

Proudění vzduchu v konstrukci crawl space

Air flow in the crawl space

Ing. Slávka Pobucká^{1*}; Doc. Ing. Karel Šuhajda, Ph.D.¹

¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 602 00 Brno, Česká republika

* korespondenční autor: Slavka.Pobucka1@vutbr.cz

PŮVODNÍ VĚDECKÝ PŘÍSPĚVEK

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLE

ABSTRAKT

Ve střední Evropě je rozšířené zakládání dřevostaveb na základových pasech s podkladním betonem. Zakládání staveb, systémem crawl space, je spíše výjimečné. Tento článek se zabývá prouděním vzduchu a teplotně vlhkostními podmínkami v přirozeně odvětrávané konstrukci crawl space v České republice. Monitoring konstrukce probíhal od dubna 2022 do února 2023. V crawl space bylo sledováno proudění vzduchu, teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Ve vybraných letních dnech byla také sledována intenzita výměny vzduchu. Dny byly vybírány za základě průměrné rychlosti proudění venkovního vzduchu. Intenzita větrání v crawl space během června byla vysoká. Průměrné hodnoty se, ve vybraných dnech, pohybovaly od 5 h⁻¹ do 12 h⁻¹. V České republice není ČSN norma, která by se zabývala návrhem konstrukce crawl space z hlediska odvětrávání. Ve Spojených státech amerických jsou uvedeny požadavky v International Residential Code (IRC – International Code Council). Při aplikaci této normy bylo zjištěno, že plocha větracích otvorů ve sledovaném crawl space byla dvakrát větší než doporučuje International Residential Code.

Klíčová slova: *Crawl space; dřevostavba; proudění vzduchu*

ABSTRACT

The strip foundation with a concrete slab-on-ground is common type of foundation in Central Europe. The crawl space is rather exceptional in Central Europe. The paper deals with the air flow and temperature and moisture condition in a naturally ventilated crawl space in the Czech Republic. The monitoring of crawl space took place from April 2022 to February 2023. The air flow, air temperature and relative humidity was continuously monitored in the crawl space. On selected summer days, the space rate changing air was also monitored. Base on the avarage outdoor air flow, the summer day was selected. The space rate changing air was high during June in the crawl space. On the selected days, the avarage values ranged from 5 ach to 12 ach. In the Czech Republic, there is not Czech Standart that deals with design air flow in the crawl space In the United States, requirements are describes in International Residential Code (IRC – International Code Council). When applying this Code, it was detected the area of ventilation holes in the monitoring crawl space was twice as large as recommended by the International Residential Code.

Key words: *Crawl space; wooden house; air flow*

<http://doi.org/10.51704/cjce.2023.vol9.iss1.pp60-68>

ISSN (online) 2336-7148

www.cjce.cz

1 ÚVOD

Konstrukci crawl space lze podle způsobu odvětrání rozdělit na tři základní typy a to: konstrukce odvětrávaná přirozeně, konstrukce odvětrávaná ventilačním systémem a neodvětrávaná konstrukce. Dále je možné rozlišit crawl space na *plinth foundation* (stavba založena na pilířích), *outdoor air ventilated crawl space* (větrání crawl space přirozeně nebo mechanicky venkovním vzduchem), *indoor air ventilated crawl space* (crawl space větrán vnitřním vzduchem) [1]. V případě, že je konstrukce crawl space uzavřená, bez výměny vzduchu, je potřeba provést velmi dobře izolaci proti zemní vlhkosti [2]. Jednoznačně nelze určit hodnoty výměny vzduchu, které zajišťují nejnižší relativní vlhkost vzduchu v prostoru crawl space. Mikroklima crawl space ovlivňují nejen vnější klimatické podmínky, ale také míra tepelné izolace u ohraničujících konstrukcí crawl space, tepelná kapacita základové zeminy nebo odpařování zemní vlhkosti. Kritickým obdobím se stává zejména letní období, kdy se do chladnější konstrukce dostává teplejší venkovní vzduchu a může nastat kondenzace na površích konstrukce. Dle studie Kurnitski (2000) [2] je optimální výměna 1,0–3,0 h⁻¹. Airaksinen a kol. (2003) [3] se zaměřil na potřeby výměny vzduchu u konstrukce crawl space s rozdílným součinitelem prostupu tepla U stropní konstrukce. U crawl space, s $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ byla v létě potřeba výměna vzduchu 2,0–5,0 h⁻¹ a 0,5–1,0 h⁻¹ v otopné sezóně. Dno crawl space bylo kryto vrstvou lehkého kameniva. [3] Odvětrávání, u crawl space s vysoce tepelně izolovanými ohraničujícími konstrukcemi, je odlišné. Bezpečné podmínky z hlediska vlhkosti, u této konstrukce crawl space, jsou zajištěny při použití vysoce izolačního materiálu na kryt zeminy a nízké rychlosti výměny vzduchu. Pokud je tepelný odpor krytu zeminy vysoký, stačí výměny vzduchu 0,5 h⁻¹ během celého roku [4].

Stanovení výměny vzduchu u přirozeně větrané konstrukce crawl space je obtížnější než u konstrukce větrané mechanicky. U přirozeně větrané konstrukci lze použít metody s pasivním nebo aktivním sledovacím plynem. Intenzitu větrání I v h⁻¹ lze stanovit dle normy ČSN EN 15665 změna Z1 [5]. Do vztahu (1) vstupuje objemový průtok přiváděného venkovního vzduchu V_e v m³/h a objem vnitřního větraného prostoru O v m³.

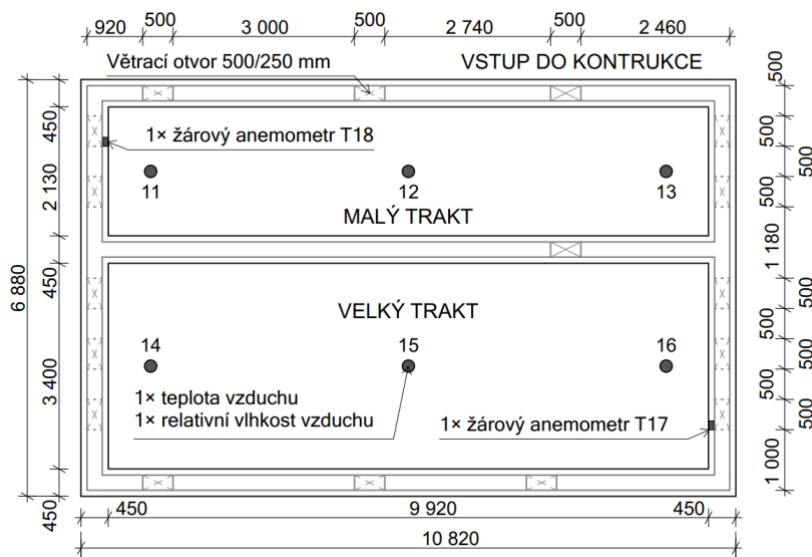
$$I = \frac{V_e}{O} \quad (1)$$

Objemový průtok V_e se stanoví jako součin plochy větracího otvoru S v m² a rychlosti proudění v v m/h (2).

$$V_e = S \cdot v \quad (2)$$

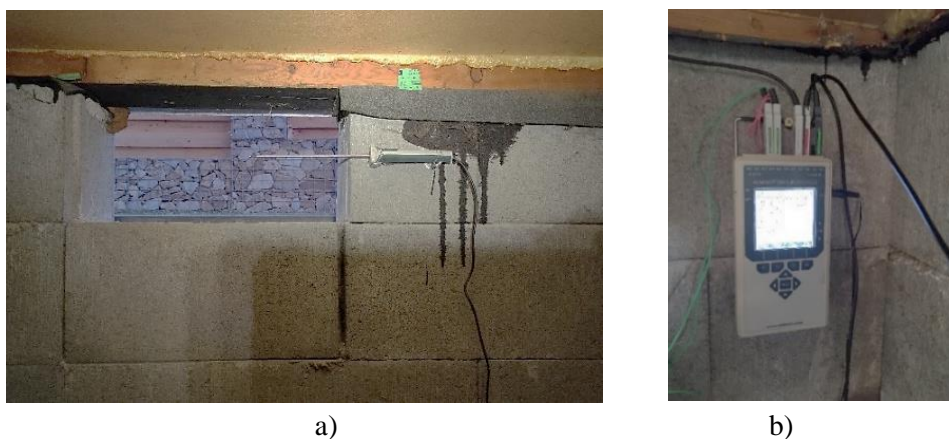
2 METODOLOGIE

Za účelem měření byla vybraná dřevostavba rodinného domu založená systémem crawl space. Rodinný dům se nachází v Jihomoravském kraji v České republice. Půdorys domu má obdélníkový tvar s rozměry 10,680 × 6,740 m. Dům má jedno nadzemní podlaží s obytným podkrovím a je založen na základových pasech. Výška dutiny crawl space je 0,8 m. Základové stěny jsou tvořeny betonovými tvárnici ztraceného bednění. V obvodových stěnách je umístěno patnáct větracích otvorů pro přívod/odvod venkovního vzduchu. Větrací otvor má rozměry 500 × 250 mm. Větrací otvory nejsou chráněny žádnou větrací mřížkou. Dno konstrukce crawl space je kryto geotextílií a vrstvou kameniva, frakce 32/64, tloušťky 150 mm. Součinitel prostupu tepla U stropní konstrukce nad dutinou je 0,115 W/(m²K). Dům byl postaven mezi lety 2013 a 2014. Konstrukce crawl space je větrána přirozeně venkovním vzduchem. Na Obr. 1 je zobrazena sledovaná konstrukce.



Obr. 1 Schéma rozmístění čidel v crawl space.

V rámci experimentálního měření bylo v konstrukci crawl space sledováno proudění vzduchu, teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Parametry byly zaznamenávány kontinuálně v intervalu 15 min. Pro měření proudění vzduchu byla použita ústředna Almemo se žárovými anemometry Almemo FVAD 35. Teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu byla zaznamenána pomocí čidel Omega PLTH. Venkovní klimatické podmínky byly měřeny senzory Mobile Alerts ve vzdálenosti přibližně 700 m vzdušnou vzdáleností od rodinného domu. Vzhledem k lokalitě byly předpokládány malé odchylky venkovních podmínek. Měření probíhalo v období od dubna 2022 do února 2023.



Obr. 2 Žárový anemometr ve větracím otvoru crawl space a), ústředna Almemo b)

Na Obr. 2 je zobrazen žárový anemometr a měřicí ústředna Almemo. Žárové anemometry byly osazeny do dvou větracích otvorů. Teplotně vlhkostní čidla byla umístěna na stropní konstrukci crawl space.

3 VÝSLEDKY

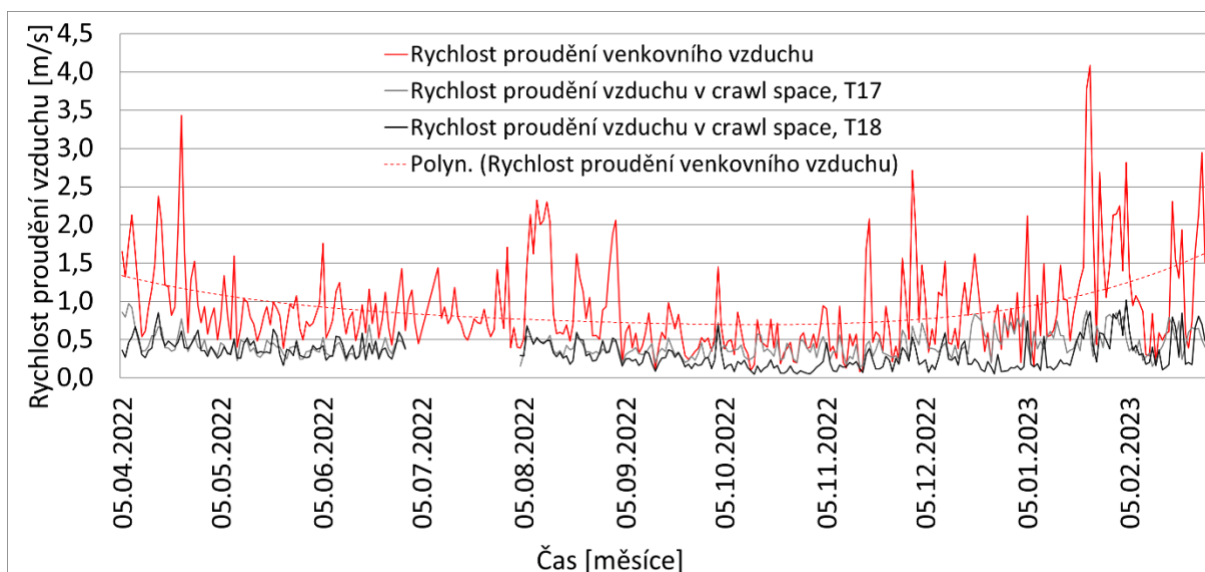
U větracího otvoru na západní straně (senzor T17), byla maximální rychlost proudění vzduchu zaznamenána 0,97 m/s během dubna a minimální hodnota byla 0,15 m/s během listopadu. Na východní straně (senzor T18) byla maximální hodnota 1,02 m/s během února a minimální hodnota 0,05 m/s během října. Průměrná rychlost proudění vzduchu senzoru T17 byla 0,43 m/s a senzoru T18 byla 0,32 m/s.

<http://doi.org/10.51704/cjce.2023.vol9.iss1.pp60-68>

ISSN (online) 2336-7148

www.cjce.cz

Na Obr. 3 je zobrazena rychlost vzduchu u dvou vybraných větracích otvorů u konstrukce crawl space. Průběh křivek rychlosti vzduchu obou senzorů se příliš neliší.



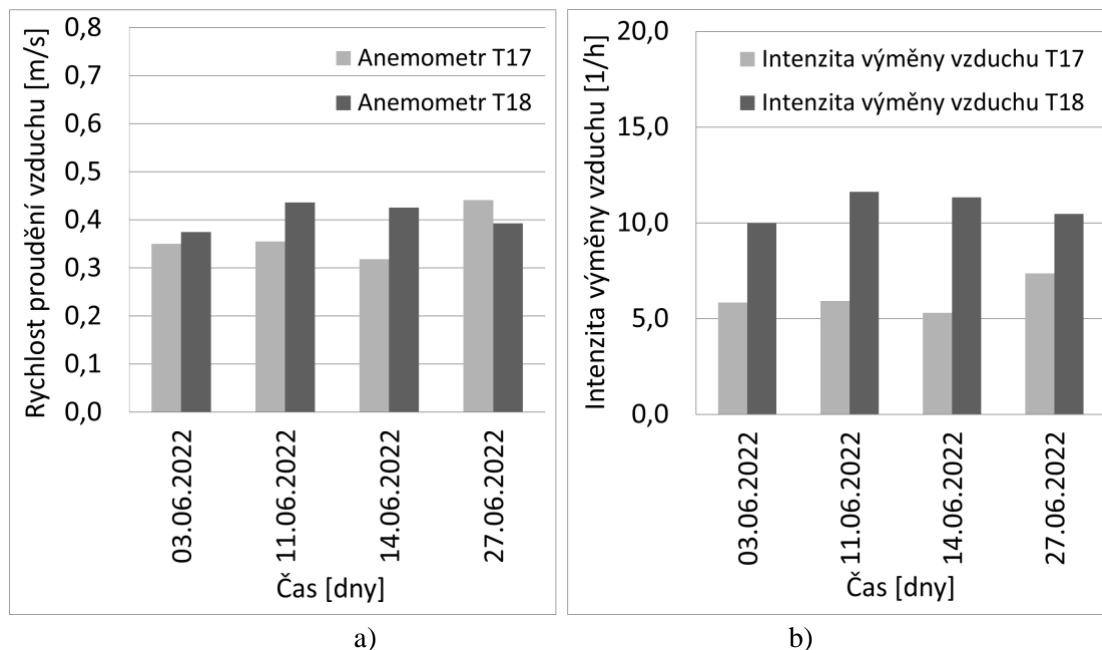
Obr. 3 Rychlost proudění vzduchu v crawl space (24-h průměr) za období duben 2022–únor 2023

Nejvyšší průměrná hodnota rychlosti vzduchu ve venkovním prostředí byla zaznamenána v lednu 2022 a to 4,09 m/s. Na základě průměrných hodnot rychlosti proudění venkovního vzduchu byly vybrány dny z měsíce června, u kterých byla stanovena intenzita výměny vzduchu, Tab. 1. Intenzita výměny vzduchu byla stanovena pomocí vztahu (1) a (2) pro každá trakt crawl space zvlášť. První trakt crawl space má plochu dna 33,73 m² (anemometr T17) druhý trakt crawl space má plochu 21,13 m² (anemometr T18). Výška obou částí crawl space je stejná, 0,8 m.

Tab. 1 Vybrané dny, u kterých byla stanovena intenzita větrání

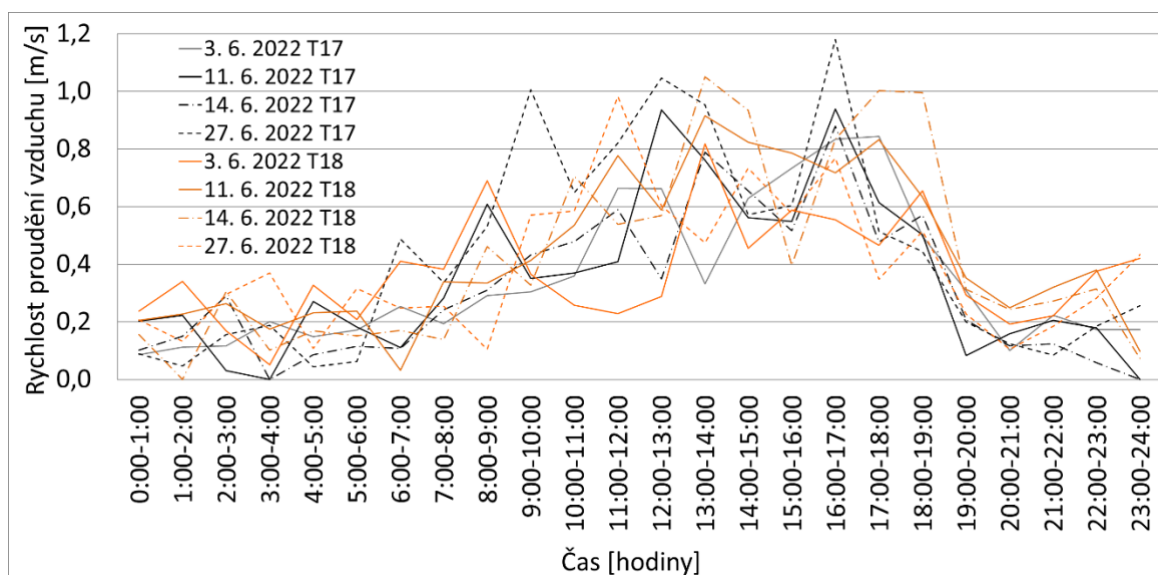
Den	Průměrná hodnota rychlosti proudění venkovního vzduchu za 24 hod. m/s	Měsíc	Průměrná hodnota rychlosti proudění venkovního vzduchu za měsíc. m/s
3. 6. 2022	0,85	červen	0,85
11. 6. 2022	0,87		
14. 6. 2022	0,87		
27. 6. 2022	0,79		

Průměrné hodnoty rychlosti proudění vzduchu v crawl space, ve vybraných dnech měsíce června, byly podobné, Obr. 4. Pohybovaly se od 0,32 m/s do 0,44 m/s. Průměrná rychlost proudění vzduchu za celý měsíc červen byla u obou anemometrů stejná, 0,38 m/s. I přes větší průměrnou rychlost proudění vzduchu ve dni 27. 6. 2022, senzor (T17), byla průměrná intenzita výměny vzduchu v tomto dni menší. Větší průměrná intenzita vzduchu byla zjištěna u menšího traktu (T18) konstrukce crawl space.



Obr. 4 Rychlost proudění vzduchu ve větracích otvorech a), intenzita výměny vzduchu ve větracích otvorech (průměrné hodnoty ve vybraných dnech za 24 hod) b).

Přes to, že průměrné hodnoty rychlosti proudění vzduchu ve vybraných otvorech byly podobné rozložení proudění vzduchu v jednotlivých hodinách byly výrazně odlišné Obr. 5.

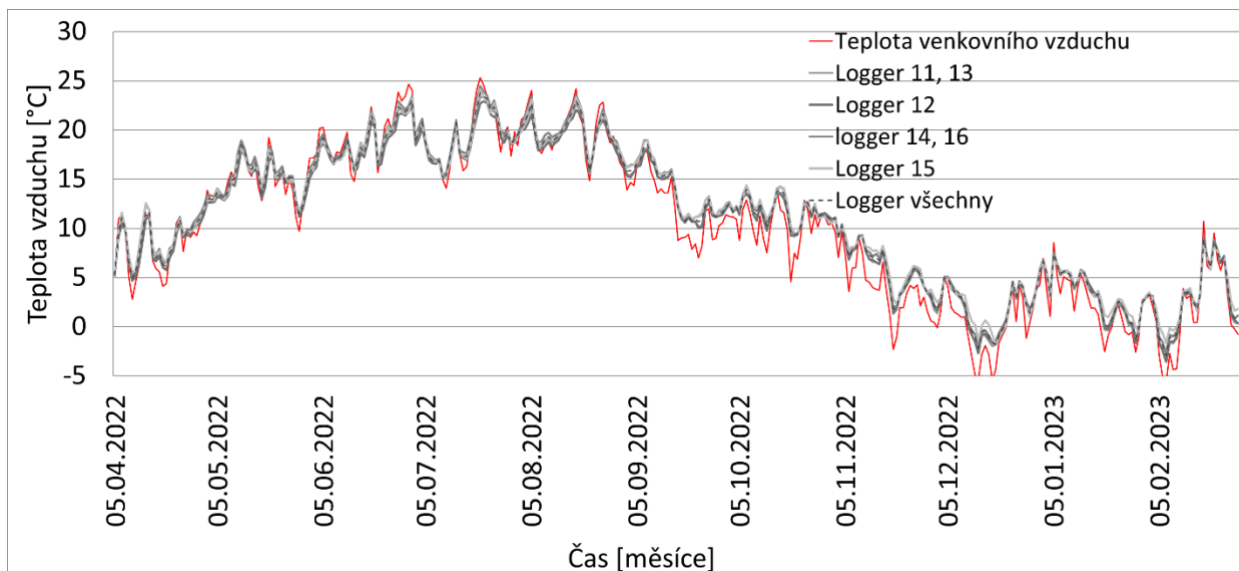


Obr. 5 Rychlost proudění vzduchu ve větracím otvoru T17 a T18 crawl space (hodinové průměrné hodnoty)

Prouděním vzduchu je ovlivňována teplota vzduchu i relativní vlhkost vzduchu v crawl space. Teplotně vlhkostní čidla v crawl space byla rozdělena do sekcí podle umístění. U jednotlivých sekcí byly sledovány směrodatné odchylky teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu. Odchylky u teploty byly do 0,5 °C. Odchylky u jednotlivých čidel mohou být dány rozdílností čidel. U čidla ozn. 12, 15 byla odchylka poměrně vysoká, a to 5,0 %. Průměrná relativní vlhkost vzduchu, za období duben 2022–únor 2023, byla v malém traktu (čidlo 12) 78,5 % a ve velkém traktu (čidlo 15) byla 73,0 %. Před osazením čidel do konstrukce byla provedena zkouška jednotlivých senzorů. Odchylky mezi čidly

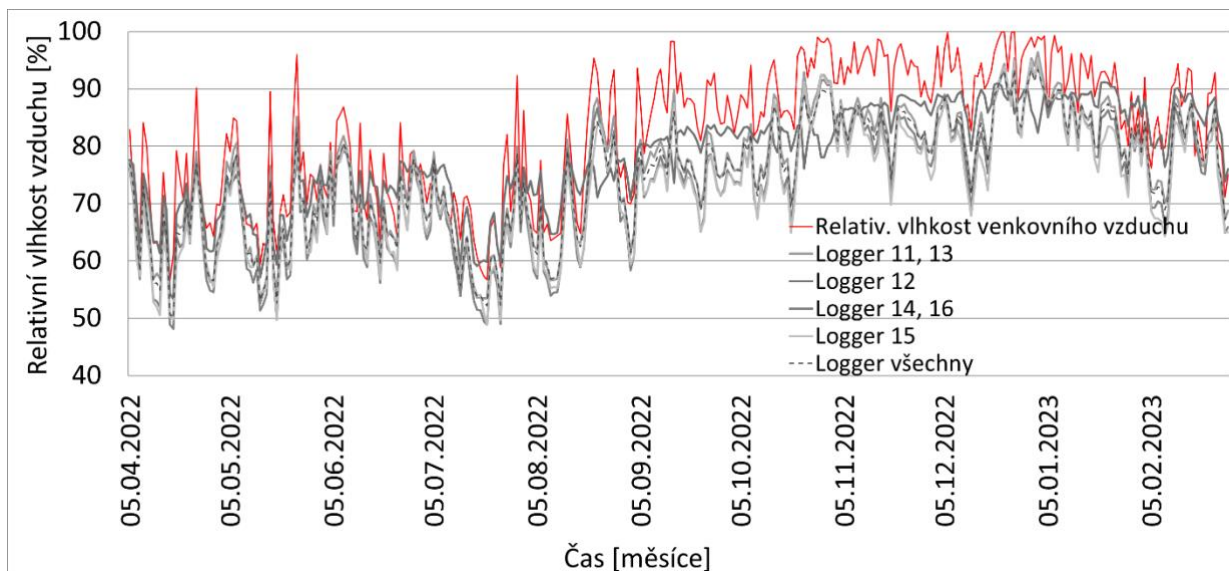
<http://doi.org/10.51704/cjce.2023.vol9.iss1.pp60-68>

12 a 15 byly nízké, do 1 %. Hodnota odchylky může ukazovat rozdílnou relativní vlhkost vzduchu mezi trakty crawl space. Graf na Obr. 6 znázorňuje rozložení teploty vzduchu v jednotlivých sekcích v crawl space. Maximální teplota vzduchu v crawl space, 24,49 °C, byla naměřena v červenci, sekce 14, 16. Minimální teplota, -3,59 °C, byla naměřena v únoru, sekce 11, 13.



Obr. 6 Teplota vzduchu v crawl space za období duben 2022–únor 2023 (průměrné hodnoty 24 hod.)

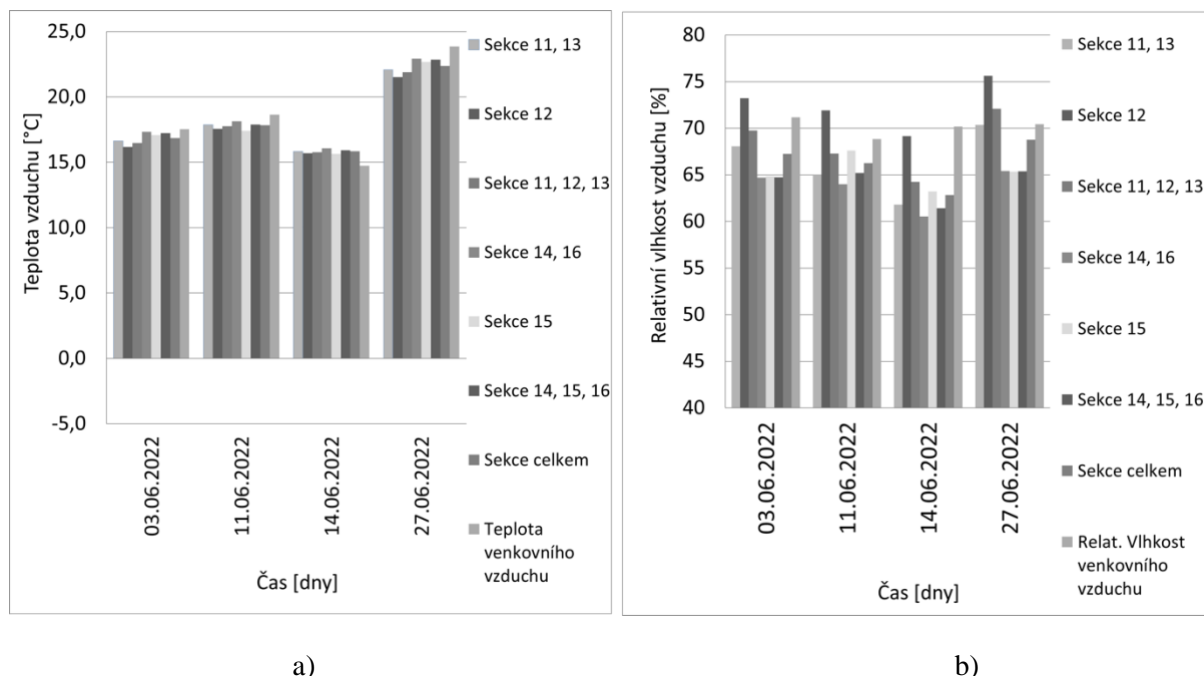
Maximální relativní vlhkost v crawl space, 96,41 %, byla naměřena v lednu, sekce 11, 13. Minimální relativní vlhkost byla 48,17 % v dubnu, sekce 14, 16. Průběh relativní vlhkosti vzduchu je zobrazen na Obr. 7.



Obr. 7 Relativní vlhkost vzduchu v crawl space za období duben 2022–únor 2023 (průměrné hodnoty 24 hod.)

Ve stejných dnech, u kterých bylo vyhodnocováno proudění vzduchu v crawl space, byla sledována teplota a relativní vlhkost vzduchu. Průběh teploty vzduchu a relativní vlhkosti je zobrazena na Obr. 8. Teplota vzduchu v crawl space během června byla, kromě dne 14. 6. 2022, nižší. I přes to, že dne 14. 6. 2022 byla teplota venkovního vzduchu větší než v konstrukci, průměrná teplota za celý měsíc

červen byla v crawl space nižší. Průměrná teplota venkovního vzduchu byla v červnu 19,20 °C. V crawl space byla v červnu průměrná teplota 18,44 °C (malý trakt) a 18,90 °C (velký trakt). Průměrná relativní vlhkost v červnu byla 72,0 % (malý trakt) a 68,4 % (velký trakt). Fluktuace relativní vlhkosti vzduchu ve vybraných dnech byla větší než u teploty vzduchu. Relativní vlhkost v crawl space dosáhla 75 %.



Obr. 8 Teplota vzduchu v crawl space a), relativní vlhkost vzduchu v crawl space b) ve vybraných dnech (24 hod. průměr)

4 DISKUZE

Vzhledem k energetickým požadavkům se součinitel prostupu tepla U , stropní konstrukce nad prostorem crawl space, snižuje. V současnosti se hodnota U snížila na 0,17–0,10 W/(m²K) [6]. Tento článek se zabývá prouděním vzduchu a teplotně vlhkostními podmínkami v přirozeně odvětrávané konstrukci crawl space v České republice. Ve vybraných letních dnech byla také stanovena intenzita výměny vzduchu. Sledovaná konstrukce je přirozeně odvětrávána venkovním vzduchem pomocí větracích otvorů. Hodnota součinitele prostupu tepla U stropní konstrukce nad crawl space je 0,115 W/m²K. Hodnota U je sice nízká, ale ohraničující konstrukce (základové stěny a dno crawl space) nejsou tepelně izolovány. Nelze tedy zcela říci, že se jedná o vysoce izolovanou konstrukci crawl space.

V období od dubna 2022 do února 2023 byla průměrná rychlost proudění vzduchu v crawl space 0,32 m/s (malý trakt) a 0,43 m/s (velký trakt). Měřicí rozsah anemometru je 0,0–2,0 m/s. V malém traktu crawl space byla hodnota $\geq 2,0$ m/s zaznamenána v 0,48 % měření a ve velkém traktu v 0,56 %. Ve čtyřech dnech v červnu byla, na základě objemové průtoky přiváděného vzduchu a objemu větraného prostoru, stanovena intenzita větrání I v h⁻¹. Intenzita větrání ve vybraných dnech, přes větrací otvor T17 byla pod 8,0 h⁻¹ a přes větrací otvor T18 pod 12 h⁻¹. Intenzita větrání byla stanovena přes jeden větrací otvor. Lze tedy předpokládat, že větrací otvory na stejné straně konstrukce, jak hodnocený otvor, mohou mít velice podobnou intenzitu větrání. Ve skutečnosti intenzita větrání celé konstrukce crawl space může být větší. Z měření nebylo možné přesně stanovit, které větrací otvory vzduch přiváděly do konstrukce a, které vzduch odváděly.

Ve studii Airaksinen (2020) [6] byla vysoce izolovaná konstrukce crawl space větrána mechanicky, s tokem vzduchu 10 l/s. Výsledky této studie, Airaksinen (2020), ukázaly nízké hodnoty relativní vlhkosti v prostoru crawl space, a to vždy pod 80 %. Tok vzduchu ve sledovaném crawl space, s průměrnou rychlostí 0,32 m/s, přes jeden větrací otvor 0,25×0,50 m, byl 40,0 l/s.

Teplota a relativní vlhkost vzduchu byla vyhodnocena z šesti čidel osazených na spodním povrchu stropní konstrukce crawl space. Byly sledovány odchylky jednotlivých sekcí. Průměrná odchylka teploty všech čidel byla pod 0,5 °C. Průměrná odchylka relativní vlhkosti všech čidel byla pod 5 %. Výsledky studie Risberg [7] ukázaly, že rozdíl měření mezi jednotlivými body, byl pod 5 %. Nebylo tedy nutné měřit teplotu a relativní vlhkost na několika místech crawl space. [7] Dále byla porovnávána teplota a relativní vlhkost vzduchu ve vztahu k proudění vzduchu. Ve vybraných letních dnech platilo, při větší intenzitě větrání, byl větší rozdíl teploty mezi venkovním prostředím a prostředím v crawl space. Dále, při větší intenzitě větrání byl menší rozdíl relativní vlhkosti vzduchu mezi venkovním prostředím a prostředím v crawl space. Mikroklima v crawl space, které se blíží venkovnímu prostředí, snižuje riziko spojené s výskytem vlhkosti. [8] Je to dáno minimálním teplotním rozdílem mezi crawl space a venkovním prostředím. Nevzniká, tak velké časová prodleva mezi prostředím. Časová prodleva, společně s vysokou tepelnou kapacitou zeminy a základů, způsobuje nízké teploty v crawl space. [4, 6]

Vzhledem k proudění vzduchu v crawl space, v České republice není ČSN norma, která by se zabývala návrhem konstrukce crawl space. Návrh konstrukce se řídí doporučeními a zkušenostmi ze zahraničí. Pro Finsko platí Národní doporučení LVI 06-40064 2004, kde je například doporučení pro výměnu vzduchu 0,5–1,0 h⁻¹. [9] Ve Spojených státech amerických jsou uvedeny požadavky v International Residential Code (IRC) (International Code Council 2003), 2006 IRC. [10] Například: R408.1. Minimální čistá plocha odvětrání nesmí být menší jak 1 čtvereční stopa na každých 150 čtverečních stop podlahové plochy.

5 ZÁVĚR

Rychlost proudění vzduchu, teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu byla sledována v přirozeně odvětrávané konstrukci crawl space v České republice. Ve vybraných letních dnech byla stanovena také intenzita výměny vzduchu. Bylo pozorováno, jak intenzita výměny vzduchu ovlivňuje teplotu a relativní vlhkost vzduchu v crawl space. Při větší intenzitě větrání, byl větší rozdíl teploty mezi venkovním prostředím a prostředím v crawl space. Při větší intenzitě větrání byl menší rozdíl relativní vlhkosti vzduchu mezi venkovním prostředím a prostředím v crawl space. Při aplikaci International Residential Code bylo zjištěno, že plocha větracích otvorů v crawl space byla dvakrát větší, než doporučuje International Residential Code. Výpočet byl proveden za předpokladu, že polovina větracích otvorů vzduch přivádí a druhá polovina vzduch odvádí.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory Vysokého učení technického v Brně, Fakulta stavební – Juniorský specifický výzkum č. FAST-J-22-8018. – Založení dřevostaveb systémem crawl space: Analýza teplotně vlhkostního pole. Poděkování také patří Kláře Kučerové za spolupráci při stahování dat v crawl space.

Financování

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební – Juniorský specifický výzkum č. FAST-J-22-8018. – Založení dřevostaveb systémem crawl space: Analýza teplotně vlhkostního pole.

Použitá literatura

- [1] BURKE, Stephen, 2007. *Crawl spaces in wood framed single family dwellings in Sweden: unwanted yet popular* [online]. *Structural Survey*, 10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/02630800710740976>
- [2] KURNITSKI, Jarek, 2000. Crawl space air change, heat and moisture behaviour. *Energy and buildings* [online]. Elsevier B.V, **32**(1), 19-39. ISSN 0378-7788. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00021-3)
- [3] AIRAKSINEN, M, J KURNITSKI a O SEPPÄNEN. On the crawl space moisture control in buildings. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering* [online]. 2003, **9**(1), 34-58. ISSN 1406-0175. Dostupné z: <https://doi.org/10.3176/eng.2003.1.03>
- [4] MATILAINEN, Miimu a Jarek KURNITSKI, 2003. Moisture conditions in highly insulated outdoor ventilated crawl spaces in cold climates. *Energy and buildings* [online]. LAUSANNE: Elsevier B.V, **35**(2), 175-187. ISSN 0378-7788. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00029-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00029-4)
- [5] ČSN EN 15665 ZMĚNA Z1 - Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov, Únor 2011. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologie a státní zkušebnictví.
- [6] AIRAKSINEN, Miimu, Lars OLSSON, Jarek KURNITSKI a Staffan HVIDBERG, 2020. Highly insulated crawl spaces with controlled minimal ventilation – proof of concept by field measurements. *E3S web of conferences* [online]. EDP Sciences, **172**, 7004. ISSN 2267-1242. Dostupné z: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017207004>
- [7] RISBERG, Mikael a Lars WESTERLUND, 2020. Experimental investigation of a crawl space located in a sub-arctic climate. *Results in Engineering* [online]. Elsevier B.V, **7**, 100158. ISSN 2590-1230. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100158>
- [8] LAUKKARINEN, Anssi a Juha VINHA, 2017. Temperature and relative humidity measurements and data analysis of five crawl spaces. *Energy Procedia* [online]. **132**, 711-716. ISSN 1876-6102. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.011>
- [9] SALO, Juha, Petteri HUTTUNEN, Juha VINHA a Timo KESKIKURU, 2018. Numerical study of time-dependent hygrothermal conditions in depressurized crawl space. *Building Simulation* [online]. Springer, **11**(6), 1067. ISSN 1996-3599. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0447-7>
- [10] ERICKSON, Brian D a Zhiqiang John ZHAI, 2008. Evaluation of ventilation code requirements for building crawl spaces. *Building simulation* [online]. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, **1**(4), 311-325. ISSN 1996-3599. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12273-008-8325-3>