20th International Poster Day
Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System
Bratislava, 15.11.2012

ZHODNOCENÍ INDEXU HUMIDEX NA ÚZEMÍ MĚSTA BRNA

Tomáš Litschmann[1], Jaroslav Rožnovský[2]

[1]AMET, Velké Bílovice, Česká republika; e-mail: amet@email.cz
[2]Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 67 Brno, Česká republika
e-mail: roznovsky@chmi.cz

Abstract
EVALUATION OF HUMIDEX INDEX IN BRNO. Assessment of the influence of meteorological conditions on the thermal comfort in the environment is most often expressed by temperature-humidity index. Based on measurements of meteorological parameters at eleven stations in the city of Brno in 2010 and 2011, we calculated values of the HUMIDEX index. The results show that at the stations near the center of the city recorded the largest total number of hours with discomfort and towards the edges the number decreases and is lowest in areas with less dense housing on the edges or outside the city. Some days, this order may not be always maintained, and maximum number of hours with discomfort may occur at stations with less built-up surroundings, or at the station Tuřany. Discomfort is reached in synoptic situations in which the flow from southern directions is predominant. Considerable discomfort can be expected in situations Bp or B, and SWc2.

Key words: thermal comfort, HUMIDEX index, discomfort, synoptic situations

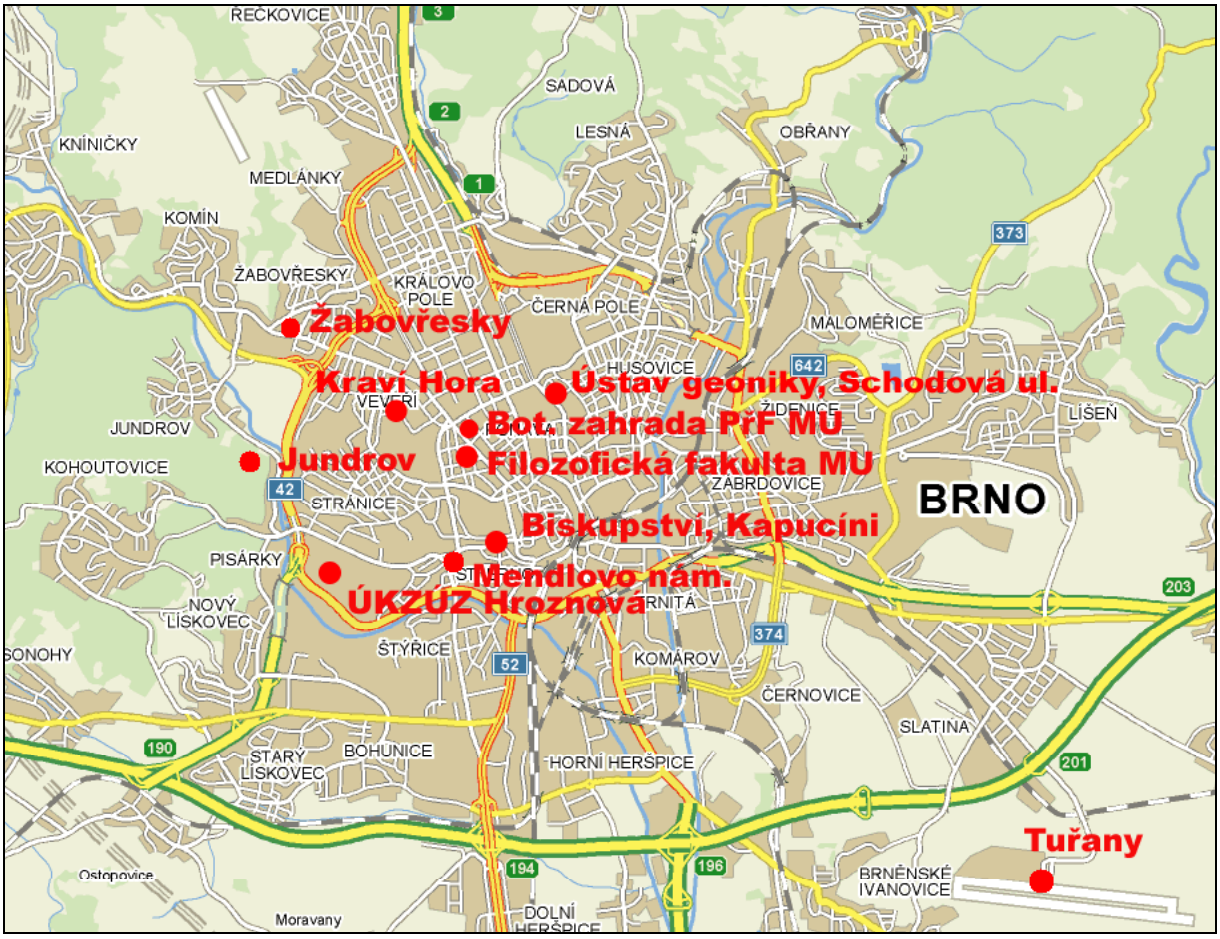
Úvod

Teplotně-vlhkostní indexy jsou běžně používanou charakteristikou, sloužící k popisu vlivu meteorologických podmínek na tepelnou pohodu lidí, nacházejících se v daném prostoru. V práci Litschmann, Rožnovský (2009) jsme se podrobněji zabývali jednotlivými indexy použitelnými v našich podmínkách a s našimi datovými zdroji, včetně jejich aplikace na údaje ze 4 meteorologických stanic na území města Brna. Od té doby byla síť rozšířena o dalších 7 účelových stanic, díky kterým lze provádět detailnější vyhodnocení. Za vhodnou teplotně-vlhkostní charakteristiku byl zvolený index Humidex. Důvodem bylo jeho použití Tomášem (2012) v rámci stejného projektu na území města Olomouce. Tento index je určitou obdobou ekvivalentní teploty, s níž pracovala v minulých letech na území Slovenska také Čabajová (Kolektiv, 1979), proto lze říci, že má již v našich končinách určitou tradici.

Materiál a metody

Staniční síť, jejíž údaje byly použity ke zpracování tohoto příspěvku, je tvořena několika typy zařízení. Stanice Žabovřesky a Tuřany náleží do základní sítě ČHMÚ, zbývající stanice jsou účelové a byly zřízeny pro potřeby tohoto projektu. Kromě stanic Biskupství a Kapucíni, které jsou vybaveny registrátory teploty a vlhkosti vzduchu HOBO řady PRO (Onset Computer), se jedná o stanice typu MeteoUni (AMET, Velké Bílovice), registrující i další meteorologické prvky a naměřené údaje přenášejí pomocí sítě GSM na webový server. Ve všech případech se jedná o automatické stanice, měřící příslušné veličiny

v desetiminutových intervalech. Bylo vyhodnoceno období let 2010–2011, protože poskytovalo ucelené záznamy z největšího počtu stanic.
Plošné rozmístění použitých stanic ukazuje obr. 1. Lepší představu o lokalizaci a okolí stanic účelové sítě poskytuje obr. 2, na němž jsou jejich fotografie společně s leteckými snímky přilehlého okolí. Meteorologické stanice jsou rozmístěny v centrální části města s hustou zástavbou (Mendlovo náměstí, Biskupství, Kapucíni, Filozofická fakulta MU, Botanická zahrada, Schodová), v méně zastavěných částech (Kraví hora, Hroznová), i na jeho okrajích (Žabovřesky, Jundrov). Stanice Tuřany je umístěna na ploše letiště, mimo zastavěné území.



Obr. 1 Mapa rozmístění zpracovaných stanic na území města Brna

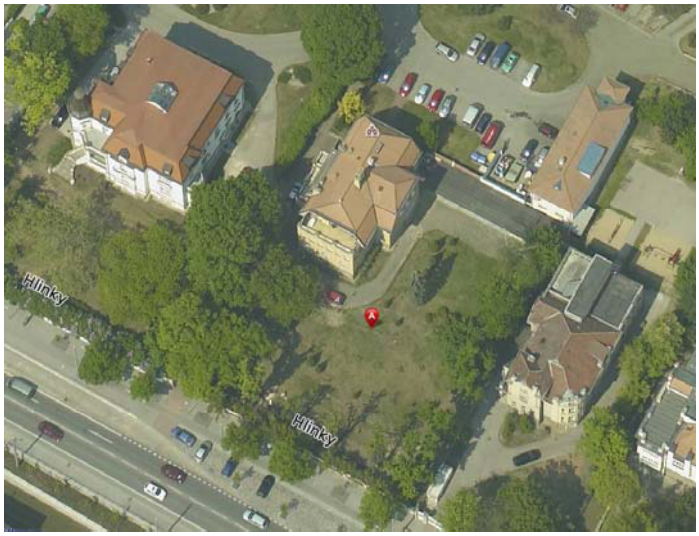
Mendlovo náměstí

Jundrov

Botanická zahrada

Obr. 2 Fotografie jednotlivých stanic účelové sítě a letecké snímky jejich okolí

Filozofická fakulta MU



Hroznová, ÚKZÚZ

Schodová, Ústav geoniky

Obr. 2 Fotografie jednotlivých stanic účelové sítě a letecké snímky jejich okolí - pokračování

Kapucíni

Kraví hora

Biskupství, Petrov

Obr. 2 Fotografie jednotlivých stanic účelové sítě a letecké snímky jejich okolí - pokračování

Z naměřených hodnot teplot a vlhkostí vzduchu v desetiminutových intervalech byly nejprve vypočítány hodinové průměry, a teprve z hodinových průměrů se vypočítaly hodnoty indexu Humidex podle vztahu:

$$\text{Humidex} = T + (0{,}5555) \cdot (e - 10{,}0)$$

kde T = teplota vzduchu [°C]
e = aktuální tlak par [hPa]

Hodnoty aktuálního tlaku páry e [hPa] byly vypočítány z teploty T [°C] a relativní vlhkosti vzduchu φ [%] podle všeobecně známých vztahů. Předpokládaný vliv jednotlivých hodnot indexu na tepelnou pohodu obyvatelstva je uveden v tab. 1. V dalším zpracování byl pro každý den stanoven počet hodin s hodnotami indexu Humidex v rozsahu 30 až 39 (diskomfort se může objevit u citlivých osob) a nad 40 (značný diskomfort, vedoucí k omezení fyzické aktivity). Hodnoty indexu Humidex nad 45 se na žádné ze zpracovaných stanic v daném období nevyskytly, proto bylo zpracování omezeno pouze na tyto dvě kategorie.

Tab. 1 Kvantifikace jednotlivých hodnot indexu Humidex

Hodnota indexu Humidex	**Vliv na obyvatelstvo**
30 - 39	mírné tepelné nepohodlí, diskomfort se může objevit u citlivých osob
40 - 45	zvýšené nepohodlí, je zapotřebí se vyvarovat tělesné námahy, značný diskomfort
> 45	nebezpečí
> 54	nebezpečí úpalu

Další zpracování pak bylo zaměřeno zejména na:

- *vyhodnocení měsíčních a ročních počtů hodin v obou kategoriích pro jednotlivé stanice:* pro každou stanici byl stanovený počet hodin přesahujících hodnotu 30 a hodnotu 40 v daném měsíci a roce. Toto vyhodnocení může poskytnout základní představu o plošném a časovém rozložení jednotlivých kategorií diskomfortu.
- *vyhodnocení pořadí jednotlivých stanic v jednotlivých dnech z hlediska počtu hodin s hodnotou indexu Humidex převyšující 30*: v každém dni, v němž se nejméně na devíti stanicích vyskytly nenulové počty hodin v kategorii diskomfort a vyšší, byly stanice seřazeny v klesajícím pořadí podle počtu hodin. V případě, že více stanic vykazovalo stejný počet hodin, bylo jim přiřazeno průměrné pořadové číslo.
- *vyhodnocení jednotlivých dnů s výskytem diskomfortu z dynamicko–klimatologického hlediska:* k jednotlivým dnům, v nichž se alespoň na devíti stanicích vyskytly nenulové počty hodin s diskomfortem, byly přiřazeny synoptické situace podle typizace ČHMÚ. Vyhodnoceny pak byly četnosti jednotlivých typů v tomto souboru dnů.

Výsledky a diskuse

Roční a měsíční úhrny

Prvotní představu o rozložení četnosti výskytu diskomfortních hodnot indexu Humidex na území města Brna si lze udělat z jejich ročních úhrnů. Na obr. 3 a 4 jsou vyneseny počty všech diskomfortních a značně diskomfortních hodin v letech 2010 a 2011. Pokud jde o hodiny s diskomfortem nad 30, v obou letech se na stanicích v centru města vyskytlo kolem 400 hodin. Jedná se zejména o stanice na Mendlově náměstí, Hroznové, Biskupství, Botanické zahradě, v areálu kláštera Kapucínů. Nižší počet, kolem 370 hodin, se vyskytoval na stanicích na Kraví hoře, Filozofické fakultě MU a Schodové, v roce 2010 pak i v Žabovřeskách. Nejnižší hodnoty vykazovaly stanice na okraji města, Jundrov a Tuřany. V roce 2011 byl zaznamenám výrazný úbytek počtu hodin, oproti předchozímu roku, právě na těchto stanicích a v Žabovřeskách, zatímco na ostatních stanicích, lokalizovaných v městském centru, se žádná výraznější změna neprojevila.

Pokud jde o roční hodnoty počtu hodin s výskytem indexu Humidex v kategorii značný diskomfort (obr. 4), jejich počet se pohybuje převážně kolem 15 hodin ročně, opět jsou větší počty zaznamenány na stanicích uvnitř města. Na stanicích Jundrov a Žabovřesky se vyskytují minimálně. Zajímavá je lokalita Tuřany, na níž byl v roce 2011 zaznamenán relativně zvýšený počet hodin s hodnotou indexu v této kategorii.

Podrobnější představu o rozdělení počtu hodin s jednotlivými kategoriemi indexu, než umožňují roční hodnoty, si lze udělat z měsíčních hodnot pro obě kategorie a jednotlivé roky (obr. 5 až 8). Jak vyplývá z výše uvedeného ročního přehledu, na většině stanic byl počet hodin s jednotlivými kategoriemi indexu v obou letech velmi podobný, avšak v roce 2010 se výskyt hodin s hodnotami nad 30 koncentroval do tří letních měsíců (červen až srpen) s maximem v červenci, zatímco v následujícím roce se počasí s diskomfortem vyskytovalo od května do září, s maximem v srpnu. Jak je z jednotlivých měsíčních hodnot patrné, nejvyšší počty hodin se vyskytují u stanic Biskupství a Kapucíni, naopak nejnižší jsou pozorovány na stanici Jundrov, případně Tuřany a Žabovřesky. Pořadí jednotlivých stanic však není ve všech měsících stejné a pravděpodobně, v závislosti na některých dalších meteorologických podmínkách, se mění, takže např. v roce 2011 v červnu a červenci nebyl zaregistrován nejvyšší počet hodin na stanicích Kapucíni a Biskupství, ale na stanici Mendlovo náměstí.

Vyhodnocení pořadí stanic v jednotlivých dnech

Jak bylo popsáno v předchozím textu, v jednotlivých měsících se pořadí dosaženého počtu hodin na stanicích mírně liší. Z tohoto důvodu došlo k rozhodnutí prozkoumat, jak se pořadí liší v jednotlivých dnech. V každém zpracovaném dni byly jednotlivé stanice seřazeny sestupně podle počtu hodin s velikostí indexu nad 30 a byla jim přidělena pořadová čísla od 1 do 11. Celkem bylo vyhodnoceno 78 dnů, v nichž se nenulový počet hodin vyskytoval na více než 9 stanicích. Na obr. 9 jsou histogramy jednotlivých stanic (pro zpřehlednění nejsou ve formě sloupcových grafů, ale čárových). Z pohledu na tento obrázek lze usoudit, že ačkoliv relativní pole počtu hodin s indexem Humidex nad 30 v konkrétních dnech se na území města Brna mění, přesto lze stanice rozdělit do několika skupin:

1. Stanice s maximem výskytu četností na prvních místech, na nichž bývá v jednotlivých dnech dosahován nejvyšší počet hodin s indexem nad 30. Jedná se především o stanici Kapucíni, která má nejvyšší četnost u pořadového čísla 1. Přesto byl nejvyšší počet hodin na této stanici v rámci celého souboru stanic ze 78 zpracovaných případů zaznamenám pouze 19 krát, tj. přibližně v jedné čtvrtině případů. Se zvyšující se hodnotou pořadového čísla četnost počtu hodin klesá a v šesti dnech dokonce tato stanice skončila až na sedmém místě. Další stanice, patřící do této skupiny jsou Hroznová, Mendlovo náměstí, Biskupství a Botanická zahrada, jež měly nejvyšší četnost u pořadového čísla 3 a 4.
2. Do druhé skupiny je možno zařadit stanice, u nichž se maximum četností vyskytuje přibližně v polovině pořadových čísel, nepatří tedy k nejextrémnějším. Zde spadá stanice Filozofická fakulta MU, Kraví hora a Žabovřesky.

3. Do třetí skupiny lze zařadit stanice, u nichž se nejvyšší četnost vyskytuje u nejvyšších pořadových čísel, tj. většinou mají v daném dni nejmenší počet hodin s indexem nad 30. Typickým představitelem této skupiny je stanice Jundrov, u níž je maximum u pořadového čísla 10, a až do pořadového čísla 5 má nulovou četnost výskytu. Znamená to, že na této stanici nikdy nebyl zaznamenán v rámci daného dne nejvyšší počet hodin, ani 5. nejvyšší. To již nelze říci o stanici Tuřany, která má sice nejvyšší četnost u pořadového čísla 11, což svědčí o tom, že se na ní většinou vyskytuje nejnižší počet hodin, avšak i u nejnižších pořadových čísel 1–4 má četnost výskytu
3–4 u každého z nich. Z toho lze zase usuzovat, že za určitých situací patří k těm extrémnějším lokalitám s vyšším počtem hodin. Do této skupiny patří také stanice Schodová s nejvyšší četností u pořadového čísla 10 a nulovým výskytu u čísel 1 a 2.

Rozdělení četností jednotlivých hodnot indexu HUMIDEX

Pro každou stanici jsme za zpracované období 2010–2011vypočítali průměr indexu Humidex pro hodiny, kdy jeho velikost přesahovala hodnotu 30. Jak se ukázalo, tyto průměry se pohybují ve velmi úzkém intervalu 33,6 ± 0,5. Je zřejmé, že tato charakteristika nemůže být užitečná při zjišťování rozdílů mezi jednotlivými stanicemi a proto došlo k zaměření na srovnání jednotlivých histogramů, zkonstruovaných z hodinových hodnot indexu.

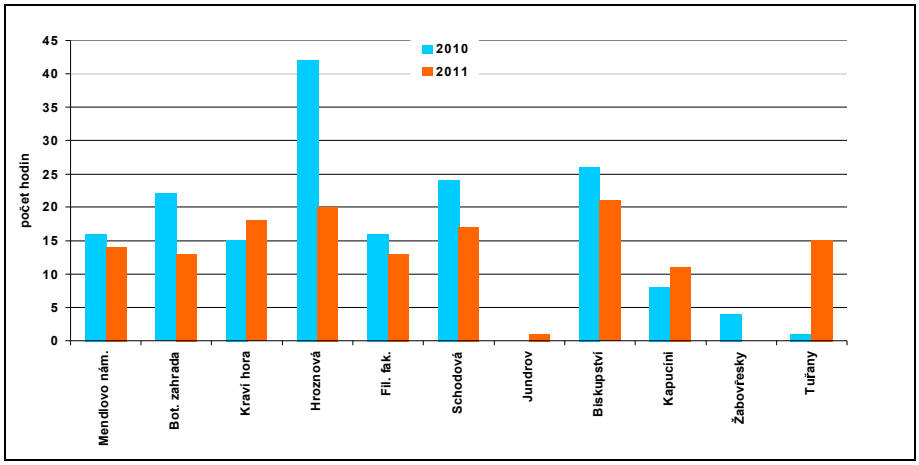
Na obr. 10 jsou vyneseny histogramy četností jednotlivých hodnot indexu Humidex pro jednotlivé stanice. Nejnižší počty hodin u většiny hodnot indexu jsou pozorovatelné na stanici Jundrov, v některých případech jsou však zaznamenány nižší hodnoty u stanice Žabovřesky, popř. Tuřany. Nejvyšší četnosti u nízkých hodnot indexu se vyskytují u stanice Mendlovo náměstí, avšak při vyšších hodnotách nad 36 jsou vyšší četnosti u stanic Hroznová a Biskupství.

Rozdíl v době trvání vyšších hodnot indexu mezi okrajovou stanicí s nejnižší dobou trvání (většinou Jundrov anebo Tuřany) a stanicí v zástavbě, naopak s nejdelší dobou trvání (Mendlovo nám., Kapucíni, Hroznová, Biskupství), dosahuje u hodnot indexu 30 přibližně 50 hodin za oba zpracované roky (tj. 25 hodin ročně), s jeho stoupající hodnotou se rozdíl snižuje, u 35 je to ještě 48 hodin avšak u 40 již jenom 23 hodin a u 44 je tento rozdíl zanedbatelný. Stanice Hroznová se sice nachází v oblasti s méně hustou zástavbou, jako je tomu u stanic v centru města, leží však v Pisárecké kotlině, v níž může docházet, zejména za situací s nižšími rychlostmi větru, ke zvyšování teploty a tím i ke zvyšování hodnoty indexu Humidex proti jiným lokalitám. Názorně to demonstruje obr. 11, na němž jsou zachyceny hodinové teploty vzduchu pro vybrané stanice a délka trvání indexu Humidex nad 30 dne 9. 7. 2010. Tento den panovala typická anticyklonální situace typu A s průměrnou rychlostí větru na stanici Hroznová 0,5 $m.s^{-1}$.

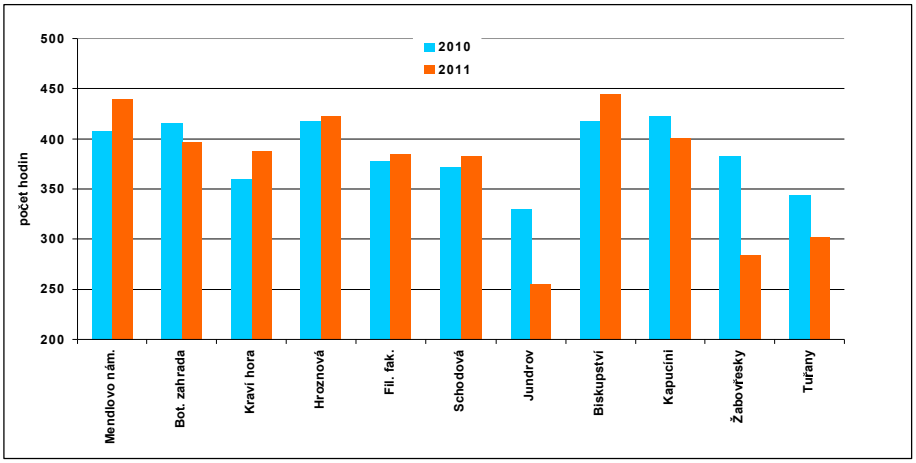
Výskyt diskomfortu v závislosti na povětrnostních situacích

Lze předpokládat, že výskyt vysokých hodnot indexu Humidex je v určité souvislosti s cirkulačními procesy, které se odehrávají nad daným územím. Přiřadili jsme proto jednotlivým dnům s výskytem diskomfortních hodnot příslušné povětrnostní situace podle typizace ČHMÚ. Jak ukazuje obr. 12, spektrum povětrnostních situací pro tyto dny je poměrně omezené a k výskytu diskomfortu dochází především za situací s jižními složkami proudění větru. Jsou to jednak situace SWc1, SWc2 a SWa, popř. i Sa, u nichž typicky převládá příliv teplejšího vzduchu od jihozápadu, u typu Sa dokonce přímo přes Středozemní moře a Alpy ze Sahary. Druhou výraznou skupinu tvoří typy Bp a B, kdy na přední straně brázd na území města Brna opět vrcholí příliv teplého vzduchu od jihozápadu.

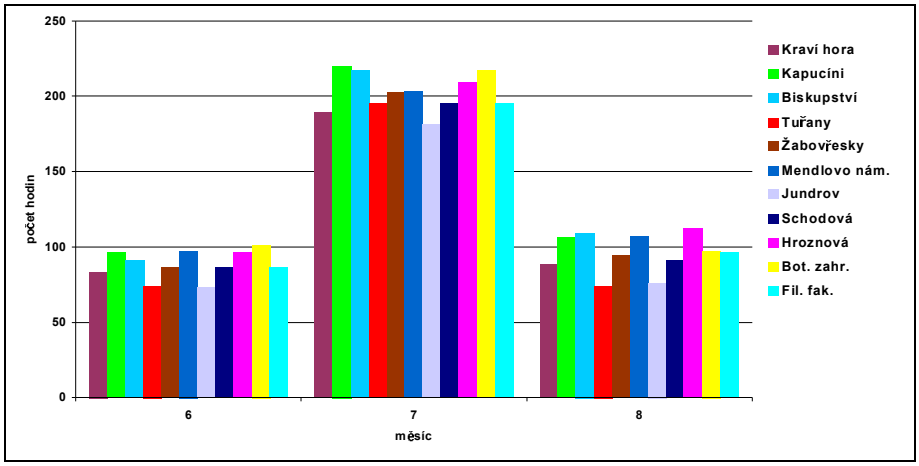
Pokud jde o dny, v nichž se vyskytly hodnoty indexu nad 40, tedy v kategorii „značný diskomfort“, výrazně zde převažují situace Bp, případně B, a SWc2 (cca 85 % všech případů).



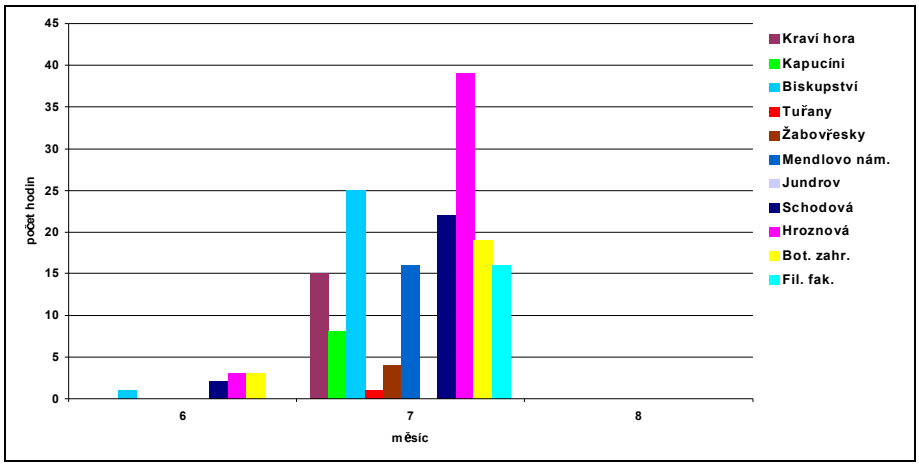
Obr. 3 Počty hodin s velikostí indexu HUMIDEX nad 40



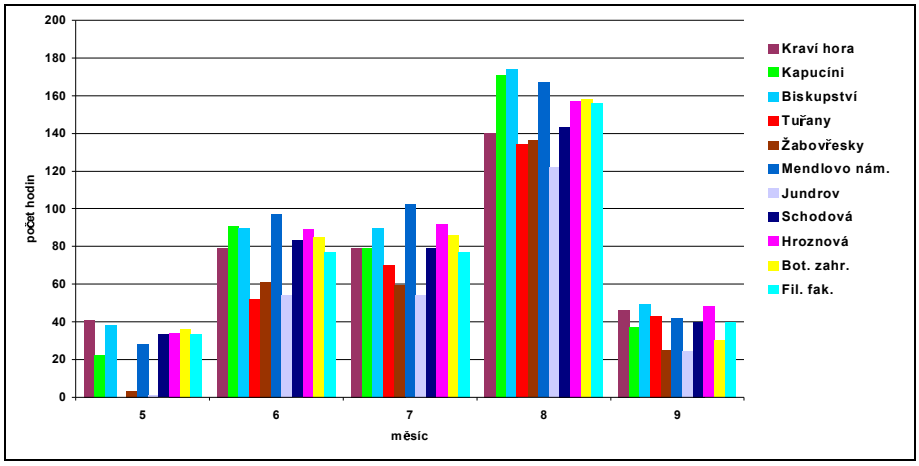
Obr. 4 Počty hodin s velikostí indexu HUMIDEX nad 30



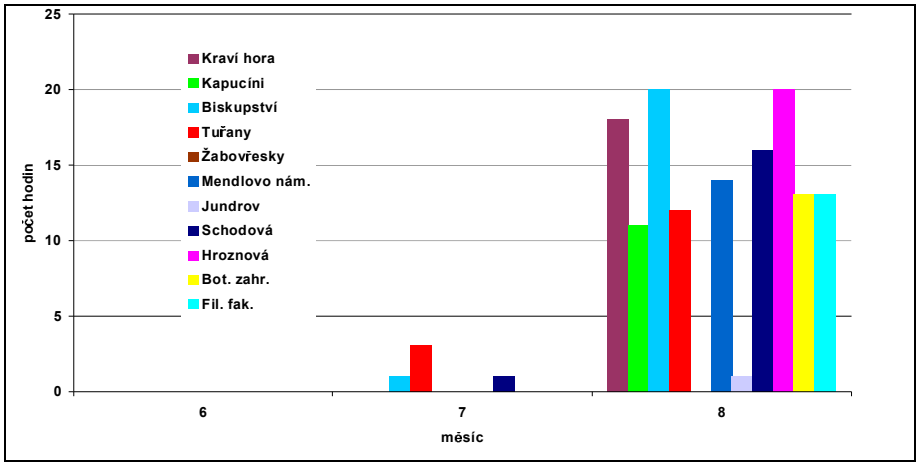
Obr. 5 Počet hodin v jednotlivých měsících roku 2010 s výskytem hodnot indexu HUMIDEX nad 30 v Brně



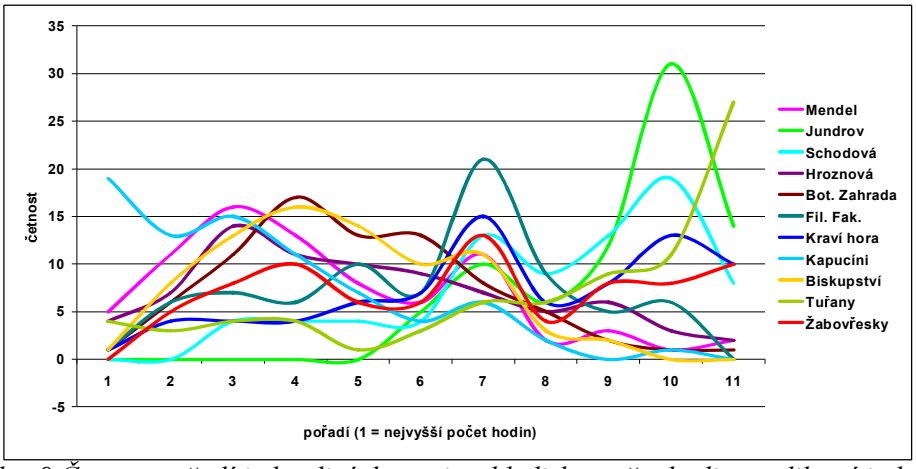
Obr. 6 Počet hodin v jednotlivých měsících roku 2010 s výskytem hodnot indexu HUMIDEX od 40 do 45 (značný diskomfort, omezení aktivit) v Brně



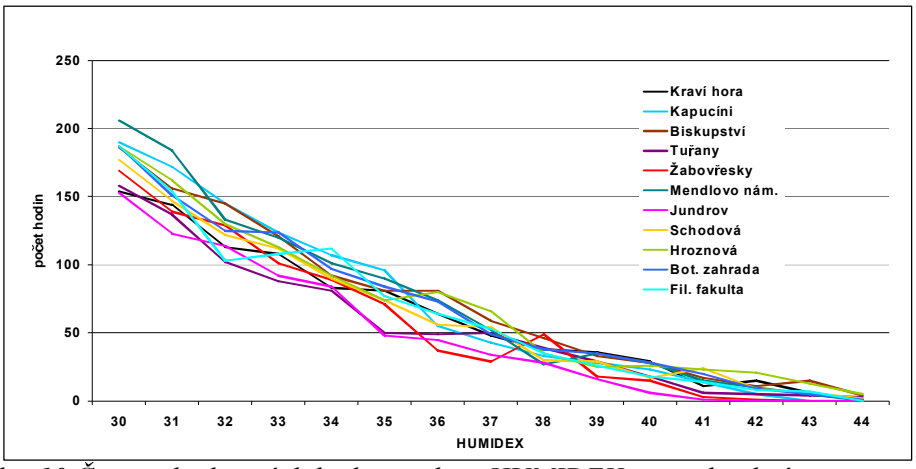
Obr. 7 Počet hodin v jednotlivých měsících roku 2011 s výskytem indexu HUMIDEX nad 30 v Brně



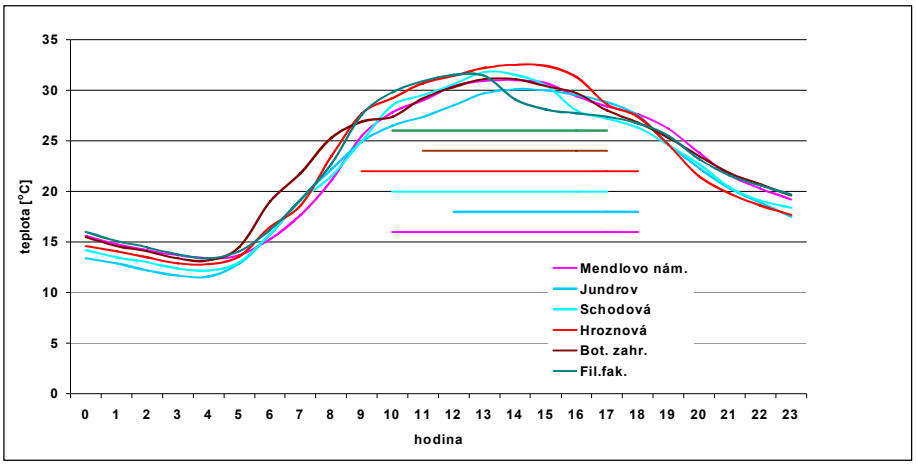
Obr. 8 Počet hodin v jednotlivých měsících roku 2011 s výskytem hodnot indexu HUMIDEX od 40 do 45 (značný diskomfort, omezení aktivit) v Brně



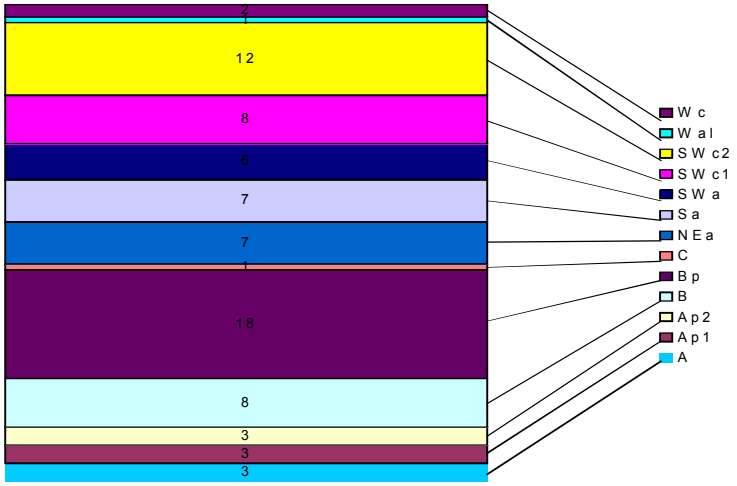
Obr. 9 Četnost pořadí jednotlivých stanic z hlediska počtu hodin s velikostí indexu nad 30 v jednotlivých dnech v letech 2011 a 2011



Obr. 10 Četnost hodinových hodnot indexu HUMIDEX pro jednotlivé stanice



Obr. 11 Teploty vzduchu a délky trvání indexu HUMIDEX nad 30 na vybraných stanicích dne 9. 7. 2010



Obr. 12 Četnost povětrnostních situací, při nichž hodnoty indexu HUMIDEX přesáhly 30

Použitá literatura

Petrovič, Š., 1979. Klíma a bioklíma Bratislavy. VEDA, Bratislava, 272 s.

Litschmann, T., Rožnovský, J., 2009. The incidence of heat index levels in urban areas of Brno. In: Sustainable development and bioclimate: Reviewed Conference Proceedings, Eds. Pribullová and Bičarová. Geophysical Institute of the Slovak Academy of Science and Slovak Bioclimatological Society of the Slovak Academy of Science, Stará Lesná, pp. 205–206. ISBN 978-80900450-1-9.

Pokladníková, H., Chuchma, F., Středa, T., Rožnovský, J., 2009. Výskyt horkých vln a tropických dnů v městském a příměstském prostředí. In Sborník z 30. konference Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí, Úpice, s. 103–109. ISBN 978-80-86303-23-9.

Tomáš, M., 2012. Letní teploty vzduchu v Olomouci v letech 2010-2011 z hlediska teplotního komfortu člověka. Meteorologické zprávy, Vol. 65, No. 3, s. 75–82. ISSN 0026-1173.