



Středoškolská technika 2011

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Termika budov

Lukáš Kotrba, Lukáš Dastych, Michal Habrcetl

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Kladno

Jana Palacha 1840, Kladno

Děkujeme panu Jánů Hýblovi, Ing. Jaroslavu Mlejnkoři a Ing. Ivě Bednařikové za technické rady, pomoc při sestavování dokumentu a prezentace, stavbě demonstračního zařízení a zapůjčení vlasového vlhkoměru.

ANOTACE

Cílem projektu je zjistit, jakým způsobem ovlivňují vlhké stavební materiály úniky tepla z domu. Vytvořili jsme měřicí zařízení, které ukazuje rozdíl mezi úniky tepla suchým a vlhkým stavebním materiálem. Zařízení bude sloužit pro technické měření stavebních firem.

Naše práce začala získávání informací o vlhkosti a jejích negativních účincích na dům a lidské zdraví. Měřili jsme hodnoty vlhkosti na konkrétním domu před a po vysušení objektu. Objekt byl vysušován pomocí studny. Abychom zjistili, kolik lidí má problémy s vlhkostí, vytvořili jsme anketu, která byla rozdána studentům naší školy a zveřejněna na internetu. Poté jsme zkonstruovali měřicí zařízení, které měří prostupnost tepla vlhkým a suchým stavebním materiálem. K měření se využívá peltierových článků a elektronických teplotních čidel.

Měřením jsme zjistili, že snížením vlhkosti zdiva o 12% se úniky tepla sníží o $0,5\text{W/m}^2$. Kontaktovala nás firma Skanska, která má zájem o výsledky našeho měření a další spolupráci. Práce na projektu dále pokračují, do studie chceme zařadit i tepelné čerpadlo a tím dále snížit náklady na vytápění.

Klíčová slova:

úspora; měřicí zařízení; tepelné úniky; stavební materiál; vlhkost

ANNOTATION

The project aims to determine how wet building materials affect heat leaks from the house. We have created a measuring device that shows the difference between heat leaks dry and damp building materials. The equipment will be used for technical measurement of construction firms.

Our work began by gathering information on humidity and its negative effects on human health and the house. We measured values of the moisture in the concrete building before and after draining facility. The building has been drained by wells. To find out how many people have problems with moisture, we have created a survey that was distributed to students of our school and published on the Internet. Then we constructed a measuring device that measures the flow of heat and dries wet building materials. To measure the we use of Peltier elements and electronic temperature sensors.

By measurements, we have found that reducing the moisture content of 12% masonry to reduce heat loss by 0.5 W/m². We contacted the company Skanska, which has an interest in the results of our measurements and other cooperation. Work is in progress on the project, we want to include in the study of the heat pump to further reduce heating costs.

Key words:

savings; measuring devices; heat leaks; building materials; moisture

Úvod

Tato studie se zabývá účinky vlhkosti a teploty, jdoucí od sklepa do obytných částí domů. Jak ovlivňují vlhké a studené zdi prostup tepla – náklady na vytápění. Možnosti, způsoby jakými chránit objekt proti vniku vlhkosti nebo zbavení se jí.

S nadměrnou vlhkostí staveb lidé bojují již dlouho. Ideální vlhkost se pohybuje mezi 45 a 60 % u vzduchu, okolo 3-5 % u zdí. Toho však ve většině případů nelze dosáhnout ve sklepních prostorách. Ze země se voda dostává do zástavby vlivem kapilárních sil a tím rozrušuje její strukturu a snižuje její tepelné izolační schopnosti. Vlhkost také škodí zdraví a na zdech s vysokou vlhkostí se mohou tvořit plísně, ty jsou špatně odstranitelné a je velmi pravděpodobné, že se po určité době znovu objeví. Naším cílem je tuto problematiku vyřešit a nejen vlhkost odstranit, ale využít jí ve prospěch domácnosti.

Metody

Začali jsme kontaktováním firem (Hydropol, Aquapol, Wigopol), jejichž produkty se zabývají odvlhčováním staveb metodou kataforézy. Kataforéza je metoda, která pomocí elektromagnetických vln naladěných na nízkou frekvenci „zatlačuje“ vodu zpátky do země a ruší kapilární síly. U této metody ale není stoprocentně zaručeno, zda li opravdu funguje a tak jsme ji chtěli vyzkoušet sami. Také proto jsme kontaktovali tyto firmy, abychom se dozvěděli údaje, které by nám pomohly k výrobě funkčního modelu na vysoušení zdí. Od firmy Wigopol jsme nedostali odpověď ani na jeden ze 3 e-mailů a firma Aquapol nás jen odkázala na své internetové stránky kde nalezneme všechny dostupné informace. Tím jsme s těmito firmami skončili, protože informace na jejich internetových stránkách byly pro tuto studii nedostačující. Tyto firmy ani s tím, že uveřejnění jejich technologie v projektu Enersol by pro ně byla vlastně reklama zadarmo, nechtěly uvolnit princip, na kterém jejich produkty fungují. Na naši otázku jak toto zařízení vlastně funguje, neodpověděl nikdo do takových detailů, aby se díky tomu dal postavit jednoduchý model. Jediný kdo s námi komunikoval, byl Ing. Ivan Slovenčík z firmy Hydropol. Princip funkčnosti systému Hydropol nám také pro účely naší studie neuvolnil, ale alespoň s námi komunikoval a zaslal všechny dokumenty, které nám mohl dát k dispozici (např. články publikované v odborných časopisech). Nakonec pro nedostatek materiálů jsme se těmito způsoby odvlhčování staveb rozhodli vůbec nezabývat.

Pokračovali jsme hledáním informací o vlhkosti jako takové a jakými způsoby ovlivňuje stavby, proto abychom se dostali co nejvíce do problematiky naší studie. Dále jsme hledali ostatní způsoby odvlhčování staveb, kterými jsme se i částečně následně inspirovali pro náš způsob. Těchto způsobů je na našem trhu i po „domácku“ udělatelných velice mnoho. S některými se musí počítat už při projektování a následné realizaci novostavby, ale jiné se dají využít nebo zkonstruovat na skoro kterémkoli domě. Pohybují se v různých cenových relacích (od několika tisíc až po sta tisíce). Jsou to například tyto: sanační omítky, elektroosmóza, elektroforéza nebo také kataforéza (způsob, na kterém jsou založeny systémy Hydropol, Aquapol, Wigopol), metody na systému vzduchových kanálků, injektáž, izolace, podřezávání zdiva, odvětrávání - systém větracích dutin (komůrkové zdivo). My jsme se

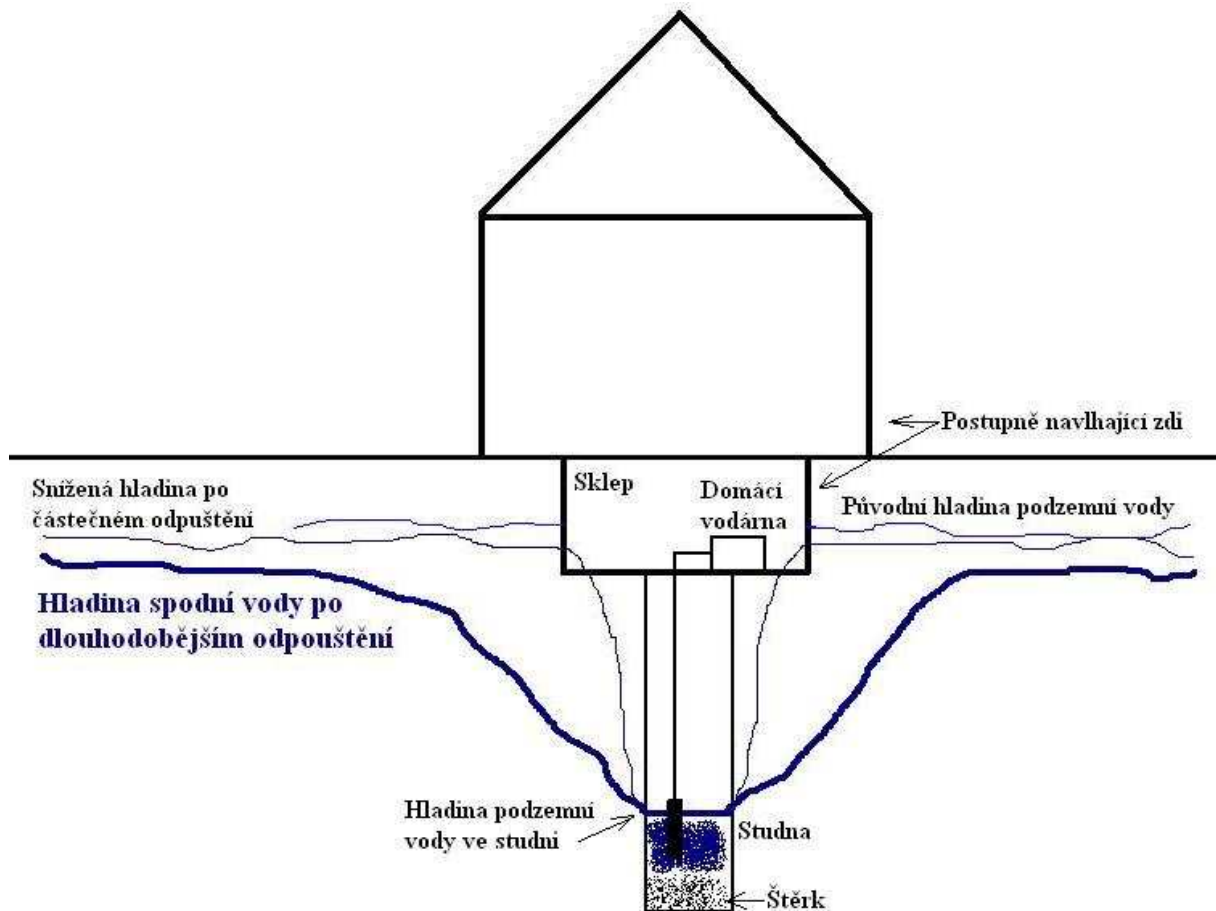
inspirovali především tímto způsobem: snížení hladiny spodní vody (depresní kužel - oblast, ve které se projevuje snížení hladiny vlivem odběru (odčerpávání) podzemní vody).

Vymysleli jsme vlastní metodu, která je založena na principu depresního kužele. Snažili jsme se zabývat odvlhčením staveb a přitom vlhkost využít pro ještě větší snížení nákladů na vytápění než když se jen sníží tepelná propustnost zdí vlivem snížení vlhkosti. Toho jsme chtěli docílit použitím tepelného čerpadla typu voda-voda. Tepelné čerpadlo potřebuje ale 2 studny, protože vracením vody zpět do stejné studny by voda při použití tepelného čerpadla zamrzla. U tohoto nápadu se nám ale moc nepodařilo dořešit problém 2. studny (tzv. vsakovací), proto jsme od nápadu odstoupili. Naší metodou je vyhloubení studny ve sklepě co nejbližší ke středu stavby a u nepodsklepených staveb například na zahradě zase co nejbližší ke středu a nejlépe na delší straně stavby cca 2,5 m od obvodní zdi (blíže není dovoleno kvůli statice domu a vyhláškám). Princip je takový: podzemní voda se stahuje do nejhlubšího volného prostoru (tam kde má voda co nejmenší odpor průtoku – v naší studii je to vykopaná studna). Když se udržuje určená hladina vody ve studni odčerpáváním, může se do tohoto nejnižšího místa stahovat další okolní podzemní voda, od které navlhá stavba. Pravidelným odčerpáváním se zbavujete nežádoucí podzemní vody a vzniká tzv. depresní kužel. Studna ve sklepě by měla být dosti hluboká (3 - 4 metry) a ta která je mimo stavbu dokonce 2 x tak hluboká aby snížení hladiny ve tvaru kužele obsáhlo celou stavbu – viz. obrázek (Snížování podzemní vody). Po spočítání minimální hloubky studny (tj. maximální hladina vody) je zapotřebí přičíst cca 2 m (tj. hloubka studny). Po vyhloubení studny je zapotřebí udržovat vypočítanou maximální hodnotu hladiny vody ve studni nebo raději nižší odčerpáváním vody. Nejdříve budete odčerpávat v kratších intervalech, ale postupně jak se bude snižovat hladina spodní vody se vám budou prodlužovat intervaly odčerpávání. Pokud je voda alespoň trochu vyhovující hygienickým předpisům můžete ji odčerpávat domácí vodárnou (při vyšších hloubkách studny nutno přidat ještě čerpadlo s vyšší dopravní výškou přímo do studny) a poté používat na splachování toalet. Pokud je voda vyhovující pro využití v domácnosti můžete ji rozvést do koupelen – na umývání, koupání, ale hlavně na praní protože tato voda většinou bývá měkčí než dodávaná z vodovodního řádu (jen v kuchyni bychom doporučovali nechat vodu z vodovodního řádu). Při větším průtoku ve studni a větší spotřebě (velmi vhodné na zalévání) doporučujeme vodu odčerpávat do objemné v zemi zakopaně nádrže na užitkovou vodu. Toto všechno platí ale jen u vlhkých staveb, které do sebe „nasály“ vlhkost vlivem kapilárních sil. Pod takovými stavbami je velká pravděpodobnost (až 80 %, zjištěno od lidí, kteří mají trvale vlhký rodinný dům na Kladně), že spodní voda bude mít hladinu někde metr a půl pod úrovní země. Měli jsme možnost vidět podsklepený rodinný dům právě procházející rekonstrukcí, který má ve sklepě studnu. Nikdo se ale vodu nepokoušel odčerpávat, a tak voda vytékala ze studny a zaplavila sklep (5 cm vody na zemi). Vlhkost zdí nadzemních částí domu byla 13%. Po spuštění čerpadla do studny a uvedení do provozu se voda vsákla do země asi za tři dny. Další měsíc trvalo, než se začala stahovat voda ze zdí (ovšem jen ve sklepě, v nadzemních částech to trvalo déle). Po dvou měsících odstupuje i vzdušná vlhkost a ze země se práší! Vlhkost nadzemních zdí klesla o 5%. To vše jen díky sklepní studně, dva a půl metru hluboké. Studna byla po celou dobu měření odčerpávána jen do poloviny kvůli snížení výdajů za elektřinu. Obecně platí, že čím více snížíme hladinu vody, tím rychleji se bude

studna naplňovat, ale budou také vyšší náklady na elektřinu. Naopak se ale více sníží celková vlhkost domu (Správnou hladinu si ale každý musí najít sám, v závislosti na rychlosti přitékání vody a požadované vlhkosti domu). První dny trvalo čerpání déle, odstupem času se prodlevy mezi čerpáním stále zvětšovaly a doba čerpání se zkracovala (4 x až 5 x denně 6 minut čerpání 220W čerpadlem, výtlak je 2 metry). Tím se ustálily i nemalé výdaje za elektřinu, které lze ještě více snížit vhodným (například nočním) tarifem u energetické společnosti a čerpat vodu v době kdy je elektřina levnější. Všechna voda se odčerpávala do kanalizace. Je ale nutné říci že pod domem se nachází slabý pramen (asi 0,3 l/s) díky kterému je čerpání častější než by bylo v případě bez pramenu.

Vlivem snížení vlhkosti zdí se snižuje jejich tepelná propustnost, která je na vlhkosti přímo závislá. Tepelná propustnost zdí je dnes hodně diskutovaným tématem, a naší metodou v kombinaci s kvalitním zateplením lze dosáhnout velmi dobrých hodnot celkové tepelné ztráty. Dále jsme se zabývali spočtením ztrát domu a tepelnou propustností zdí při různých vlhkostech

Obrázek – Snižování hladiny podzemní vody



Výsledky

Pro všechny výpočty byl použit úsek zdi o tloušťce 425 mm z cihel (objemová hmotnost $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,81 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$). Dále byly použity tři vlhkoměry. První (vlasový) byl použit na měření vlhkosti vzduchu ve sklepě se studnou, druhý (také vlasový) měřil také vzdušnou vlhkost ale ve sklepě bez odvlhčování a třetí byl použit na měření vlhkosti na úseku cihlové zdi.

Pro přepočítání mezi vlhkostí objemovou a hmotnostní byl použit vztah:

$$w_v = w_m \cdot \frac{\rho_s}{1000}$$

w_v ... objemová vlhkost [%]

w_m ... hmotnostní vlhkost [%]

ρ_s ... objemová hmotnost suchého materiálu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Závislost součinitele tepelné vodivosti na vlhkosti je spíše experimentální. Z takto získané závislosti se určí zvýšení tepelné vodivosti na 1 % hmotnostní nebo objemové vlhkosti (dl_m , dl_v). Součinitel tepelné vodivosti pro určitou vlhkost se potom stanoví podle:

$$\lambda = \lambda_s \cdot \left(1 + \frac{dl_v \cdot w_v}{100} \right)$$

λ součinitel tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

λ_s součinitel tepelné vodivosti materiálu v suchém stavu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

dl_v přírůstek součinitele tepelné vodivosti [%]

w_m hmotnostní vlhkost [%]

*Přírůstek součinitele tepelné vodivosti dl_v na 1% objemové vlhkosti w_v (%) u cihel
(Cammererovy přirážky)*

wv (%)	dlv (%)
5	15,1
7	12,5
9	11,2
11	10,4
13	8,9
15	8,5

Zvyšováním vlhkosti materiálu se mění objemová hmotnost. Pro přepočítání byl použit následující vztah:

$$\rho = \frac{\rho_s \cdot (100 + w_m)}{100}$$

ρ objemová hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

ρ_s objemová hmotnost v suchém stavu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

w_m hmotnostní vlhkost [%]

Voda má nejvyšší měrnou tepelnou kapacitu a proto při zvýšení vlhkosti materiálu se zvýší i měrná tepelná kapacita a to dle rovnice:

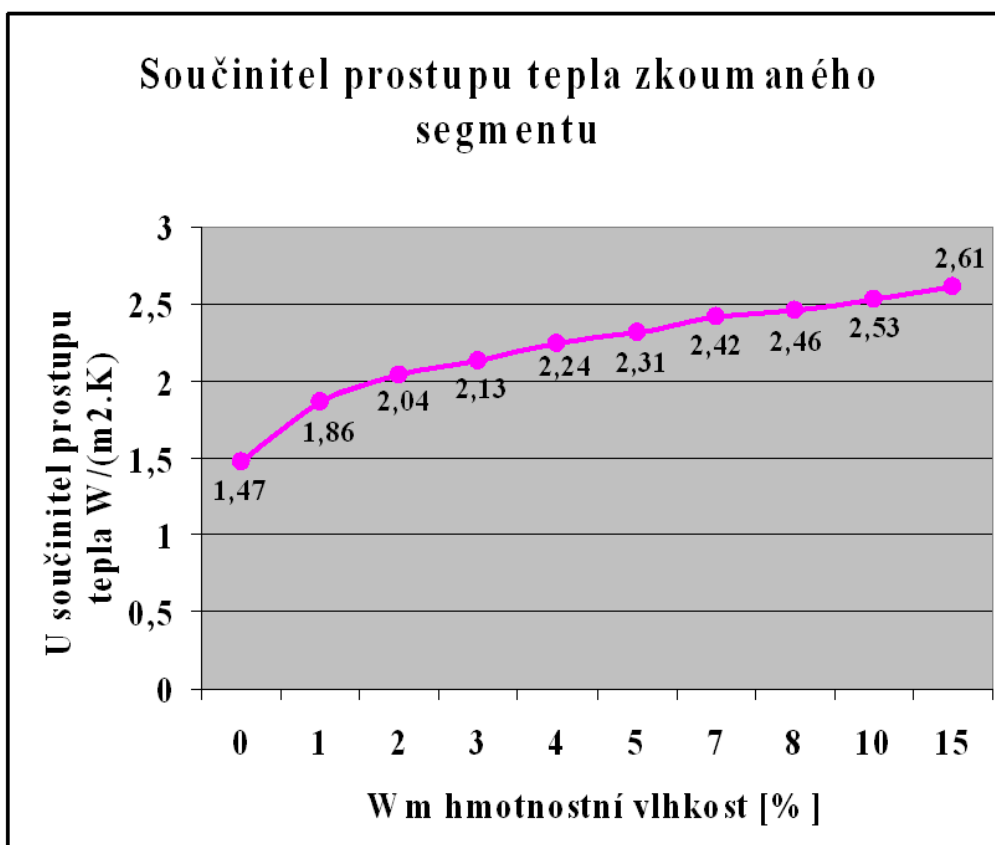
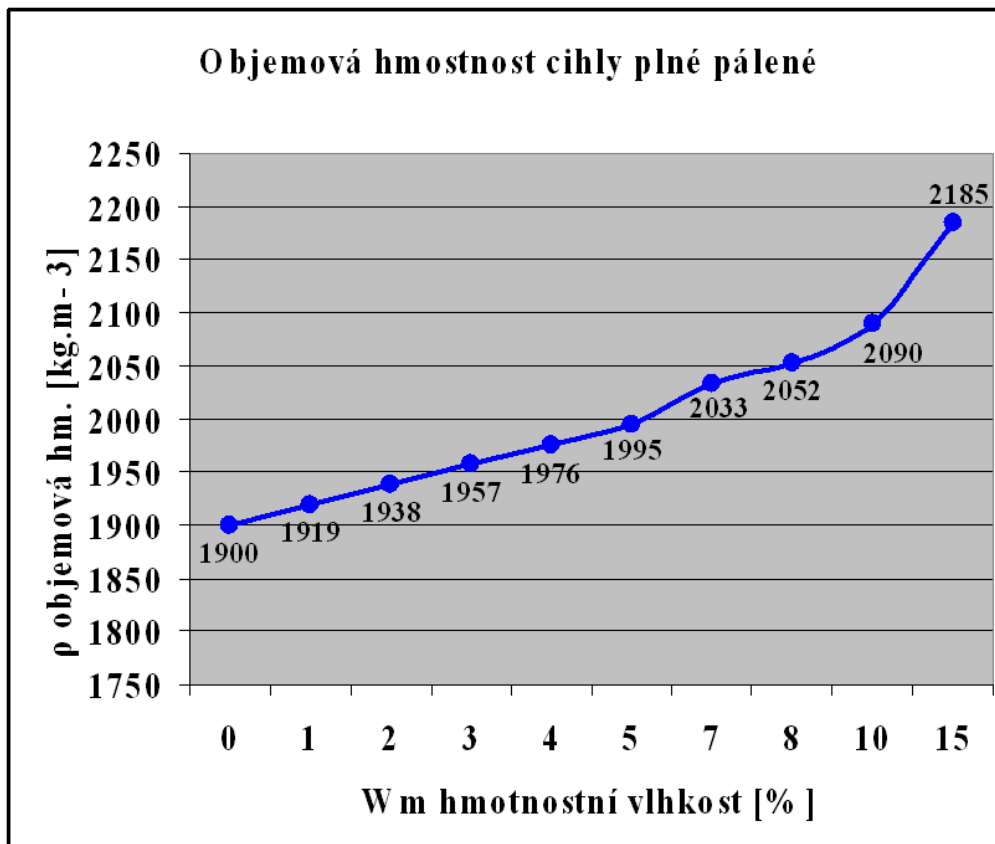
$$c_u = \frac{(2,2 \cdot 10^{-4} \cdot c_d \cdot \rho_s - 1) \cdot (c_d + 35 \cdot w_m)}{2,2 \cdot 10^{-6} \cdot c_d \cdot \rho_s \cdot (100 + w_m)}$$

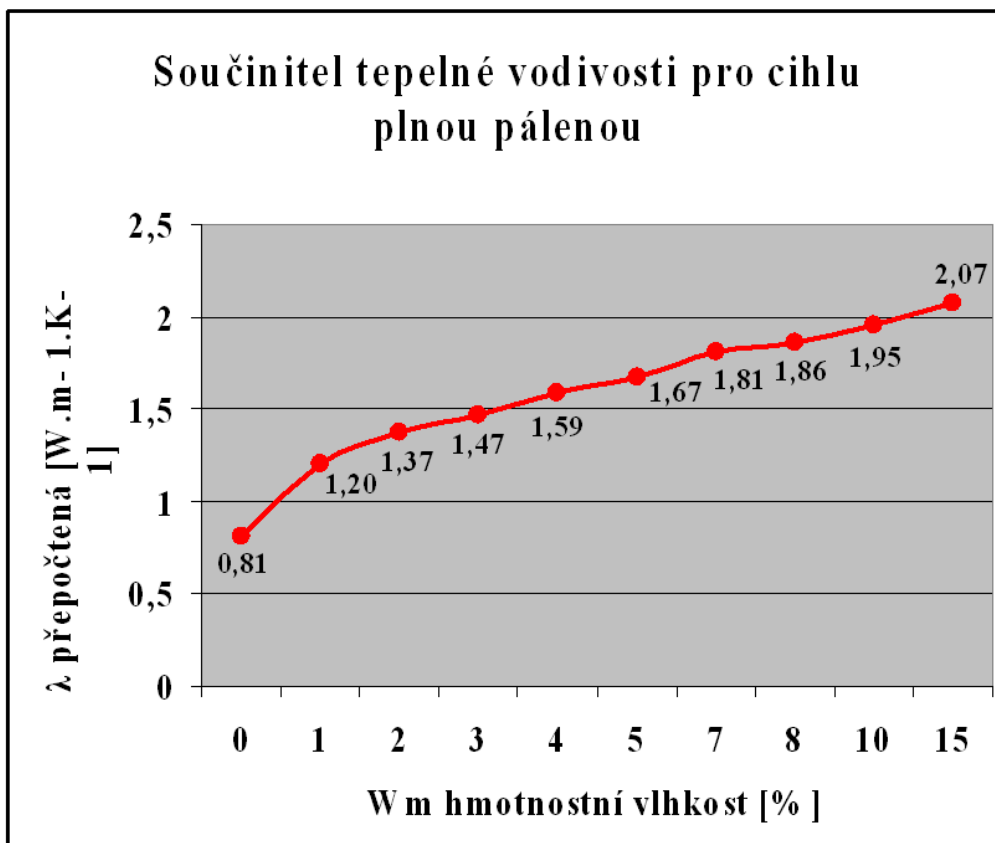
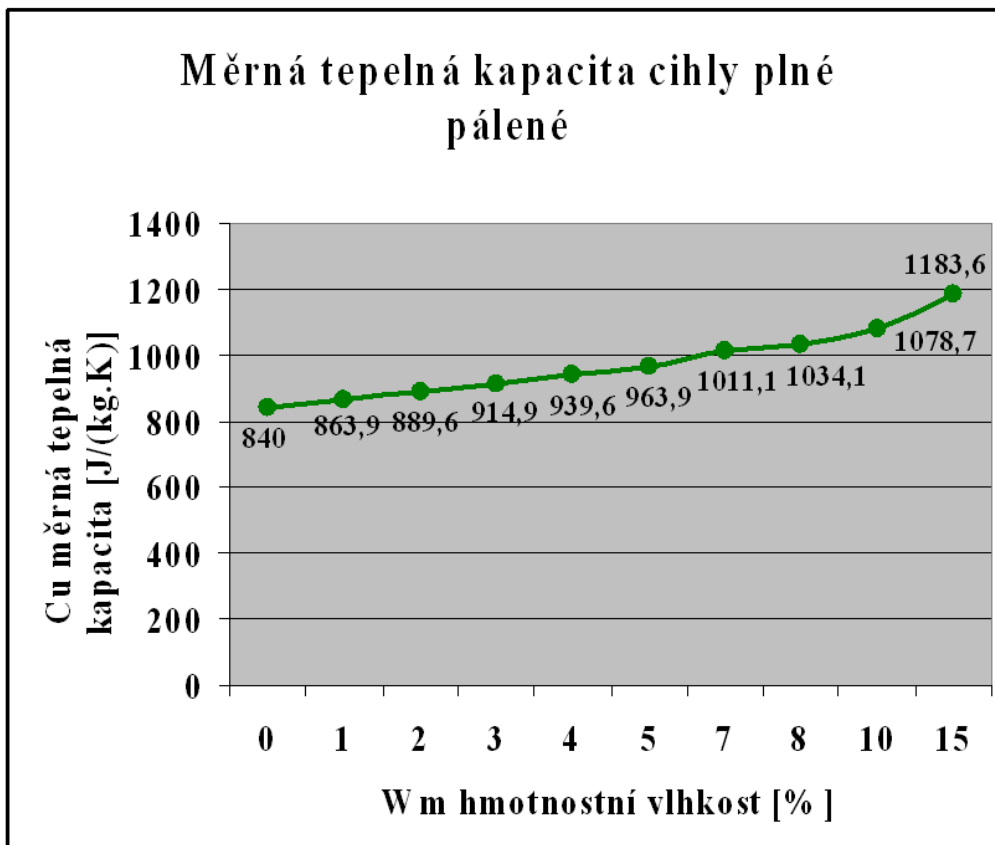
c_u měrná tepelná kapacita [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

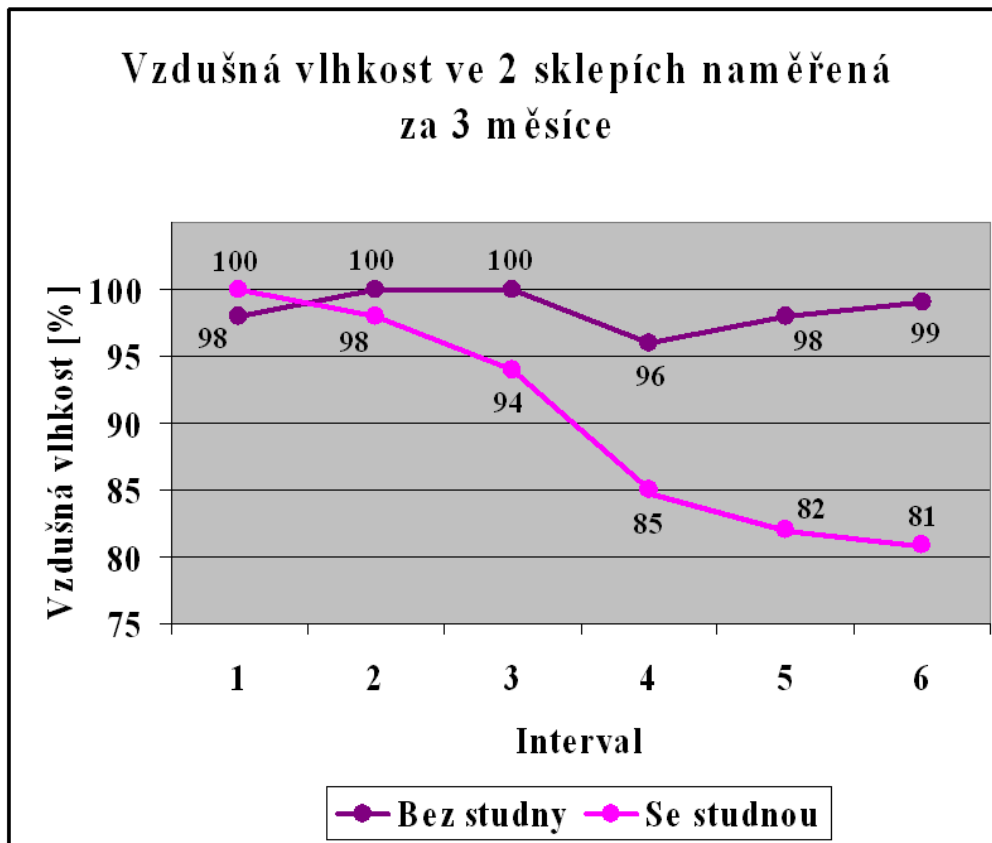
c_d měrná tepelná kapacita suchého materiálu [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

w_m hmotnostní vlhkost [%]

Vypočtené hodnoty zanesené do grafů







Výsledky naší studie jsou docela překvapivé. Snížením vlhkosti zdiva o 15% se sníží hodnota součinitele prostupu tepla o 70%. Je to ale jen vypočtená hodnota. Odvlhčit zdi na 0% vlhkosti nelze (a ani to není vhodné), ovšem optimální hodnoty se touto metodou dají dosáhnout.

Diskuse

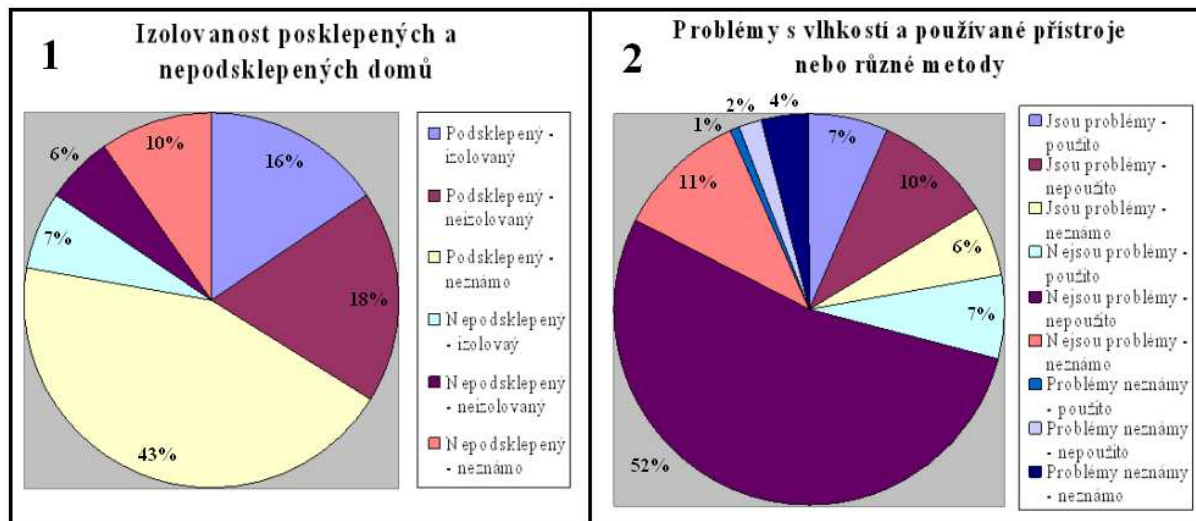
„Osobně si myslím, že tato metoda není nejdražší a za cenu okolo 15 – 20 000 by se dala realizovat. Cena elektřiny, kterou spotřebuje čerpadlo, bude několikrát menší než navrácené peníze díky nižším výdajům za vytápění. Jsou zde ale i nevýhody jako například možnost použití této metody jen ve velmi úzké skupině domů. Tuto metodu bych nedoporučoval do zateplených domů (tam se ztráty liší jen minimálně).“

Michal Habrcetl

„V České republice je mnoho domů, které jsou podsklepeny (i nepodsklepeny) a mají velice navlhle zdi. Jsou to většinou starší domy, které mají porušenou anebo nemají hydroizolaci vůbec. Já si myslím, že lidé bydlící ve vlhkém domě by určitě raději bydleli v suchém domě, ale dnes je všechno otázka peněz. Naše metoda nepatří určitě k nejdražším, spíše naopak, jak už zmínil spoluautor (viz. výše). Když lidem řekneme, že se mohou zbavit vlhkých zdí a ještě odstraněnou vlhkost dlouhodoběji využívat, tak si myslím, že by to mohlo zaujmout mnoho lidí.“

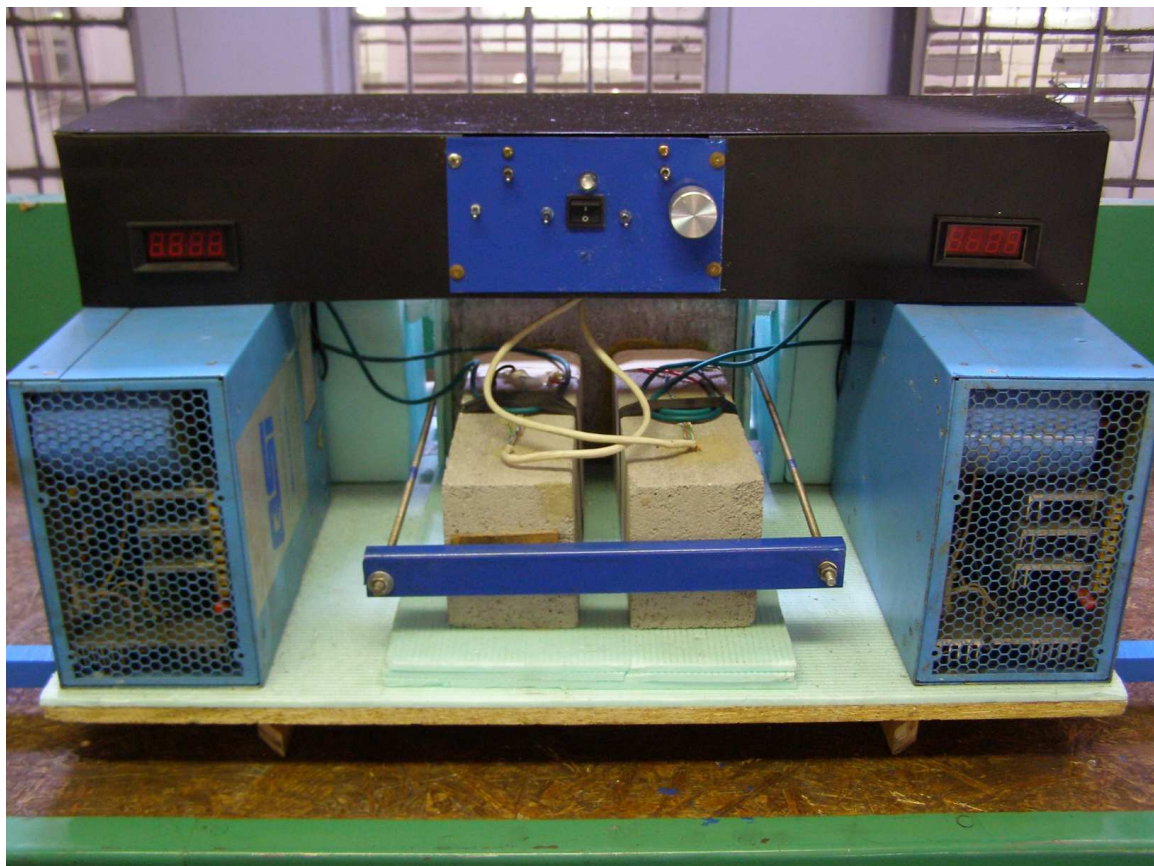
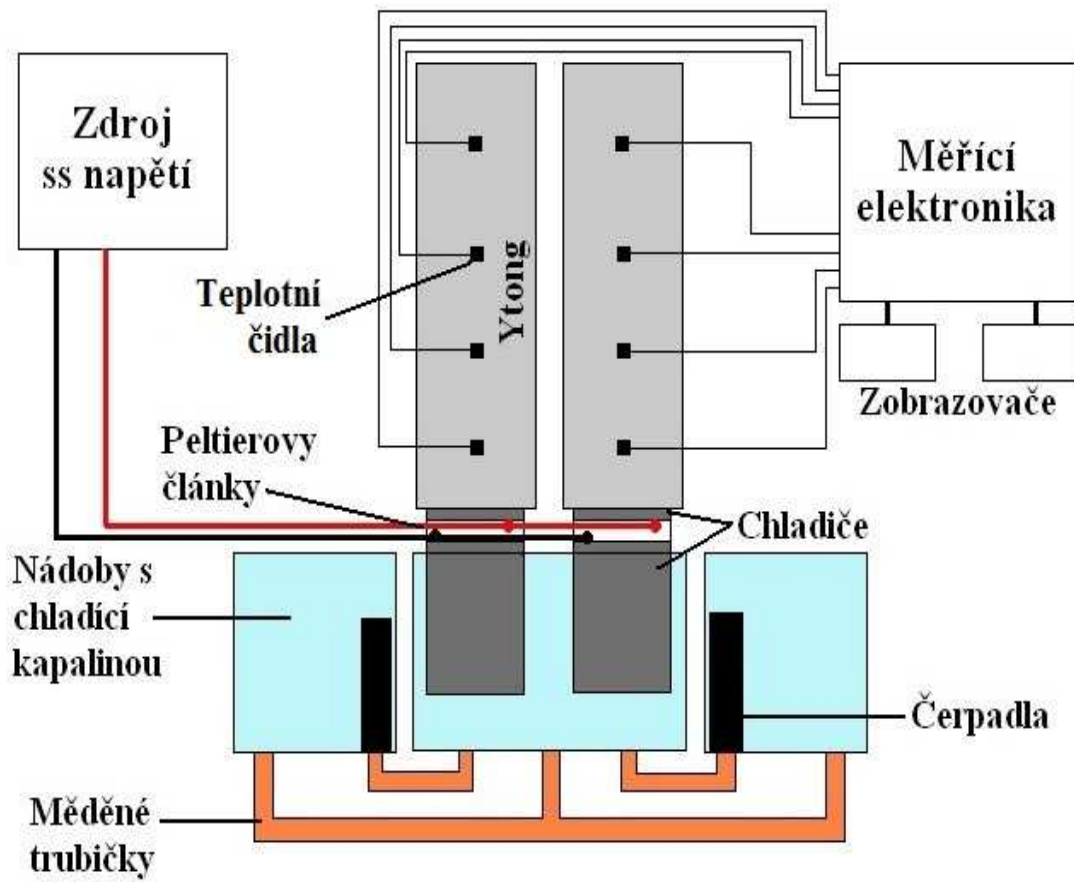
Lukáš Dastych

Udělalí jsme také anketu, která nám měla dát orientační údaje, o tom v jakých a jak starých domech lidé bydlí, jestli jsou to spíše domy podsklepené nebo ne a jestli mají hydroizolaci. Ptali jsme se také na to, jestli mají lidé v domech problémy s vlhkostí a jakými metodami (způsoby) nebo přístroji se jí snaží eliminovat. Poslední otázkou jsme se zeptali, jak moc si lidé myslí, že vlhkost ovlivňuje tepelnou prostupnost zdí. Na tuto otázku odpovědělo správně 51,4% dotázaných, 40,8% dotázaných si myslí, že vlhkost má na tepelnou prostupnost menší vliv a 7,8% dotázaných si myslí, že má vlhkost dokonce větší vliv na tepelnou prostupnost zdí. Nejvíce dotazovaných lidí bydlí v rodinném domě starém 16 až 50 let. Výsledky otázek jestli je dům podsklepen a má hydroizolaci jsou zpracovány do grafu 1. Výsledky otázek jestli mají lidé problémy s vlhkostí, a jaké metody nebo přístroje na eliminaci vlhkosti používají, jsou zpracovány do grafu 2. Anketa nám potvrdila, že lidé bydlící v panelových domech s vlhkostí problémy nemají, ale naopak lidé bydlící v rodinných domech s vlhkostí problémy většinou mají a moc to nezávisí na tom, jestli je dům podsklepen nebo ne. Nejvíce nás překvapila poslední otázka (závislost vlhkosti na tepelné prostupnosti zdí) kde více než polovina dotazovaných lidí odpověděla správně, ale to mohla být jen náhoda.



Naše zařízení

Vytvořili jsme také demonstrační zařízení, které bychom rádi předvedly v této soutěži. Jedná se o demonstraci prostupu tepla stavebním materiálem (ytong). Jednu stranu materiálu necháme při pokojové teplotě kolem 20°C a druhý konec budeme ochlazovat Peltierovým článkem (které díky PN přechodům a velkým elektrickým proudům na jedné straně topí a na druhé straně chladí) a simulovat tak venkovní teplotu. Kvůli malé účinnosti Peltierových článků je teplo odváděno pomocí chladičů ponořených do proudící chladicí kapaliny. Chladicí směs je tvořena slanou vodou zchlazenou na -22°C. Celý systém je zaizolován kvůli únikům chladu. V jednotlivých částech cihel jsou zalepena teplotní čidla, která zaznamenávají teplotu. Teploty na stejných částech cihel můžete vidět na displejích, což znázorňuje rychlost prostupu tepla stavebním materiálem. Bohužel náš systém je zatím ve fázi vývoje. Rychlost prostupu tepla je rozdílná u vlhkého materiálu a u suchého materiálu.



Naše účasti na dalších soutěžích a úspěchy

Minulý rok jsme se s tímto projektem zúčastnili v soutěži Enersol, kde jsme se dostali do národního kola, v soutěži Amavet a letos už na 7. středoškolské konferenci konané klubem ekologické výchovy. V soutěži Enersol, kde jsme byli 1. v krajském kole a dostali se až do mezinárodního. Prezentovali jsme také na Středoškolské odborné činnosti, kde jsme také postoupili do národního kola (teprve se uskuteční).

Závěr

Vlhké zdivo není hygienické z hlediska tvoření plísní, solných skvrn a velmi snadno propouští teplo ven z domu. Naše studie dokazuje, že i relativně levnou metodou lze celkem dobře odvlhčit dům. Voda ze studně se dá velmi dobře ve většině případů použít například ke splachování toalety, praní prádla nebo zalévání zahrady.

Zdroje

<http://www.sanace-zdiva.cz/>

<http://www.pavlat-znalec.cz/investing/technolog/technolog/vlhkost.html>

<http://www.hydropol-cz.com/>