažováno použití značkových fotovoltaických panelů z důvodu maximální životnosti zařízení (Yingli, Trina, Kyocera). V souladu s předchozími rozbory byly stanoveny měrné výnosy jednotlivých systémů se zohledněním stárnutí panelů (počáteční výnos **1100**, koncový **900**, střední výpočtový výnos **1000 kWh/kWp/rok** pro výchozí systém s MPPT, ostatní analogicky):

- | | |
|--------------------------------|--|
| ▪ s MPPT: | IN = 290 000,- CZK (1000 kWh/kWp/rok) |
| ▪ kvazi-spojité řízení: | IN = 265 000,- CZK (900 kWh/kWp/rok) |
| ▪ bez MPPT – optimalizovaný: | IN = 250 000,- CZK (750 kWh/kWp/rok) |
| ▪ bez MPPT – neoptimalizovaný: | IN = 250 000,- CZK (600 kWh/kWp/rok) |

Výše uvedené ceny zahrnují cenu akumulární nádrže s příslušenstvím: **35 000,- CZK** (bez DPH)

S ohledem na bezúdržbovost zařízení FV ohřevu byly stanoveny náklady na provoz jako fond oprav (zaměřený zejména na repasi či výměnu měniče, případné opravy nosné konstrukce) v následujících ročních hodnotách (bez DPH):

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| ▪ s MPPT: | N = 2000,- CZK |
| ▪ kvazi-spojité řízení: | N = 1300,- CZK |

- bez MPPT – optimalizovaný: **N = 1000,- CZK**
- bez MPPT – neoptimalizovaný: **N = 1000,- CZK**

Společné ekonomicko-technické parametry ekonomické analýzy jsou uvedeny v tabulce 13.

Doba životnosti projektu:	20 let	Předpokládaná doba životnosti, předpoklad repase nebo výměny měniče během doby života
Roční změna výnosu	3 %	Konzervativní hodnota s ohledem na značnou závislost na ruském plynu/ropě
Roční změna nákladů - fond oprav	1 %	Fond oprav bude sloužit zejména na repasi měniče - předpoklad stagnace či poklesu ceny
Diskont - výnos alternativní investice	2 %	Riziko investice srovnatelné s rizikem investice do dluhopisů
Plocha fotovoltaického generátoru	49,5 m²	Plocha, zastavěná fotovoltaickými panely
Ekvivalentní plocha fototermiky	16,5 m²	Uvažována 1/3 plochy fotovoltaického generátoru

Tab. 13: Společné výpočtové ekonomicko-technické parametry

Návratnost a ekonomické parametry jednotlivých zařízení byly vypočteny pro následující 3 hodnoty stávajícího nákupu energie pro ohřev:

- Cena1 = **2,- CZK / kWh**
- Cena2 = **3,- CZK / kWh**
- Cena3 = **4,- CZK / kWh**

V tabulce 14 je ukázka výsledku výpočtu návratnosti a ostatních ekonomických parametrů pro cenu nákupu stávající kWh **Cena2 = 3,- CZK**. Ostatní kompletní vstupní data a výsledky pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v příloze této zprávy v tabulkách 15 a 16.

Ekonomické výpočty byly provedeny finančním kalkulátorem:

<http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financni-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>

Bez DPH, investiční náklady elektro+akumulace				
	3,0 CZK / kWh			
	Prostá doba návratnosti	Diskontovaná doba návratnosti	IRR	NPV
	(roků)	(roků)	(%)	(CZK)
FV ohřev – MPPT sledovač – frekvenční měnič	12	14	6	159 018
FV ohřev – kvazi-spojité řízení	12	14	7	148 059
FV ohřev – bez MPPT – optimalizován	14	15	5	95 706
FV ohřev – bez MPPT – neoptimalizován	16	19	3	22 988

Tab. 14: Ukázka výsledků výpočtu návratnosti pro nákup energie 3,- CZK / kWh, varianta bez DPH

Všechny výpočty předpokládají využití veškeré, systémem distribuované energie (zajištění odběru).

Dílí závěr: Analýza ukázala **velký přínos optimalizace** systémů bez MPPT sledovače (významné zlepšení všech ekonomických parametrů – návratnost/IRR/NPV).

5. Závěr

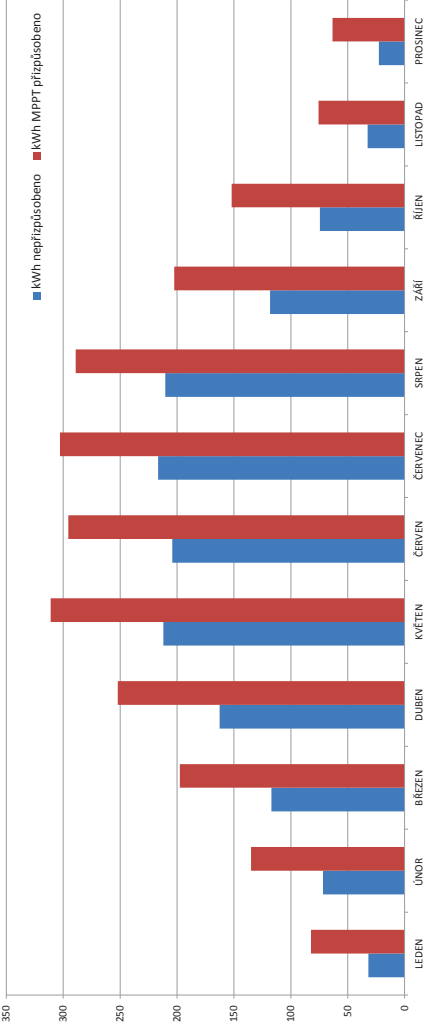
- Optimalizované systémy bez sledovače MPPT (LOGITEX po optimalizaci) se jeví jako vhodné řešení tam, kde není na závalu výrazný pokles výnosu v přechodných a zimních obdobích. Významnou předností těchto systémů je jejich spolehlivost, daná technologickou jednoduchostí a čistotou (absence MPPT sledovačů).
- Systémy s frekvenčními měniči s MPPT sledovačem se jeví jako vhodné řešení tam, kde je požadavek celoročně maximálního výtěžku. Díky nízké ceně přizpůsobení a vysokému měrnému výnosu vykazují nejlepší ekonomické parametry.
- V této práci představený systém kvazi-spojitého přizpůsobení má díky své jednoduchosti, předpokládané spolehlivosti (absence elektrolytických kondenzátorů), možnosti miniaturizace a očekávané nízké ceně zařízení, potenciál masovějšího nasazení. Systém se jeví jako vhodný k přímé vestavbě do bojleru. **Řešení se též jeví jako vhodné téma bakalářské či diplomové práce, jež by napomohla rychlejšímu nasazení principu v praxi.**

6. Literatura

- [1] P. Wolf, V. Benda: Optimalizace fotovoltaického systému pro přípravu teplé vody, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektrotechnologie, ČVUT Praha, 2013.
- [2] T. Matuška, B. Šourek: Porovnání solárního fototermického a fotovoltaického ohřevu vody, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT Praha, 2014.
- [3] B. Bechník: Příprava teplé vody – fotovoltaika nebo solární kolektory?, 2013.
- [4] P. Wolf: Užiténý vzor č. 23101, Systém pro předávání výkonu fotovoltaického generátoru s proměnným výstupním napětím do odporové zátěže, 2011.
- [5] D. Lako: Užiténý vzor č. 22504, Zařízení pro kombinovaný ohřev vody pomocí střídavého a stejnosměrného proudu, 2011.
- [6] D. Lako: Užiténý vzor č. 25157, Zařízení k přesměrování elektrické energie z bojleru s regulovaným ohřevem vody, ohříváního pomocí jednosměrného proudu získaného z fotovoltaických panelů, 2013.
- [7] M. Witte: Was Sie ueber Photovoltaikanlagen wissen sollten, 2008
- [8] M. Kašpárek: Diplomová práce Regulátor pro nabíjení NiMH akumulátorů z fotovoltaického panelu, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, VUT Brno, 2011

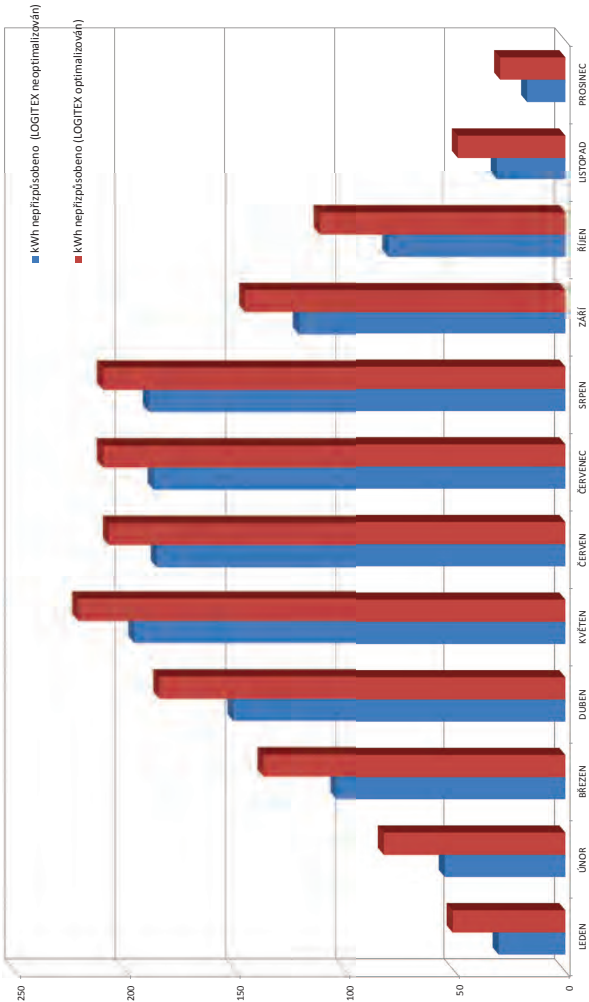
7. PŘÍLOHA 1: Tabulky, grafy

BRNO												CELKEM (%)	
kWh nepřizpůsobeno	32	72	117	163	212	204	217	210	118	74	32	1 474	62,5%
kWh MPPT přizpůsobeno	82	135	198	252	311	295	303	289	202	152	76	2 359	100,0%
% nepřizpůsobeno	38,6%	53,1%	59,3%	64,5%	68,2%	69,1%	71,5%	72,8%	58,4%	49,0%	42,8%	35,6%	
% MPPT přizpůsobeno	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
R (ohm)												2,000	
Počet panelů (-)												1272	
UmppSTC (V)												30	
ImpSTC (A)												180	
Náklon panelů vůči horizontu (°)													
Azimut panelů (°)													
Pinist (kWp)												2,000	
E v rovině panelů (kWh/m2/rok)												1272	



Tab. 5 GRAF POROVNÁNÍ VÝNOSŮ NEPŘIZPŮSOBENÉHO SYSTÉMU A SYSTÉMU S MPPT SLEDOVAČEM (ÚČINNOST MPPT SLEDOVAČE 95%)

CZ - PRŮMĚR														
kWh nepřipřisobeno (LOGITEX neoptimalizován)	30	54	104	151	196	186	187	190	121	80	31	17	1 349	61,0%
kWh nepřipřisobeno (LOGITEX optimalizován)	51	82	137	185	222	208	210	210	146	112	49	30	1 641	74,2%
kWh připřisobeno (MPPT měnič - srovnávací systém)	78	115	183	240	290	276	280	273	198	151	75	53	2 112	100,0%
% nepřipřisobeno (LOGITEX neoptimalizován)	38,7%	47,1%	57,1%	63,0%	67,7%	67,4%	66,9%	69,6%	61,4%	53,0%	41,3%	32,6%		
% připřisobeno (LOGITEX optimalizován)	65,4%	71,0%	75,1%	77,0%	76,5%	75,2%	75,1%	77,2%	73,7%	74,2%	64,7%	55,6%		
% připřisobeno (MPPT měnič - srovnávací systém)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%		
Rezistance LOGITEX neoptimalizovaná (ohm)	28,9	242,7				21,6%				Přist (kWp)		2,000		
Rezistance LOGITEX optimalizovaná (ohm)	50,6	8,24				95,0%				Počet panelů (t)		8		
Nový systém výnosů systému optimalizací impedance														
Údinnost MPPT sledovacího srovnávacího systému														



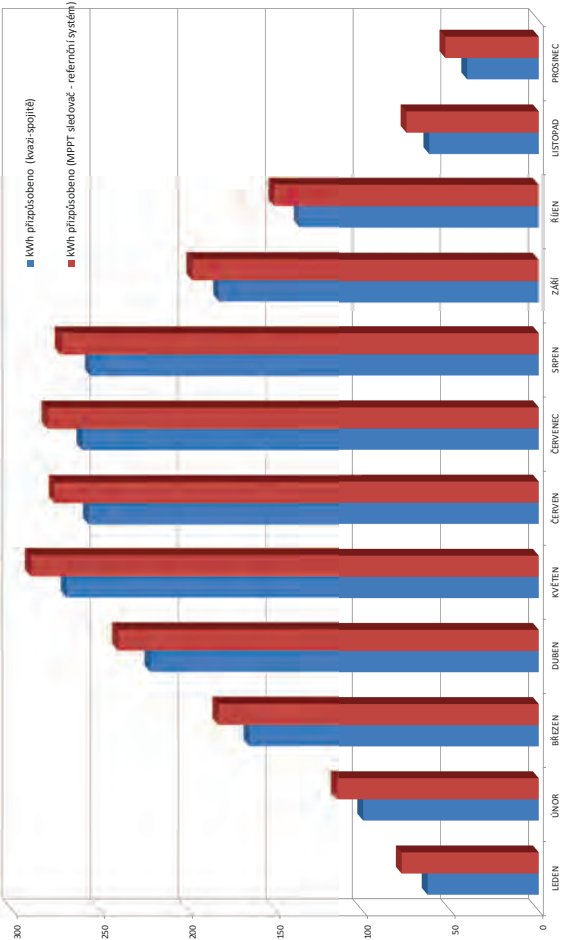
Tab. 8: GRAF NAVÝŠENÍ VÝNOSU OPTIMALIZACÍ REZISTANCE TOPNÉ VLOŽKY - BEZ MPPT SLEDOVAČE

NAVÝŠENÍ VÝNOSU:

21,6%

CZ - PRŮMĚR												
KWh přizpůsobeno (kvasi-spojité)	LEDEN	ÚNOR	BŘEZEN	DUBEN	KVĚTEN	ČERVEN	ČERVENEC	SRPEN	ZÁŘÍ	ŘÍJEN	LISTOPAD	PROSINEC
	63	100	165	221	269	257	260	255	182	136	62	41
KWh přizpůsobeno (MPPT sledovač - referenční systém)	78	115	183	240	290	276	280	273	198	151	75	53
% přizpůsobeno (kvasi-spojité)	81,1%	86,3%	90,3%	91,3%	92,8%	92,8%	92,8%	91,7%	92,3%	90,4%	82,8%	76,6%
% KWh přizpůsobeno (MPPT sledovač - referenční systém)	80,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Náklad panelů: výčelná horizonta (°)	30,0	Účinnost MPPT sledovače: zraněného systému	95,0%	Průměr (KWh)	2,000
Azimut panelů (°)	180	Účinnost kvasi-spojitého řešení vůči MPPT	91,0%	Počet panelů (-)	8



TAB. 11: GRAF VÝNOSU SYSTÉMU S KVAZI-SPOJITÝM ŘÍZENÍM ZÁTĚŽE (7 STUPŇŮ IMPEDANCE), SROVNÁNÍ S MPPT SLEDOVAČEM

Bez DPH, investiční náklady elektro-akumulace													
	PI	Ema	Ea	IN1	IN2	IN + IN1+IN2	Cena1	Cena2	Cena3	Výnos1	Výnos2	Výnos3	Náklady
	instalační výkon panelů	měrný roční výkon	roční roční produkce	investiční náklady elektro-části - zdroj	investiční náklady akumulace nádrží 1 m3	celkové investiční náklady	stálý náklad kWh	stálý náklad kWh	stálý náklad kWh	roční výnos pro danou cenu kWh	roční výnos pro danou cenu kWh	roční výnos pro danou cenu kWh	roční náklady - fond oprav
	(kWp)	(kWh/kWp)	(kWh)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)
FV ohřev - MPPT sledovač - frekvenční měnič	7,5	1 000	7 500	235 000	35 000	290 000	2,0	3,0	4,0	15 000	22 500	30 000	2 000
FV ohřev - kvazi-společné řízení	7,5	900	6 750	230 000	35 000	265 000	2,0	3,0	4,0	13 500	20 250	27 000	1 900
FV ohřev - bez MPPT - optimalizován	7,5	750	5 625	215 000	35 000	250 000	2,0	3,0	4,0	11 250	16 875	22 500	1 000
FV ohřev - bez MPPT - neoptimalizován	7,5	600	4 500	215 000	35 000	250 000	2,0	3,0	4,0	9 000	13 500	18 000	1 000

Bez DPH, investiční náklady pouze elektro													
	PI instalační výkon panelů	Ema měrný roční výnos	Ea roční produkce	IN1 investiční náklady elektročásti - zdroj	IN2 investiční náklady akumulace nádrží 1 m3	IN + IN1+IN2 celkové náklady	Cena1 stálý náklad kWh	Cena2 stálý náklad kWh	Cena3 stálý náklad kWh	Výnos1 roční výnos pro danou cenu kWh	Výnos2 roční výnos pro danou cenu kWh	Výnos3 roční výnos pro danou cenu kWh	Náklady roční náklady oprav
	(kWp)	(kWh/kWp)	(kWh)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)
FV ohřev - MPPT sledovač - frekvenční měnič	7,5	1 000	7 500	255 000	35 000	290 000	2,0	3,0	4,0	15 000	22 500	30 000	2 000
FV ohřev - kvazi-společné řízení	7,5	900	6 750	230 000	35 000	265 000	2,0	3,0	4,0	13 500	20 250	27 000	1 900
FV ohřev - bez MPPT - optimalizován	7,5	750	5 625	215 000	35 000	250 000	2,0	3,0	4,0	11 250	16 875	22 500	1 000
FV ohřev - bez MPPT - neoptimalizován	7,5	600	4 500	215 000	35 000	250 000	2,0	3,0	4,0	9 000	13 500	18 000	1 000

Investice-fond oprav vč. DPH 15%, nákup energie vč. DPH 21%, investiční náklady elektro-akumulace													
	PI (instalační výkon panelů)	Ema (měrný roční výkon)	Ea (roční roční produkce)	IN1 (investiční náklady elektročásti - zdroj)	IN2 (investiční náklady akumulace nádrží 1 m3)	IN + IN1+IN2 (celkové investiční náklady)	Cena1 (stálý náklad kWh)	Cena2 (stálý náklad kWh)	Cena3 (stálý náklad kWh)	Výnos1 (roční výnos pro danou cenu kWh)	Výnos2 (roční výnos pro danou cenu kWh)	Výnos3 (roční výnos pro danou cenu kWh)	Náklady (roční náklady - fond oprav)
	(kWp)	(kWh/kWp)	(kWh)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)
FV ohřev - MPPT sledovač - frekvenční měnič	7,5	1 000	7 500	239 250	40 250	333 500	2,42	3,63	4,84	18 150	27 225	36 300	2 300
FV ohřev - kvazi-společné řízení	7,5	900	6 750	204 500	40 250	304 750	2,42	3,63	4,84	16 335	24 503	32 570	1 495
FV ohřev - bez MPPT - optimalizován	7,5	750	5 625	202 250	40 250	267 500	2,42	3,63	4,84	13 613	20 419	27 280	1 150
FV ohřev - bez MPPT - neoptimalizován	7,5	600	4 500	202 250	40 250	267 500	2,42	3,63	4,84	10 890	16 335	21 780	1 150

Investice+fond oprav vč. DPH 15%, nákup energie vč. DPH 21%, investiční náklady pouze elektro													
	PI (instalační výkon panelů)	Ema (měrný roční výkon)	Ea (roční roční produkce)	IN1 (investiční náklady elektro-části - zdroj)	IN2 (investiční náklady akumulace nádrží 1 Jm3)	IN + IN1+IN2 (celkové investiční náklady)	Cena1 (stálý náklad kWh)	Cena2 (stálý náklad kWh)	Cena3 (stálý náklad kWh)	Výnos1 (roční výnos pro danou cenu kWh)	Výnos2 (roční výnos pro danou cenu kWh)	Výnos3 (roční výnos pro danou cenu kWh)	Náklady (roční náklady - fond oprav)
	(kWp)	(kWh/kWp)	(kWh)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)	(CZK)
FV ohřev - MPPT sledovač - frekvenční měnič	7,5	1 000	7 500	293 250	40 250	333 500	2,42	3,63	4,84	18 150	27 225	36 300	2 300
FV ohřev - kvazi-společné řízení	7,5	900	6 750	264 500	40 250	304 750	2,42	3,63	4,84	16 335	24 503	32 570	1 495
FV ohřev - bez MPPT - optimalizován	7,5	750	5 625	247 250	40 250	287 500	2,42	3,63	4,84	13 613	20 419	27 225	1 150
FV ohřev - bez MPPT - neoptimalizován	7,5	600	4 500	247 250	40 250	287 500	2,42	3,63	4,84	10 890	16 335	21 780	1 150

Cena zařízení koncová, realizace na klíč, DPH dle poznámek u jednotlivých tabulek, uvažovány značkové fotovoltaické panely (Vingli, Trina, Yocera) - garance životnosti zařízení
Zohledněno stárnutí panelů (početní výkon 1100, koncový 900, střední 1000 kWh/kWp/rok pro výchozí systém, ostatní analogicky)
Vypočet předpokládá využití veškeré systémem distribuované energie
Žlutě vyznačené buňky-data citovány v průvodní zprávě

Tab. 15: VSTUPNÍ DATA PRO EKONOMICKOU ANALÝZU

Bez DPH, investiční náklady elektro+akumulace

	2,0 CZK / kWh				3,0 CZK / kWh				4,0 CZK / kWh			
	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)
FV ohřev - MPPT sledovač - frekvenční měnič	18	>20	-	-	12	14	6	159 018	10	11	10	320 514
FV ohřev - kvazi-spjité řízení	17	20	2	2 622	12	14	7	148 059	10	11	10	293 495
FV ohřev - bez MPPT - optimalizován	19	>20	-	-	14	15	5	95 706	11	12	9	218 493
FV ohřev - bez MPPT - neoptimalizován	>20	>20	-	-	16	16	3	22 968	13	14	6	113 945

Bez DPH, investiční náklady pouze elektro

	2,0 CZK / kWh				3,0 CZK / kWh				4,0 CZK / kWh			
	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)
FV ohřev - MPPT sledovač - frekvenční měnič	16	18	3	32 422	11	12	8	154 018	9	9	12	355 514
FV ohřev - kvazi-spjité řízení	15	18	3	37 622	11	12	8	143 059	9	9	12	328 495
FV ohřev - bez MPPT - optimalizován	17	20	2	9 509	12	13	7	130 706	9	10	11	251 493
FV ohřev - bez MPPT - neoptimalizován	20	>20	-	-	14	17	4	57 868	11	13	8	154 945

Investice-fond oprav vč. DPH 15%, nákup energie vč. DPH 21%, investiční náklady elektro+akumulace

	2,42 CZK / kWh				3,63 CZK / kWh				4,84 CZK / kWh			
	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)
FV ohřev - MPPT sledovač - frekvenční měnič	17	20	2	16 427	12	13	7	211 958	9	10	11	407 489
FV ohřev - kvazi-spjité řízení	17	19	3	20 468	12	13	7	196 457	9	10	11	377 424
FV ohřev - bez MPPT - optimalizován	18	>20	-	-	13	15	6	131 883	10	11	9	278 525
FV ohřev - bez MPPT - neoptimalizován	>20	>20	-	-	16	18	3	42 888	12	14	7	161 207

Investice-fond oprav vč. DPH 15%, nákup energie vč. DPH 21%, investiční náklady pouze elektro

	2,42 CZK / kWh				3,63 CZK / kWh				4,84 CZK / kWh			
	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)	Prostá doba náhratelnosti (roky)	Diskontovaná doba náhratelnosti (roky)	IRR (%)	NPV (CZK)
FV ohřev - MPPT sledovač - frekvenční měnič	15	18	4	56 577	11	12	9	252 298	8	9	13	447 758
FV ohřev - kvazi-spjité řízení	15	17	4	60 807	10	12	9	236 796	8	9	13	412 763
FV ohřev - bez MPPT - optimalizován	16	19	3	25 490	11	13	8	172 133	9	10	11	318 775
FV ohřev - bez MPPT - neoptimalizován	19	>20	-	-	14	16	5	84 138	11	12	8	201 457

Doba životnosti projektu: 20 let

Roční změna výnosů: 3%

Roční změna nákladů - fond oprav 1%

Diskont - výnos alternativní investice 2%

Finanční kalkulator

Žluté vybarvené buňky-data citovaná v příložené zprávě

Fond oprav bude sloužit zejména na repasi měniče - předpoklad stagnace či poklesu ceny

<mailto:info@siavba.tzb-info.cz> / <http://siavba.tzb-info.cz/tabluky-a-vypocty/110-financni-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>

Tab. 16: VÝPOČET NÁVRATNOSTI A EKONOMICKÝCH PARAMETRŮ

PHPP verze 8.5 CZ – popis a novinky oproti předchozí verzi

Juraj Hazucha, Centrum pasivního domu

e: juraj.hazucha@pasivnidomy.cz, t: 774 259 751

1. Proč potřebujeme na pasivní domy PHPP?

Výpočet energetické bilance budov s velmi nízkou potřebou energie je náročný úkol, pro který existující normy a předpisy pozbývají potřebnou přesnost. Proto se pro maximální využití potenciálu úspor a volby vhodných technologií používají výpočtové programy, které jsou na pasivní a nulové domy svou citlivostí přizpůsobené. Kontrola a optimalizace pomocí těchto nástrojů by měla provázet návrh budov už od samého začátku. Můžeme se tím vyvarovat nekonceptních kroků, které znevýhodňují investora ve formě vyšších pořizovacích nákladů a uživatele vyššími náklady na provoz, nebo sníženým provozním komfortem nebo hygienou vnitřního prostředí. Výpočet často slouží i jako podklad pro návrh vhodných variant a ekonomicky optimálních řešení.

Programy používané pro výpočet energetické bilance můžeme rozdělit na dvě základní skupiny – na návrhové a ověřovací. Návrhové nástroje slouží pro optimalizaci návrhu (např. výplní otvorů, systému řízeného větrání s rekuperací tepla, tloušťky a druhu izolace apod.) a také pro dimenzování navazujících technologií (vytápění, chlazení, stínění, osvětlení, apod.). Pro maximální využitelnost k optimalizaci návrhu je vhodné, aby měly programy možnost interaktivního výsledku, tzn. při změně jakékoliv vstupní hodnoty je okamžitě patrná změna výsledku. Jen tak lze dosáhnout efektivního procesu optimalizace. Ověřovací nástroje v naprosté většině tuto možnost interaktivního výsledku pozbývají a slouží zejména pro ověření již ukončeného procesu návrhu.

Celosvětově nejrozšířenějším návrhovým nástrojem, umožňujícím přesnou energetickou optimalizaci pasivních a nulových domů je PHPP (Passive House Planning Package) a my si jej v tomto článku představíme.

2. Popis a oblasti použití programu PHPP

Již od roku 1991, kdy byly dokončeny první pasivní domy, se otázkou výpočtu energetické bilance budov s velmi nízkou potřebou energie zabývá německý Passivhaus Institut (PHI).

Kvůli potřebné přesnosti byly z počátku používány složité dynamické simulace, pro běžného uživatele však vzhledem k vysoké náročnosti nepoužitelné. Na jejich základě, byl proto vyvinut statický nástroj PHPP, jednoduše použitelný, s přijatelnou mírou pracnosti při zadávání dat a hlavně dosahující spolehlivých výsledků.

PHPP má primární využití při komplexním návrhu budov s velmi nízkou potřebou energie, kde se používá pro určení energetické bilance, dimenzování technického zařízení budov nebo při návrhu strategie řešení letního přehřívání. Program obsahuje výpočetní moduly pro návrh a určení:

- součinitelů prostupu tepla U s možností započtení nehomogenních konstrukcí
- přesných parametrů oken a jejich bilance
- energetické bilance měsíční nebo ročnou metodou
- řízeného větrání s rekuperací tepla
- topné zátěže, s možností využití výsledků pro dimenzování otopného systému
- letního případu – četnosti přehřívání, návrhu zastínění a způsobu letního větrání případně chlazení
- potřeby energie pro přípravu teplé vody, ztráty v rozvodech
- využití solární energie termické i fotovoltaiky
- účinnosti tepelných čerpadel a kompaktních větracích jednotek
- roční potřeby primární energie.

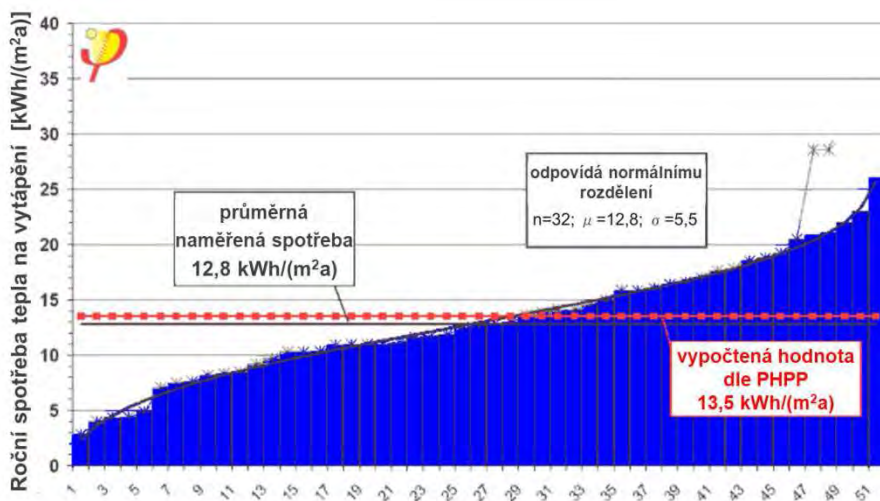
PHPP lze použít i pro různé typy nebytových staveb, jako školy, administrativní budovy nebo jiné, v kterých se odlišují vnitřní zisky od standardních hodnot. Program PHPP obsahuje přehledný a detailní manuál, který jako průvodce provází uživatele výpočtem. Kromě návodu k zadávání jednotlivých listů s množstvím obrazového materiálu, obsahuje také doporučení k dosažení standardu pasivního domu.

3. Ověření výpočtu – potřeba vs. spotřeba

Program PHPP je od doby svého vzniku pravidelně aktualizován a zpřesňován na základě skutečných měření a nových výsledků výzkumu. Jako část doprovodných výzkumných studií bylo vykonáno měření a porovnání s výsledky výpočtů na více než 300 projektech. Jak se

ukázalo, modul na výpočet energetické bilance je schopen popsat tepelné vlastnosti budovy překvapivě přesně.

Například na obr. 1 je vidět rozložení skutečně naměřené spotřeby u 52 identických bytových jednotek ve Stuttgartu. I když mezi jednotlivými byty jsou relativně velké rozdíly, vypočtená potřeba a průměr naměřených hodnot jsou ve vysoké shodě. To mimo jiné svědčí o přesnosti software a správně nastavených okrajových podmínkách.

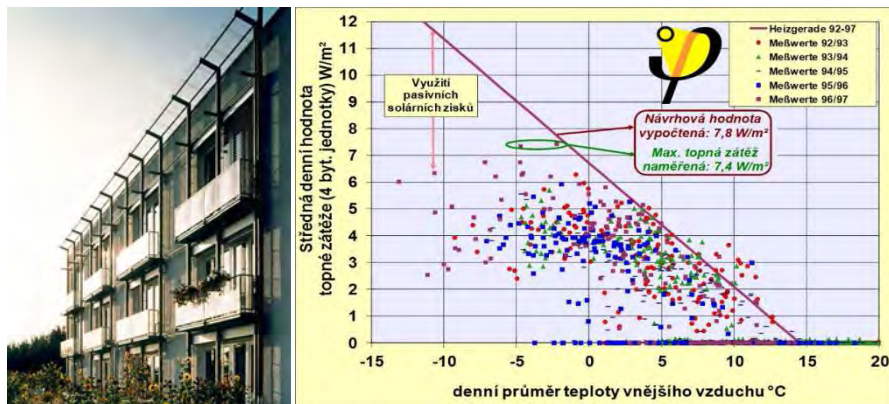


Obr. 1: Spotřeba tepla na vytápění 52 pasivních domů v Stuttgart, Feuerbach, (rok výstavby 2000), (Zdroj: PHI – www.passipedia.org)

Z grafu je také vidět odpověď na otázku proč se skutečná spotřeba nerovná vypočtené hodnotě. Vypočtená potřeba vždy vychází z průměrných hodnot (vnější a vnitřní teploty, výměny vzduchu atd.). Skutečnou spotřebu však ovlivňuje uživatelské chování, jako vnitřní teplota, obsazenost a přítomnost uživatelů, vybavenost spotřebiči či intenzita větrání může způsobit v extrémních rozdílech až 100 % na obě strany.

Podobnou přesnost vykazuje i upravený způsob výpočtu topné zátěže, vyvinutý speciálně pro pasivní domy. Je to zřejmé z obr. 2, kde jsou naměřeny hodnoty topné zátěže v průběhu pěti topných sezón. Návrhové hodnotě se naměřené maxima blížili pouze v několika případech. Zde se výrazně projevuje efekt, že topná zátěž za chladných jasných dnů v důsledku solárních zisků přestává stoupat, i když vnější teplota výrazně poklesne. Ve dnech oblačnosti (zataženo) zůstává z důvodu skleníkového efektu relativně teplé počasí, chybí však sluneční záření.

Dalším rozdílem, který se projevuje u vysoce úsporných staveb, je vysoká časová konstanta budov a fázový posun při vychládání objektu, které umožňují „uchránit“ zisky dosažené za dne i do noci. Z výše uvedených důvodů nemá u obytných staveb význam počítat s přerušovaným vytápěním nebo nočním útlumem a následným náběhem systému.



Obr. 2: První pasivní dům Darmstadt Kranichstein se srovnáním vypočtené topné zátěže a naměřených hodnot z pěti topných sezón 1992 – 1997. (Zdroj: PHI – www.passipedia.org)

Pokud navrhujeme pasivní a nulové domy, je nezbytné volit také ekonomicky optimální řešení. Precizní určení topné zátěže bez zbytečných přírážek je určující pro výběr příslušného zdroje tepla, druhu a velikosti topného systému. Ekonomická optimalizace musí být však komplexní a je potřeba zohlednit např. investice do zlepšení obálky budovy, které umožňují zjednodušit a zlevnit systém vytápění budov. Je zřejmé, že investice do obálky budovy se životním cyklem víc než 30 let je výhodnější než investice do technologií se životností kolem 15 let.

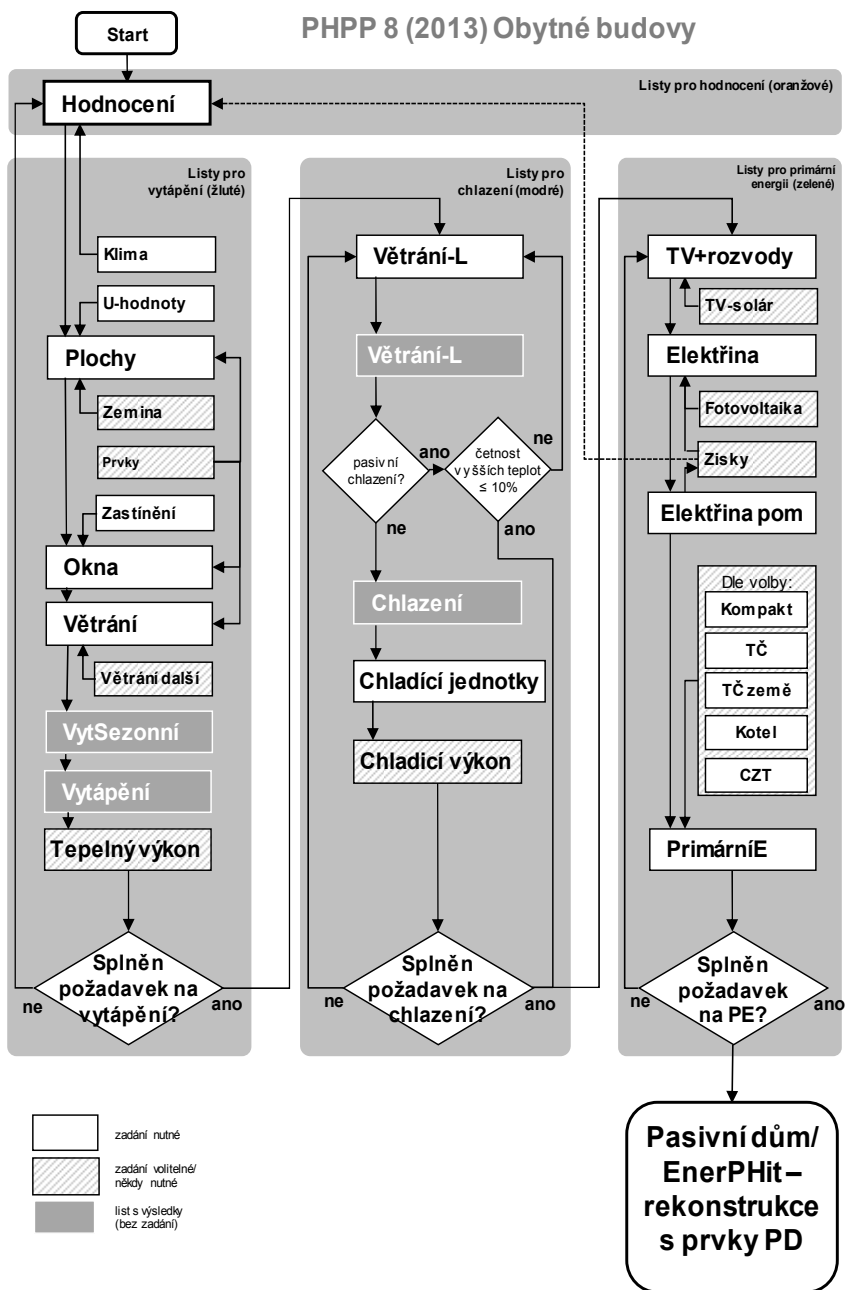
Přesný návrh bez kvalitních klimatických nemá dostatečnou přesnost. Nová klimatická data pro ze 72 okresů ČR vycházejí z hodnot 40 letého průměru (1971 – 2010), které pro účely normy zpracovala v roce 2012 Český hydrometeorologický ústav. Jedná se o nejpřesnější klimatická data u nás dostupné a pokrývají celou ČR.

4. Softwarové prostředí a struktura programu

Software pracuje v programovém prostředí tabulkového editoru MS Excel, což umožňuje okamžitou odezvu na změny ve vstupních údajích. Zkušenějším uživatelům umožňuje prostředím tabulkového editoru propojení s vlastními výpočty např. ekonomické návratnosti.

Program obsahuje řadu listů (viz obr. 3), jenž jsou logicky uspořádány tak, aby budova byla nejprve vyhodnocena z hlediska ztrát a zisků s výslednou hodnotou potřeby tepla na vytápění. Optimalizace návrhu probíhá, dokud nejsou dosaženy požadované parametry. Následně se vyhodnotí letní případ a návrh ochrany proti přehřívání. V posledním kroku se zadají do výpočtu systémy TZB a vyhodnotí se měrná potřeba primární energie.

PHPP 8 (2013) Obytné budovy



Obr. 3: Schéma postupu zadávání vstupních údajů do PHPP

List Hodnocení (viz obr. 4.) slouží současně jako shrnutí nejdůležitějších výsledků i jako protokol pro hodnocení kvality při certifikaci pasivních domů, ke kterým se vztahují základní kritéria:

- Měrná potřeba tepla na vytápění

max. 15 kWh/(m²a)
- Průvzdušnost n₅₀

max. 0,6 h⁻¹
- Měrná potřeba primární energie
(vytápění, TV, pomocná energie, spotřebiče a osvětlení)

max. 120 kWh/(m²a)

Hodnocení pasivního domu



Objekt:PD - koncový řadový dům Kranichstein

Místo a klima:Darmstadt KranichsteinStandard Německo

Ulice:

PSČ/Město:D-64289 Darmstadt

Stát:Německo/Hesensko

Druh objektu:řadový dům/byty

Stavebník:Bauherrengemeinschaft Passivhaus

Ulice:

PSČ/Město:D-64289 Darmstadt

Architekt:Prof. Bott/Ridder/Westermeyer

Ulice:Jahnstr. 8

PSČ/Město:D-64285 Darmstadt

Technické vybavení budov:

Ulice:Bahnhofstr. 49

PSČ/Město:D-64319 Pfungstadt

Rok výstavby:1991

Počet bytových jednotek:1

obestavěný objem V₀:665,0 m³

Počet osob:4,5

Vnitřní teplota:20,0 °C

Vnitřní zdroje tepla:2,1 W/m²

Přožadavky ve vztahu k vytápěné podlahové ploše

Vytápěná podlahová plocha:156,0 m²

Postupit:156,0 m²

Měsíční metoda

Certifikát:15 kWh/(m²a)

Splněno?ano

Měrná potřeba tepla pro vytápění:14 kWh/(m²a)

15 kWh/(m²a)

ano

Výsledek zkoušky neprůvzdušnosti:0,2 h⁻¹

0,6 h⁻¹

ano

Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění, chlaz., pom. a dom. spotřebiče):65 kWh/(m²a)

120 kWh/(m²a)

ano

Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění a pomocná a domácí spotřebiče):37 kWh/(m²a)

120 kWh/(m²a)

ano

Měrná potřeba primární energie Úspora elektriny pomocí solární energie:kWh/(m²a)

120 kWh/(m²a)

ano

Topná zátěž:10 W/m²

rad 25 °C

15 kWh/(m²a)

Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu:3 %

rad 25 °C

15 kWh/(m²a)

Měrná potřeba energie pro chlazení :kWh/(m²a)

15 kWh/(m²a)

ano

Chladicí zátěž:9 W/m²

15 kWh/(m²a)

ano

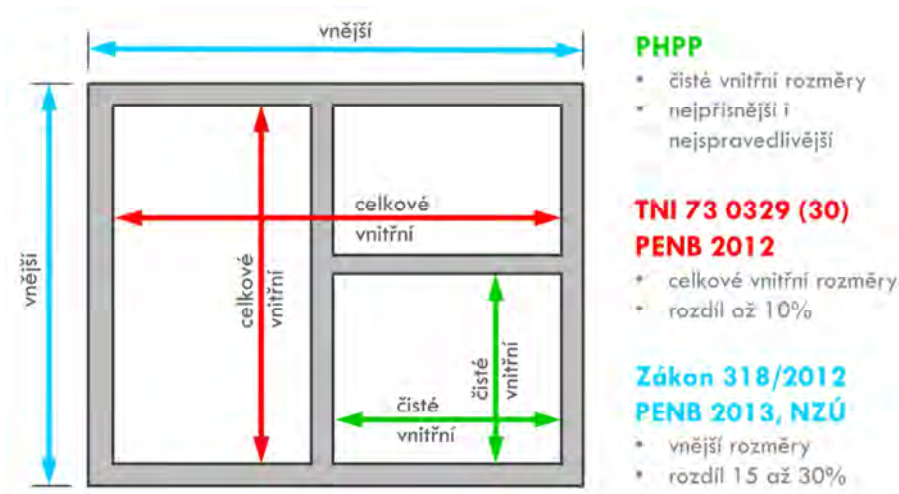
Obr. 4: Titulní list Hodnocení z programu PHPP

5. Výpočetní metody, okrajové podmínky, dodržení norem

Hlavní výpočetní metoda v PHPP je ČSN EN ISO 13790 a upravené algoritmy z dynamických simulací. Většina v PHPP zadávaných hodnot může být použita jako vstup pro výpočet energetické bilance dle Vyhl. 78/2013 Sb. například ve volně dostupném Národním kalkulačním nástroji, nebo jiných komerčních programech stejně jako ve výpočtech pro účely dotace Nová zelená úsporám.

Každá výpočetní metoda používá určenou metodiku pro stanovení vztažných hodnot. Používáním různých vztažných hodnot zákonitě vznikají rozdíly ve výsledcích. Nejčastějším rozdílem bývá vztažná podlahová plocha. Všechny výsledky v PHPP se vztahují na upravenou podlahovou plochu. Na rozdíl od metodiky ČSN EN ISO 13789 je vypočtena jako čistá užitná plocha místností (viz obr. 5). Počítá se bez příček, schodišť, galerií se zohledněním výšky prostoru (nejsou započítávány prostory se světlou výškou pod 1 m, prostory mezi 1 – až 2 m výšky jsou započteny polovinou). Výsledná hodnota potřeby tepla na vytápění, vztažená k této podlahové ploše, je přísnější asi o 10 % oproti ČSN EN ISO 13789, která uvažuje s celkovou vnitřní plochou včetně příček a schodišť a o 15 až 30 % přísnější než nově zavedená vnější podlahová plocha zákonem 318/2013.

Výsledek z PHPP dává ovšem uživateli o mnoho lepší přehled o efektivní využitelnosti domu. Potřeba tepla na vytápění není zbytečně rozpočítávána na celkovou plochu, která však není uživateli celá k dispozici pro život. Nevhodně navržené domy mají větší míru nezapočitatelné podlahové plochy, a tudíž častěji nedosahují požadované výpočtové hodnoty potřeby tepla na vytápění.



Obr. 5: Rozdíl ve výpočtu vztažné podlahové plochy dle metodiky PHPP a uváděnou v nových průkazech energetické náročnosti budov (PENB) může činit až 30 %. (zdroj CPD)

6. Optimalizace návrhu pomocí software PHPP

PHPP má hlavní využití jako návrhový nástroj. Pasivní a nulový dům nelze dosáhnout pouze spojením kvalitních částí, hlavně musí jít o vyvážený a celkový návrh s efektivním použitím dílčích částí na správném místě a ve vhodné míře. Optimalizaci tohoto druhu nelze již dělat na základě zkušeností a odhadem, ale všechny úpravy musí mít exaktní základ ve výpočtu. Má význam použít tolik izolace, nebo čím zlepšit co nejefektivněji nevhodnou orientaci domu ke světovým stranám? Mají okna správnou velikost, a jaké parametry zasklení pro daný případ volit? Které okna se vyplatí použít a jaké jsou mezi nimi rozdíly? Jak efektivně zastínit okna proti přehřívání v letním období, abychom si současně v zimě příliš neubírali solárních zisků? Která vzduchotechnická jednotka je výhodnější? Podobných otázek se během projektu vynořují desítky a odpověď na ně lze dostat jednoduše vytvořením rychlých variant ve výpočtu PHPP. Energetická optimalizace tvoří dobrý základ pro ekonomicky optimální řešení. Současně slouží jako prostředek získání cenných zkušeností, kde se okamžitě projevuje důsledek našich rozhodnutí.

7. Novinky v programu PHPP 8.5 CZ oproti verzi PHPP 2007 CZ

Centrum pasivního domu vydalo letos překlad verze 8.5 (2013), která doznala vícero změn proti už víc než pět let staré verzi 2007. Nové vydání PHPP zavádí množství nových nebo

vylepšených výpočtů a přináší řadu úprav a novinek ve struktuře zadávání, v listech i v manuálu. Celkově je verze 8.5 lépe uspořádána podle logiky zadávání, kde byly související položky sdruženy (např. původně dělení letní a zimní stínění se nově nachází v jednom listu). Z řady novinek a změn lze vybrat tyto, které považuji za největší a nejzásadnější:

List U-hodnoty – přibyla možnost pomocného výpočtu tepelné vodivosti dutin s reflexními vrstvami a pro hodnocení nevytápěné půdy

List Plochy – orientace oken byla přesunuta do listu plochy, kde je možné lépe zhodnotit orientaci obvodových konstrukcí pro letní přehřívání

List Zemina – přehlednější zadávání a je možné zadat více typů podlahových desek, jako např. u částečného podsklepení, takže se automaticky vypočítá průměrný číselník teplotní redukce.

List Prvky – novinka v PHPP - obsahuje seznamy výrobků a konstrukcí, např. oken, zasklení, stavebních systémů, větracích a kompaktních jednotek, certifikovaných PHI. Je přehledně propojen odkazem s ostatními listy.

List Větrání – umožňuje zadat víc větracích jednotek (pro vícezónové objekty)

List Vytápění – uvažuje už pouze s Měsíční metodou jako hlavní možností pro výpočet energetické bilance, doplněn bilanční graf

List Větrání-L – přepracovaný list, doplněno vícero možností by-passů a přehlednější zadávání letního větrání, které bylo v několika listech

List Fotovoltaika – Nový list pro odhad produkce elektřiny fotovoltaickým systémem, který se dnes často používá

List Zisky – počítá s jinými tepelnými zisky v létě a zimě, v létě jsou navíc zohledněny ztráty rozvodů teplé vody a zásobníku

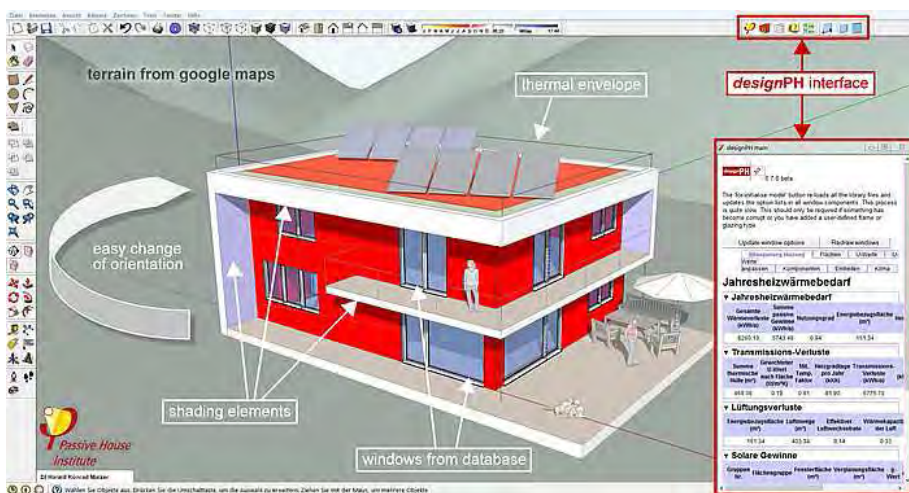
List TČ a TČ-Země – novinky pro výpočet bilance tepelného čerpadla včetně stanovení potřebného sezónního topného faktoru pro všechny typy tepelných čerpadel. Zároveň je možné posoudit návrh kolektoru nebo vrtu dle podloží a případně i rizika vyčerpání podloží.

Dalšími novinkou je možnost EXPORTU/IMPORTU dat všech vstupních hodnot. Použitelné je zejména při přenosu hodnot do prázdného PHPP nebo mezi jazykovými verzemi. Nový je i nástroj Nastavení profilů, který umožňuje uživateli nastavit vlastní profil zobrazování listů.

8. Budoucnost navrhování – designPH

Passivhaus Institut připravil nový plugin v programu SketchUp pro vizualizaci dat a předběžné ověření budov v programu PHPP. designPH zjednodušuje zadávání dat do systému a kromě toho také poskytuje uživateli předběžnou ukázkou chování budovy při různých teplotách.

Nově vytvořený plugin využívá heuristické analýzy k rychlým propočtům teplotních vlastností používaných materiálů, místností a navazujících zón domu, což samozřejmě šetří čas prvotních kalkulací. Všechna data je ale možné zadat ručně. Program ukládá data o tepelných ztrátách a plochách, takže je můžete jednoduše exportovat do PHPP. Systém taky analyzuje separátně každé okno z hlediska klíčových stínících proměnných, s nimiž opět můžete kalkulovat v PHPP.



Obr. 6 Ukázka prostředí nástroje designPH jako pluginu pro SketchUP. (Zdroj: PHI)

9. Závěr

Nástroj PHPP opravdu poskytuje projektantům oporu při obhajobě energeticky úsporných řešení a slouží k vytvoření funkčních a vyladěných projektů. Více funkcí je velice důležitých a umožňuje zabezpečit klientovi vysokou míru komfortu jak v zimě, tak v létě. Obrovskou výhodou jsou přesné a ověřené algoritmy na stovkách měřených objektů a přesná klimatická data kompletně pokrývající Českou republiku. Celkově se bezpochyby jedná o nejvhodnější návrhový nástroj pro pasivní domy, který je na trhu k dispozici.

„*designPH*“ – plugin pro Trimble Sketchup

Modelovací 3D nástroj pro zadávání geometrie budov do PHPP

David Edwards, Londýn; Harald Konrad Malzer, Innsbruck
Anichstrasse 29, 6020 Innsbruck; designph.info@phi-ibk.at

Současná generace architektů a projektantů je s 3D projekčními nástroji výborně obeznámena, nicméně otázka energetické efektivity hraje v úvodních fázích procesu projektování jen minoritní roli a často se bere v potaz až pozdě. Důsledkem jsou pak ne právě optimální detaily a složitá řešení s vysokými výslednými náklady. Pro projektování nízkoenergetických pasivních domů byl vyvinut program PHPP coby detailní a kvalitní nástroj pro provádění tepelných výpočtů. Zadávání geometrických údajů jako jsou povrchy, okna a stínící prvky je však náročné a může vést ke vzniku chyb. Vizuální zpětná vazba by práci s nástrojem nejen zpříjemnila, ale umožnila i kontrolu chyb. Tato myšlenka vedla ke vzniku pluginu ***designPH***, který je kombinací známého 3D projekčního nástroje SketchUp a kvalitních výpočtů PHPP. Otázka energetické efektivity se tak dostává do popředí už ve chvíli základního návrhu.

1. Popis

Plugin *designPH* vyvinul Passive House Institute (PHI) s cílem vytvořit 3D modelovací rozhraní pro zadávání rozměrů a tvarů budov do PHPP. Nástroj přináší dvě výhody: zjednodušuje proces zadávání dat do PHPP a poskytuje předběžnou zpětnou vazbu o efektivitě návrhu v rámci programu SketchUp.

2. Analýza

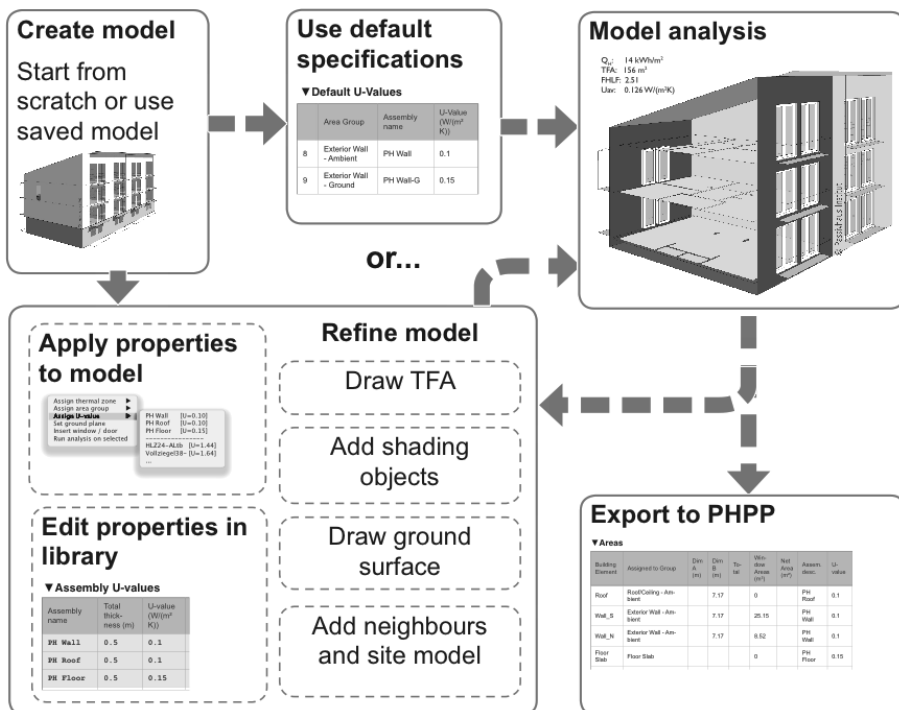
Geometrie modelu je díky využití některých automatických analytických funkcí doplněná o tepelné vlastnosti. Kvůli úspoře času při zadávání využívá nástroj heuristický algoritmus, jímž stanovuje typy prvků, teplotní zóny a skupiny ploch, ty ale může uživatel v případě potřeby změnit. Shromáždí se externí plochy tepelných ztrát a vypočítaná podlahová plocha a zformátují se pro export do PHPP. Proveďte se analýza každého okna kvůli identifikaci externích stínících objektů, které se pak exportují jako vstupní parametry každého ze tří klíčových typů zastínění do PHPP (boční, předsazený a horizontální objekt).

3. 3D rozhraní pro PHPP

Funkce export uloží data modelu do souboru PPP, což je formát, který PHI vyvinul pro sdílení dat. Ten je pak možné naimportovat do modelu PHPP. Tímto postupem se dá 3D digitální model snadno zkonvertovat do PHPP. Po importu modelu jsou hlavní data ploch, oken a stínících objektů v podstatě kompletní. Umožňují rychlý výpočet tepelné spotřeby konkrétního prostoru, který nevyžaduje rozsáhlé přímé zadávání dat. Výhodou tohoto přístupu oproti zadávání rozměrů přímo do PHPP je v první řadě úspora času a kromě ní i možnost na 3D modelu vizuálně ověřit, zda byly všechny ochlazované plochy započítány správně.

4. Návrhový nástroj s iterací

Další funkcí nástroje je, že 3D modelovací prostředí uvádí zjednodušenou energetickou bilanci. Tím vytváří efektivnější iterační proces umožňující uživateli získat okamžitou představu o energetickém chování budovy a změnit části nebo prvky s neuspokojivými výsledky ještě před exportem do PHPP k vyladění a ověření konstrukce.



Obr. 1: Možné postupy práce v nástroji designPH demonstrující iteriční možnosti projektování

Create model = Vytvoření modelu

Start from scratch or use saved model = Od začátku nebo s využitím již uloženého modelu

Use default specifications = Použití výchozí specifikace

Default U-values = Výchozí součinitele prostupu tepla U

Area group = Skupina ploch

Assembly name = Název sestavy

U-value (W/m²K) = Sočinitel U (W/m²K)

Exterior wall - ambient = Ochlazovaná obálka - okolní prostředí

Exterior wall - ground = Ochlazovaná obálka - zemina

Model analysis = Analýza modelu

or... = nebo...

Apply properties to model = Použití vlastností na model

Edit properties in library = Úprava vlastností v knihovně

Assembly U-values = Součinitele U v sestavě

Assembly name = Název sestavy

Total thickness (m) = Celková tloušťka (m)

Refine model = Zpřesnění modelu

Draw TFA = Vykreslení celkové energeticky vztažené plochy

Add shading objects = Přidání stínících objektů

Draw ground surface = Vykreslení terénu

Add neighbours and site model = Přidání sousedů a modelu stavebního místa

Export to PHPP = Export do PHPP

5. Metodika výpočtů

V prostředí programu SketchUp provádí *designPH* zjednodušený výpočet energetické bilance. Ten je založen na stejných konvencích jako sezónní metodav programu PHPP, jen s několika zjednodušeními.

5.1. Zadávání a výběr dat uživatelem

Plochy povrchů – plochy zadává uživatel graficky vykreslením 3D modelu. Algoritmus pro automatickou analýzu pluginu *designPH* zařadí každou plochu do skupiny ploch (pomocí stejné nomenklatury jako v PHPP) a příslušný výchozí součinitel prostupu tepla U . Tyto hodnoty může uživatel upravit změnou přiřazení. Okna se vkládají jako předdefinovaný parametrický komponent, který obsahuje odkazy k vyhledání příslušných tepelných vlastností v interní knihovně komponentů.

Klimatická data – *designPH* pracuje s ročními klimatickými daty, což je pro prvotní indikaci energetické bilance dostatečně přesné. Obsahuje množství reprezentativních sad klimatických dat, nicméně (k lednu 2014) tato data nejsou tak obsažná jako data v PHPP. Další sady klimatických dat lze vytvořit výběrem požadované datové sady v PHPP (nebo zadáním uživatelských dat) a zkopírováním dat z buněk *N6-N8*, *N26-N29* označením „Převod na sezónní metodu“. Budoucí verze *designPH* budou umožňovat vkládání dodatečných sad klimatických dat.

Knihovna prvků – z vestavěné knihovny prvků lze volit rámy oken, zasklení a neprůhledné sestavy. Do vnitřního výpočtu se přenesou odpovídající hodnoty U , g , ψ a šířky okenního rámu. *DesignPH* obsahuje aktuální sadu (leden 2014) certifikovaných prvků, zadávat lze rovněž uživatelem definované prvky, a to přes vestavěný kalkulátor hodnot U .

5.2. Výpočet tepelné bilance

Tepelné ztráty prostupem – z modelu se automaticky pro každou skupinu ploch spočítá celková plocha povrchů. Pro každý povrch se pak hodnoty součinitele prostupu tepla U převezmou buď z automatických, nebo uživatelem definovaných sestav. Redukční faktory se vyhledávají v přiřazené skupině ploch. V současnosti používá *designPH* pro zeminu redukční faktor s výchozí hodnotou 0,6. V budoucnu snad bude k dispozici podrobnější konfigurace. Redukč-

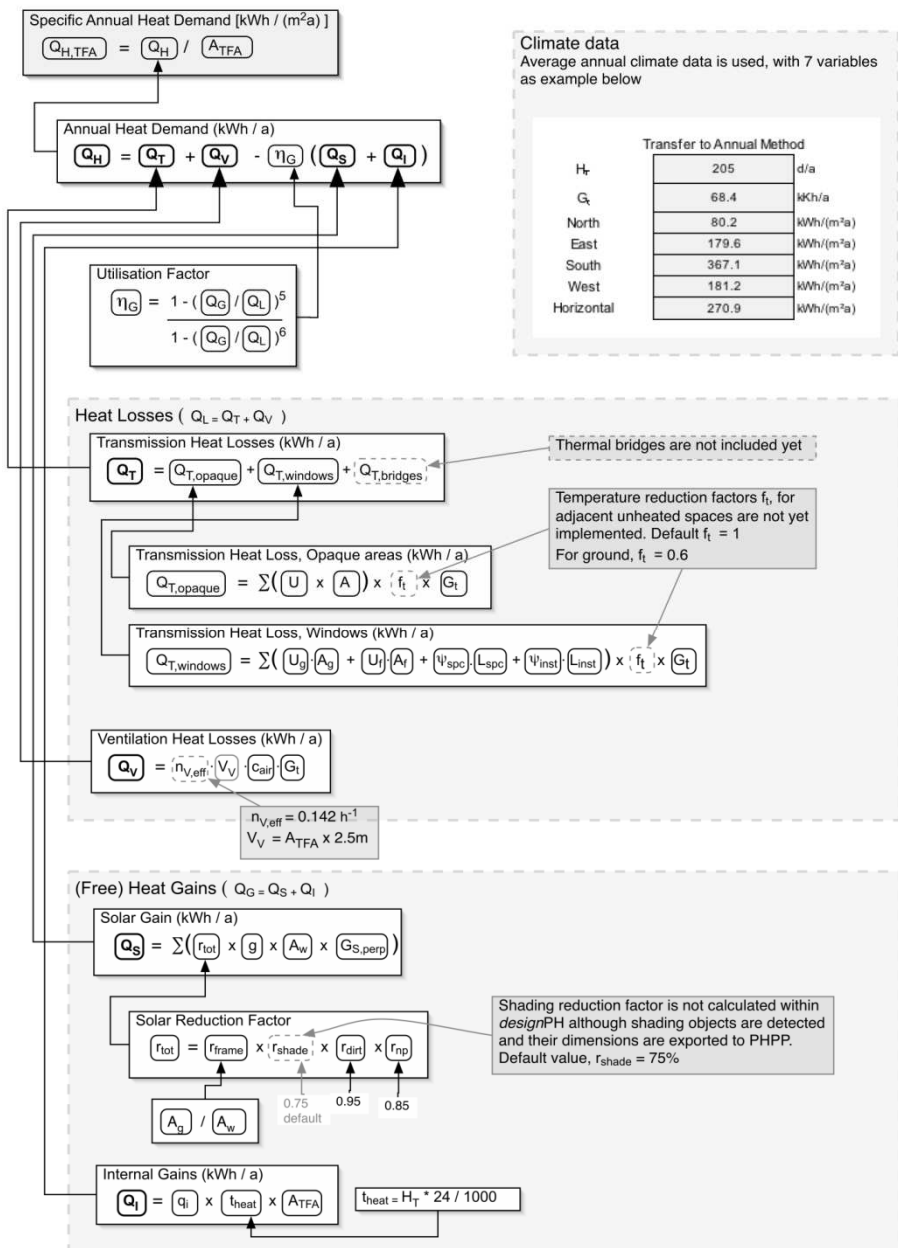
ní faktory teploty k zohlednění krycího vlivu okolních objektů jako jsou garáže, verandy a nevytápěné sklepy nejsou podporovány, i ty budou předmětem vývoje. Pro export z nástroje *designPH* je tepelným mostům možné přiřadit skupinu ploch, nejsou ale zatím zahrnuty do výpočtu tepelné bilance.

Tepelné ztráty větráním – se počítají za předpokladu, že se používá systém nuceného větrání s rekuperací tepla a že je dosažitelná minimální úroveň neprůvzdušnosti pasivního domu. Je počítáno rovněž s rezervou na ztráty v rozvodech. Podrobnosti viz *obr. 2*. Budoucí verze *designPH* budou pravděpodobně umožňovat další konfiguraci těchto hodnot, a to buď formou volitelné funkce „nastavení pro experty“ nebo volbou předdefinovaných konfigurací vhodných pro již existující prvky a projekty EnerPHit.

Solární tepelné zisky v zimě – se počítají z hodnot ročního kolmého záření převzatých z klimatických dat. Stejně jako v PHPP se aplikuje redukční faktor pro rám, znečištění a nekolmé záření. Verze 1.0 pracuje u redukčního faktoru zastínění s výchozí hodnotou 75 %, očekává se ale, že ve verzi 2.0 bude mít *designPH* pro redukci zastíněním implementován algoritmus z PHPP.

Solární tepelné zisky v létě – aktuální verze *designPH* s letními solárními tepelnými zisky nepočítá, indikace přehřívání tedy není součástí programu. Započítání těchto zisků bude zváženo pro budoucí verzi.

Vnitřní tepelné zisky – počítají se jednoduše jako násobek hodnoty $2,1 \text{ W/m}^2$, celkové podlahové plochy a topného období převzatého z ročních klimatických dat.



Obr. 2: Metodika výpočtů v designPH; verze 1.0 (01/2014)

Specific Annual Heat Demand = měrná roční potřeba tepla na vytápění

Climate data = Klimatická data

Average annual climate data is used, with 7 variables as example below = Používají se průměrná klimatická data se 7 níže uvedenými proměnnými

Annual Heat Demand = Roční potřeba tepla na vytápění

Transfer to Annual Method = Převod na sezónní metodu

North, east, south, west, horizontal = Sever, východ, jih, západ, horizontální

Utilisation factor = Faktor využití

Heat losses = Tepelné ztráty

Transmission Heat Losses = Tepelné ztráty prostupem

opaque = neprůhledné

windows = okna

bridges = mosty

Thermal bridges are... = Tepelné mosty zatím nejsou zahrnuty.

Opaque areas = neprůhledné plochy

Temperature reduction factors... = Redukční faktory teploty ft pro sousedící nevytápěné prostory nejsou zatím započítány. Výchozí ft = 1, pro zeminu ft = 0,6.

Ventilation Heat Losses = Tepelné ztráty větráním

(Free) Heat Gains = Tepelné zisky (nevyužitelné)

Solar Gain = Solární zisky

Solar Reduction Factor = Solární redukční faktor

Shading reduction factor is... = designPH s redukčním faktorem zastínění nepočítá, i když stínící objekty detekuje a jejich rozměry exportuje do PHPP. Výchozí hodnota rshade = 75%.

Internal Gains = Vnitřní zisky

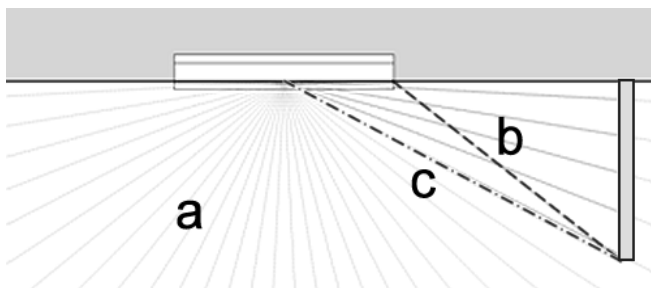
6. Detekce zastínění

K automatické detekci stínících objektů se používá jednoduchý algoritmus sledování paprsků. Kvůli kompatibilitě s PHPP se stínící objekty dělí na tři typy: horizontální, předsazené a boční. Počátečním bodem pro tyto testy je u horizontálních a předsazených objektů střed parapetu, u bočního zastínění zleva nebo zprava střed otvoru. Vypočítá se referenční bod na okraji otvoru a dle potřeby přidá šířka rámu a hloubka stínícího objektu k získání rozdílu mezi hranou zastínění a okrajem zasklení pro potřeby exportu do PHPP. Pro vizuální potvrzení procesu se do modelu vykreslí od referenčního bodu k detekovanému bodu okraje zastínění tečkovaná čára (**b** v obr. 3 a 4).

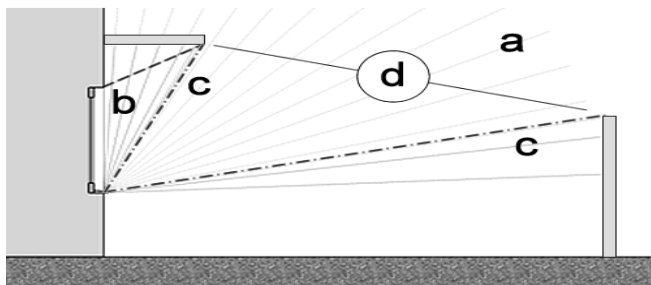
6.1. Postup detekce

Kolmo na rovinu okna se provede skenování v horizontální i vertikální ose. Paprsky se sledují v intervalech po přibližně 6 stupních. Tím se odhalí hlavní stínící objekty, detekce objektů menších, než je toto úhlové rozlišení, však nemusí být správná. Výsledky skenování se analy-

zují a mezi detekovanými objekty vyhledá nejširší mezera – předpokládá se, že k obloze. Poté se provede binární vyhledávání k pročištění výsledků a nalezení stínící hrany každého ze stínících komponentů (horizontálního, přesazeného, levého bočního a pravého bočního).



Obr. 3: Detekce bočního zastínění (půdorys)



Obr. 4: Detekce horizontálního a přesazeného zastínění (řez)

a ... Skenovací přímky

b ... Referenční přímky zobrazené v modelu

c ... Okraj zastínění upřesněný binárním vyhledáváním

d ... Nejširší mezera (obloha)

6.2. Použitelnost metody

Metoda funguje spolehlivě tam, kde se překážky dají snadno rozdělit do tří jednoznačných kategorií jako horizontální, přesazené a boční zastínění. Přesazené a horizontální překážky se ale detekují pouze tehdy, když protínají vrislou rovinu procházející středem okna a kolmou na rovinu okna. Nespojité překážky, jako jsou stromy a průběžné překážky pod jinými než pravými úhly k oknu proto nemusejí být detekovány. V takových případech bývá nutné vymodelovat překážky zjednodušeným způsobem, aby je systém dokázal detekovat jako odpovídající formu zastínění.

Objekty s úhlovým rozlišením nižším než 6 stupňů nemusejí být správně detekovány.

V situacích s hustým zastíněním, kde nevzniká jedna dominantní mezera s výhledem na oblohu nebo kde vůbec není viditelnost oblohy, může být pro algoritmus obtížné detekovat objekty rozdělit na správné komponenty.

6.3. Další vývoj

Přesnosti procesu může pomoci doplňkové skenování při vyšším rozlišení a použitelnost jiných než pravých úhlů, nicméně i tak zůstanou případy, v nichž bude těžké rozdělit objekt do tří komponentů bez zásahu uživatele.

Robustnějším řešením, než snaha zjednodušeně dělit objekty na horizontální, předsazené a boční, by bylo vytvořit pro každé okno „stínovací masku“ viditelné oblohy a tu pak exportovat jako předem vypočítaný redukční faktor zastínění.

7. Závěr

Poslední vývoj nástroje *designPH* ukazuje, že použití 3D modelu jako základu pro návrh a plánování pasivních domů je pro uživatele přínosné a praktické. Slibný je i jeho další vývojový potenciál v oblastech, kde je vývoj potřebný, stejně tak jako implementace mnoha dalších funkcí (např. integrace technických zařízení budov, analýza urbanistické efektivity a mnoha dalších). Vynikající zpětná vazba pro uživatele (i v případě složitých tvarů) a aktivní ochrana proti chybám pomocí důsledné automatizované analýzy modelu mohou pomoci celý proces navrhování energetické efektivity urychlit.

8. Reference

[PHI 2014] *designPH*, verze 1.0, (leden 2014), dostupný na www.designPH.org

[PHI 2013] Feist a kolektiv, *Passivhaus Planning Package*, verze 8.

***“designPH”* – a plugin for Trimble Sketchup**

3D modelling tool to input building geometry into PHPP

*David Edwards, London; Harald Konrad Malzer, Innsbruck
Anichstrasse 29, 6020 Innsbruck; designph.info@phi-ibk.at*

The present generation of planners is very familiar with 3D design tools, but the issue of energy efficiency plays a minor role in the initial design process and is often taken into consideration too late. This leads to suboptimal details and complex solutions with high end-costs. In order to plan highly efficient passive houses, the PHPP was developed as a detailed high quality tool for thermal calculations. The input of geometrical data, like surfaces, windows and shading elements, is challenging and can lead to errors. Therefore, a visual feedback makes the tool more user-friendly and facilitates the control of mistakes. This ultimately resulted in ***designPH***, a combination of the well-known 3D designing tool SketchUp and the high quality calculation of PHPP. Thus, the issue of energy efficiency comes to the fore, right in the moment of designing.

1. Description

The *designPH* plugin has been developed by PHI to provide a 3D model interface for entering building geometry into PHPP. The benefits of the tool are two-fold; firstly it will simplify the process of entering data into PHPP and secondly it can provide preliminary feedback on the performance of the design within SketchUp.

2. Analysis process

The model geometry is marked-up with thermal properties, with the aid of some automatic analysis functions. The tool uses an heuristic algorithm to infer element types, temperature zones and area groups, in order to save input time, but these can be over-ridden by the user if required. The external heat loss areas and treated floor area are collected and formatted for export to PHPP. Each window is analysed to identify external shading objects and these are exported as input parameters for each of the three key shading types in PHPP (reveal, overhang and horizontal object).

3. A 3D interface for PHPP

The export function saves model data to a PPP file, the interchange format developed by PHI, which can then be imported into a PHPP model. Through this process, a 3D digital model can easily be converted to a PHPP workbook. After importing a model, the primary data on the Areas, Windows & Shading sheets will be mostly complete, enabling a result for specific space heat demand to be calculated quickly, without the need for much direct data-entry. The advantages of this approach over entering the geometry directly into PHPP are, firstly that it should save time on data-entry and secondly that it is possible to visually verify in the 3D model that all the heat-loss surfaces have been correctly taken into account.

4. Iterative design process

An additional feature of the tool is that a simplified energy balance is provided within the 3D modelling environment. This facilitates a more effective iterative design process, allowing the user to get an immediate idea of the building's energy performance, and rule out poorly performing design options, before exporting to PHPP to fine-tune the design and make the verification.

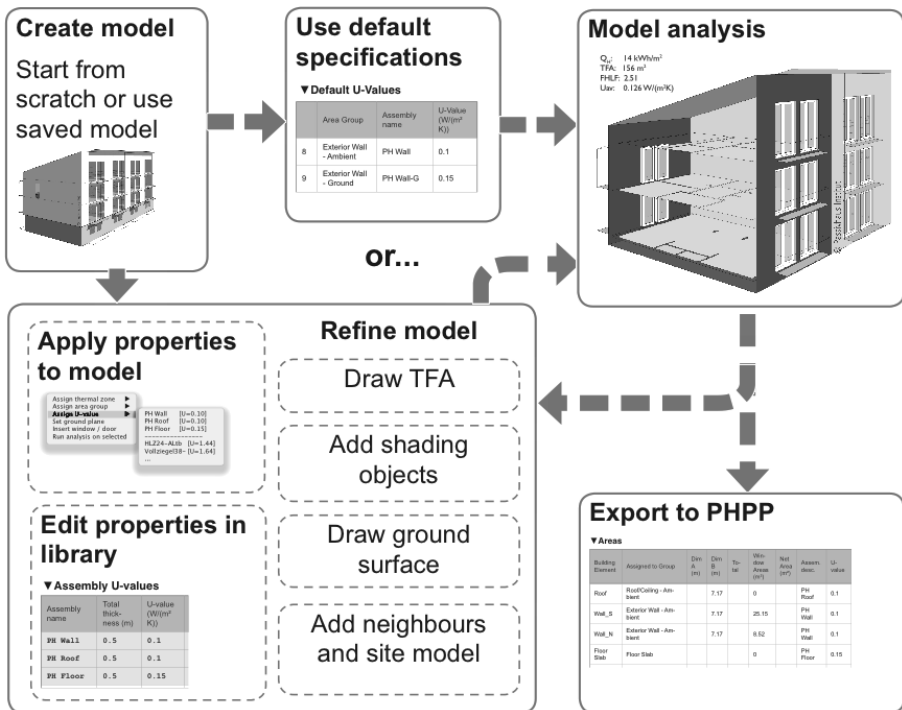


Figure. 1: Possible workflows in designPH, demonstrating iterative design capabilities

5. Calculation methodology

A simplified energy balance is calculated by *designPH* within the SketchUp environment. This is based on the same conventions as the Annual Method in PHPP, with some additional simplifications.

5.1. User input and selections

Surface areas – The input of surface areas is provided graphically by the user drawing a model in 3D. The *designPH* automatic analysis algorithm assigns a thermal area group to each surface (using the same nomenclature as in PHPP) and a corresponding default U-value. These values can also be over-riden by user assignment. Windows are inserted using a pre-defined parametric component, which provides links to lookup the thermal properties from the internal components library.

Climate data – Annual climate data is used in *designPH*; this is of sufficient accuracy to give a preliminary indication of the energy balance. A number of representative climate data sets

are supplied with *designPH*, but (as of Jan 2014) these are not as comprehensive as in PHPP. Additional climate data sets can be generated by selecting the desired data set in PHPP (or inputting user data), then copying the data from cells N6-N8, N26-N29 labelled “Transfer to Annual Method”. Future versions of *designPH* will allow for the input of additional climate data sets.

Components library – Window frame, glazing units and opaque assembly types can be selected from the built-in components library and the corresponding U-values, g-values, psi-values and window frame widths are transferred to the internal calculation. The current set of Certified Components (as of Jan 2014) is provided with *designPH* and user-defined components may also be entered, including via a built-in U-value calculator.

5.2. Heat balance calculation

Transmission heat losses – The total surface area for each area group is automatically summed from the model. U-values are then taken from either automatic or user-assigned assemblies for each surface. Temperature reduction factors are looked up from the assigned area group. Currently *designPH* uses a default value of 0.6 for the ground reduction factor. More detailed configuration of this may be provided in future. Temperature reduction factors to account for the sheltering effect of adjacent structures (such as garages, porches or unheated basements) are not supported, again this will be a subject for future development. Thermal bridges can be assigned an area group for export from *designPH* but are not yet included in the heat balance calculation.

Ventilation heat loss – is calculated under the assumption that MVHR is being used and the Passivhaus minimum level of air-tightness is achievable. An allowance is also made for duct losses. See *fig. 2* opposite for full details. Future versions of *designPH* are likely to allow further configuration of these values, either through optional “expert settings” or by selection of pre-defined configurations suitable for existing stock and EnerPHit projects.

Winter solar heat gains – are calculated from the annual perpendicular radiation values provided in the climate data. A reduction factor for frame factor, dirt and non-perpendicular radiation is applied as in PHPP. Version 1.0 uses a default value of 75% for the shading reduction factor, however it is anticipated that the shading reduction algorithm from PHPP will be implemented in *designPH* Version 2.0.

Summer *solar heat gains* – The current version of *designPH* makes no calculation of summer solar heat gains, therefore an indication of over-heating is not provided. This will be investigated for a future version.

Internal heat gain – is simply calculated on the basis of 2.1 W/m^2 of TFA, multiplied by the heating period provided in the annual climate data.

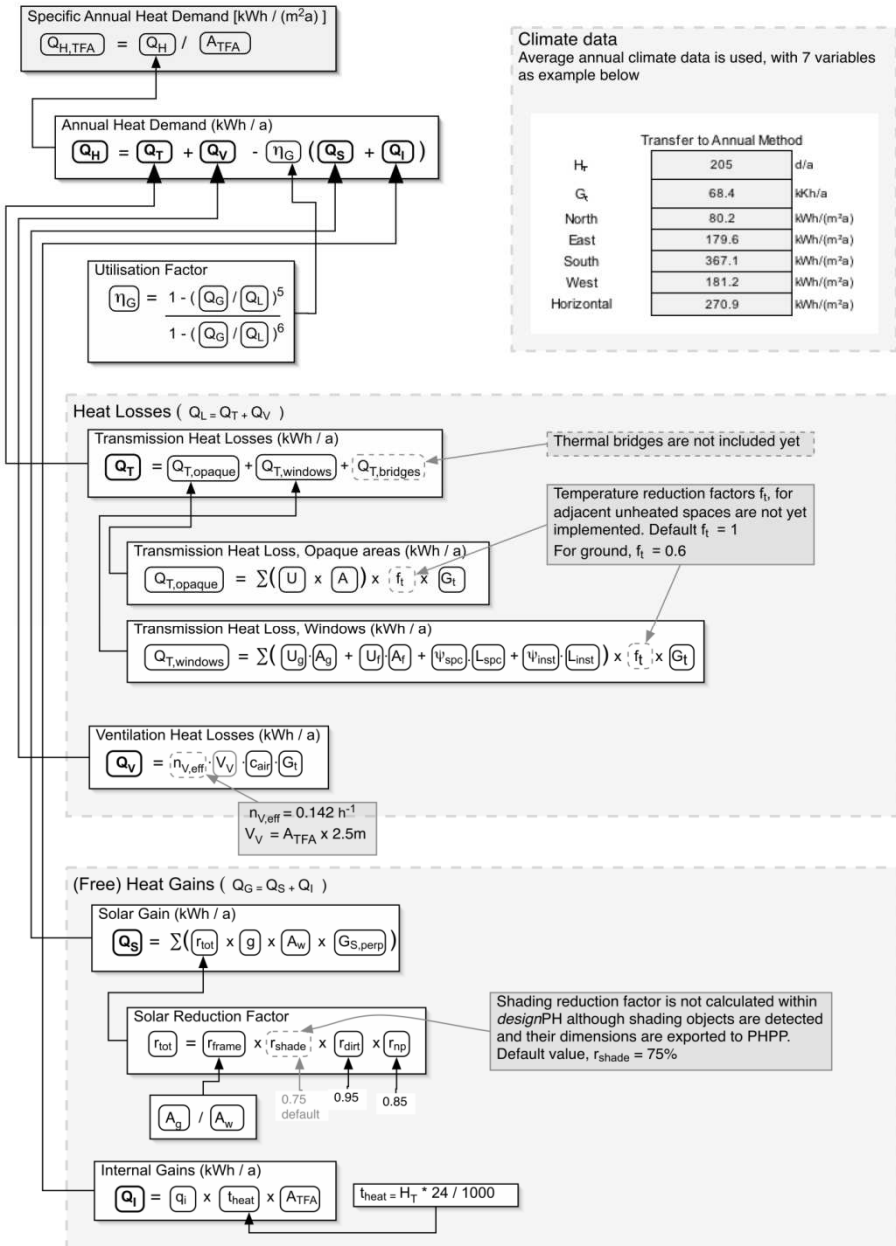


Figure 2: designPH calculation methodology; Version 1.0 (01/2014)

6. Shading detection

A simple ray-tracing algorithm is used to perform automatic detection of shading objects, for compatibility with PHPP, these are resolved into three types: horizontal objects, reveal shading and overhang shading. The origin point for these tests is the centre of the cill for horizontal and overhang objects and the centre of the opening for the left and right reveal shading. A reference point on the edge of the opening is calculated and the frame width and reveal depth are added as appropriate to give the offset from the shading edge to the glazing edge, for export to PHPP. For visual confirmation of the process, a dotted line (**b** in *figs. 3 & 4*) is plotted in the model from the reference point to the detected point on the shading edge.

6.1. Detection process

A pre-scan is made in both the horizontal and vertical axes, perpendicular to the plane of the window. Rays are traced at approximately 6 degrees intervals. This will usually pick up the dominant shading objects, but objects smaller than this angular resolution may not be correctly detected. The results of the pre-scan are analysed to find the largest gap between detected objects; this is assumed to be the sky. A binary search is then performed to refine the result and find the shading edge for each shading component (horizontal, overhang, left and right reveal).

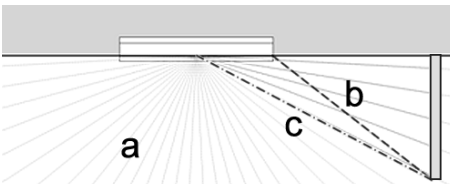


Figure 3: Reveal shading detection (plan view)

- a** ... Pre-scan lines
- b** ... Reference lines shown in model
- c** ... Shading edge refined by binary search
- d** ... Largest gap (sky)

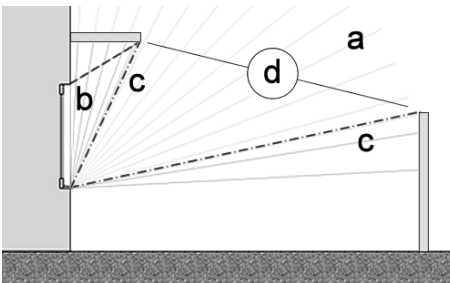


Figure 4: Horizontal and overhang shading detection (section view)

6.2. Limitations of the method

The method works reliably when obstructions can easily be resolved into the three distinct categories of horizontal, overhang or reveal shading. However, overhangs and horizontal obstructions will only be detected if they intersect the vertical plane passing through the centre of the window and perpendicular to the plane of the window. Therefore intermittent obstructions such as trees, and continuous obstructions at non-perpendicular angles from the window may not be detected. In these cases, it may be necessary to model obstructions in a simplified manner in order for them to be detected as the appropriate form of shading.

Objects having an angular resolution of less than 6 degrees may not be correctly detected.

In densely shaded situations - where there is not one dominant gap which gives a sky view or where there is no view of the sky - it can be difficult for the algorithm to resolve the detected objects into the correct components.

6.3. Further development

Performing additional scans at a higher resolution and non-perpendicular angles may help to improve the accuracy of the process, however there will still be situations where it is difficult to resolve the objects into the three components without the need for user intervention.

A more robust solution would be to create a 'shading mask' for the sky visible to each window, and export this as a pre-calculated shading reduction factor, rather than attempting to resolve into the simplified model of horizontal, overhang and reveal shading objects.

7. Final

The recent development of *designPH* shows that the use of a 3D model as a basis for the development and planning of passive houses is beneficial and helpful for the user. However, the development potential of *designPH*, in those areas where further development is needed, as well as in the implementation of many additional features (e.g. integration of building services, urban efficiency analysis, and much more) is promising. The excellent visual feedback to the user (even with complex shapes), as well as the active fault avoidance by means of a rigorous automated analysis of the model, can help to accelerate the whole design process in the field of energy efficiency.

8. References

- [PHI 2014] *designPH* version 1.0, (Jan 2014), available at www.designPH.org
- [PHI 2013] Feist et al, *Passivhaus Planning Package*, version 8.

DESATERO PASIVNÍHO DOMU

Splnění dole uvedených principů tvoří základ pro dosažení pasivního standardu a zajištění vysokého komfortu, který pasivní domy poskytují. Pokud je jedna a víc odpovědí „ne“, lze předpokládat, že se nejedná o pasivní dům.

1. Má dům převahu oken na jižní stranu?

☐ ano ☐ ne

2. Kolik tepelné izolace je použito v stěnách a ve střeše?

☐ ano ☐ ne

- stěna min. 30 cm ($U < 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) = ano

- střecha min. 40 cm ($U < 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) = ano

3. Jaká tloušťka izolace je použita v podlaze?

☐ ano ☐ ne

- min. 25 cm = ano

4. Byla řešena vzduchotěsnost domu a jak?

☐ ano ☐ ne

- těsnící pásy / desky / fólie = ano

5. Jsou řešeny tepelné mosty a jak?

☐ ano ☐ ne

- souvislá vrstva izolace, příp. využití speciálních komponentů, posouzení detailů výpočtem = ano

6. Jaká okna jsou použita a jakou U_w hodnotu dosahují?

☐ ano ☐ ne

- okna s trojskly a zateplený rám = ano

- $U_w < 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ = ano

7. Je dům chráněn proti letnímu přehřívání a jak?

☐ ano ☐ ne

- přesahy střechy / vnější žaluzie / markýzy / pergoly = ano

8. Je kontrolována kvalita provedení domu a jak?

☐ ano ☐ ne

- Blowerdoor test (test těsnosti), příp. i termovize = ano

9. Jak je řešeno větrání domu?

☐ ano ☐ ne

- vzduchotechnika (větrání) s rekuperací tepla = ano

10. Byl projekt domu optimalizován programem PHPP včetně výpočtu měrné potřeby energie na vytápění a hodnoty primární energie?

☐ ano ☐ ne

Dotazovaná firma / dům:

Mám zájem o zasílání informací: ☐ ano ☐ ne

Jméno:

Email:

Dotazník byl sestaven nezávislou organizací Centrum pasivního domu. Případným zájemcům o stavbu PD může být vodítkem při výběru projektanta, příp. stavební firmy. Více informací o pasivních domech můžete nalézt na stránkách www.pasivnidomy.cz.

Pasivní dům je vysoce úsporný dům s minimálními provozními náklady, splňující vysoké nároky na komfort v zimě i v létě. Současně naplňuje cíle evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD II.), která předpokládá od roku 2020 se stavbou pouze téměř nulových domů.

Pasivní dům musí splňovat evropsky uznávané parametry stanovené Passivhaus Institutem v Darmstadtu:

Měrná roční potřeba tepla na vytápění	max. 15 kWh/(m ² a)
Neprůvzdušnost n_{50}	max. 0,6 hod ⁻¹
Měrná roční potřeba primární energie (na vytápění, ohřev teplé vody, pomocnou energii, osvětlení a spotřebiče)	max. 120 kWh/(m ² a)

Měrná roční potřeba tepla na vytápění udává kolik tepla je potřeba na vytápění jednoho metru čtverečního čisté podlahové plochy (bez započtení příček). Hodnota je vypočtena programem PHPP dle podmínek stanovených Passivhaus Institutem. V dotačním titulu „Zelená úsporám“ byla používána odlišná výpočtová metodika s hraniční hodnotou 20 kWh/(m²a). Stejně domy posouzené metodikou PHPP, však vycházejí v rozmezí 22–35 kWh/(m²a), což je výrazně horší než evropská kritéria.

Neprůvzdušnost n_{50} je určujícím parametrem pro vzduchotěsnost obálky. Hodnota říká, kolik vzduchu se za hodinu vymění netěsnostmi při určitém tlakovém rozdílu (50 Pa). Po utěsnění obálky se provádí kontrola kvality provedení, tzv. Blowerdoor test neboli test neprůvzdušnosti. Ventilátor nainstalovaný do otvoru dveří vytvoří přetlak nebo podtlak a měřicí jednotka vyhodnotí, kolik vzduchu prochází škvrami v obálce. U běžných domů bývá tato hodnota i 3,5 hod⁻¹ a více, což s sebou nese velké tepelné ztráty a riziko poškození konstrukce.

Měrná roční potřeba primární energie vyjadřuje množství energie, která je dle zvoleného zdroje energie použita z neobnovitelných zdrojů. Každý zdroj energie má svůj propočtový koeficient, například elektřina se násobí třemi díky neefektivní výrobě zejména z fosilních paliv. Hodnota primární energie dává i představu provozních nákladů dle zvoleného zdroje energie.

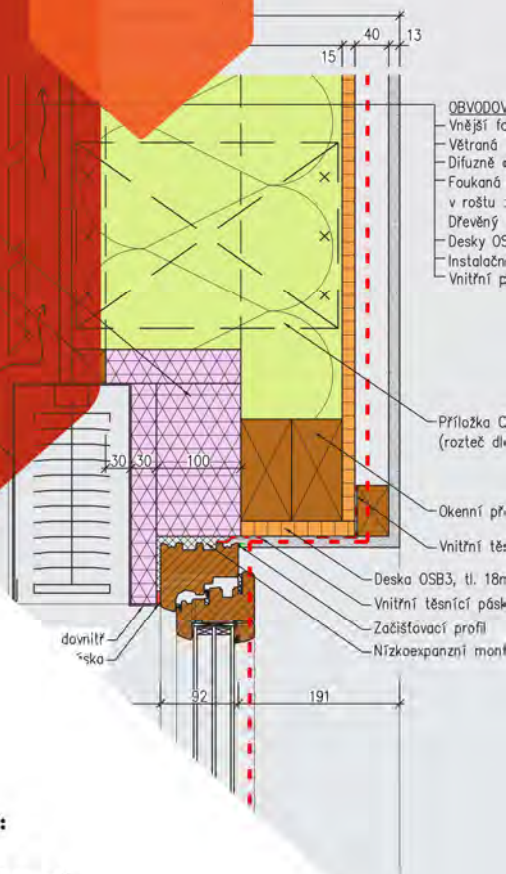
Součinitel prostupu tepla (U hodnota) udává kvalitu tepelně-izolačních vlastností konstrukcí. Čím je hodnota nižší, tím lépe prvky izolují. Pro pasivní rodinné domy jsou běžné součinitele prostupu tepla: podlaha 0,15 W/m²K (asi 25 cm izolace), stěna 0,12 W/m²K (asi 30 cm izolace), střecha 0,10–0,08 (asi 40 cm izolace). U oken je požadavek na hodnotu U_w (celého okna) max. 0,8 W/(m²K), což splňují zateplené rámy s použitím izolačních trojskel. Potřebné hodnoty pro konkrétní dům se mohou lišit dle tvaru domu, otočení, zastínění, druhu konstrukcí a použité izolace.

Tepelné mosty jsou místa v konstrukci, kde díky oslabení tepelné izolace nebo tvaru dochází k zvýšenému prostupu tepla (například rohy, balkon, napojení stěny na střechu či podlahu, apod.). Nejsou-li všechny detaily patřičně vyřešeny (s posouzením výpočtem), může dojít v oslabených místech ke snížení vnitřní povrchové teploty a následné kondenzaci vlhkosti.

PHPP (Passive House Planning Package) je mezinárodně uznávaný výpočtový program používaný pro návrh pasivních domů. Díky němu lze prvky domu jednoduše přizpůsobit, aby ve výsledku vyhověl podmínkám pasivního standardu. Svou přesností je nastaven pro pasivní a kvalitní nízkoenergetické domy, což je prokázáno stovkami naměřených hodnot hotových domů.

Řízené větrání s rekuperací tepla je komfortní systém, který se stará o neustálou výměnu vzduchu, kterou nelze okny zabezpečit v potřebné míře. Rekuperace neboli zpětný zisk tepla dokáže z odpadního teplého vzduchu zpětně využít až 90 % tepla. Výsledkem je stále čerstvý vzduch s minimálními tepelnými ztrátami, bez průvanu, prachu a zvýšené hluchosti.

NECHTE SI PŘIPRAVIT PODKLADY OD EXPERTŮ!



Odborníci z Centra pasivního domu vám zajistí:

-  Výpočet vlivu konstrukčních detailů, stanovení lineárních činitelů prostupu tepla ve 2D software
-  Optimalizace řešení s ohledem na stavební fyziku (povrchové teploty a riziko kondenzace vlhkosti) i cenu
-  Nezávislé posouzení detailů pro získání dotací Zelená úsporám (může významně napomoci získání dotace)
-  Pro firmy (výrobce stavebních materiálů, oken a dalších výrobků) nabízíme možnost zpracování celé sady detailů a prezentace na stránkách Centra pasivního domu.

Volně přístupné konstrukční detaily od Centra pasivního domu jsou k dispozici na adrese www.pasivnidomy.cz/detaily

**Máte zájem?
Kontaktujte nás!**

Centrum pasivního domu
info@pasivnidomy.cz
(+420) 511 111 810



PASIVNÍ DOMY 2014

31. ŘÍJNA – 1. LISTOPADU, BRNO

partneři konference:



hlavní mediální partner konference:



ISBN 978-80-904739-4-2



9 788090 473942