

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Bc. Vladimír TOKAR

**Tepelný komfort v městském centru
během letních dní: případová studie
pro vybrané lokality v Brně, Olomouci,
Ostravě a Plzni**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Michal LEHNERT, Ph.D.

Olomouc 2020

Bibliografický záznam

- Autor (osobní číslo):** Bc. Vladimír Tokar (R170083)
Studijní obor: Učitelství geografie pro SŠ (Bi–Z)
- Název práce:** Tepelný komfort v městském centru během letních dní: případová studie pro vybrané lokality v Brně, Olomouci, Ostravě a Plzni
Title of thesis: Thermal comfort in the city centre on summer days: the case study of representative localities in Brno, Olomouc, Ostrava and Pilsen
- Vedoucí práce:** Mgr. Michal Lehnert, Ph.D.
Rozsah práce: 74 stran, 3 vázané přílohy
- Abstrakt:** Předmětem této studie je vyhodnocení tepelného komfortu v městském centru Brna, Olomouce, Ostravy a Plzně v letním období 2018 a 2019 a analýza možného vlivu vodních prvků a vegetace na tepelný komfort v městském prostředí. Výzkum se skládá a) z měření hodnot meteorologických prvků dočasnými meteorologickými stanicemi uzpůsobenými pro výzkum tepelného komfortu a následného stanovení indexu UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*) a b) ze souběžného dotazníkového šetření, které se zaměřuje na subjektivní vnímání tepla respondentů v okolí stanic. Výsledky studie poukazují na výraznou variabilitu teplotních podmínek v městském prostředí a potvrzují predispozici městských center ke vzniku teplotního stresu v letních dnech. Studie prokazuje, že vliv vzrostlé vegetace na snížení pocitové teploty ve městě je výrazně vyšší než vliv vodních prvků.
- Klíčová slova:** tepelný komfort, teplotní stres, UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*), centrum města
- Abstract:** The subject of this study is the evaluation of thermal comfort in the city centre of Brno, Olomouc, Ostrava and Pilsen in the summer period 2018 and 2019 and the analysis of the possible influence of water elements and vegetation on the thermal comfort in the urban environment. The research consists of a) measurement of meteorological elements by temporary meteorological stations adapted for thermal comfort research and subsequent determination of UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*) and b) parallel questionnaire survey, which focuses on human thermal perception of respondents around stations. The results of the study point to a significant variability of thermal conditions in the urban environment and confirm the predisposition of urban centres on summer days to significant heat stress. The study proves that the influence of grown vegetation on the reduction of the perceived temperature in the city is significantly higher than the influence of water elements.
- Keywords:** thermal comfort, heat stress, UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*), city centre

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracoval samostatně a veškerou použitou literaturu a zdroje jsem řádně uvedl v seznamu literatury.

V Olomouci dne 14. dubna 2020

.....

Bc. Vladimír Tokar

Upřímně děkuji Mgr. Michalu Lehnertovi, Ph.D. za cenné rady, návrhy a materiály, které mi poskytl při zpracování práce, za jeho podporu a čas věnovaný mým dotazům. Dále děkuji těm, kteří se zapojili do realizace výzkumu, za jejich čas a úsilí tomu věnované.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Vladimír TOKAR
Osobní číslo:	R170083
Studijní program:	N1501 Biologie
Studijní obor:	Učitelství biologie pro střední školy Učitelství geografie pro střední školy
Téma práce:	Tepelný komfort v městském centru během letních dní: případová studie pro vybrané lokality v Brně, Olomouci, Ostravě a Plzni
Zadávající katedra:	Katedra geografie

Zásady pro vypracování

Cílem diplomové práce je vyhodnotit tepelný komfort na vybraných prostranstvích v centru Brna, Olomouce, Ostravy a Plzně během letních dní. Tepelný komfort bude 1) vypočítán na základě měření dočasně umístěných stanic a 2) vyhodnocen na základě dotazníkové šetření in-situ. Výsledky obou přístupů budou porovnány. Dále bude analyzován vliv vybraných ?modrých? a ?zelených? prvků na tepelný komfort. Výsledky práce budou zpracovány a prezentovány s využitím vhodných statistických a grafických metod.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- GEIGER, R., ARON, R. H., TODHUNTER, P. (2003): *The Climate Near the Ground*. Rowman & Littlefield publishers, Inc., Lanham, 584 s.
- PROŠEK, P., REIN, F. (1982): *Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry*. SPN, 237 s.
- Parsons, K. (2003): *Human thermal environment. The effects of hot, moderate and cold temperatures on human health, comfort and performance*, 2nd ed. New York: CRC.
- DOBROVOLNÝ, P., KRAHULA, L. (2015): The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic. *Moravian Geographical Reports*, 23(3), 87-116. doi: 10.1515/mgr-2015-0013.
- STŘEDOVÁ, H. a kol (2011): *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů*. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 120 s.
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T. P., & Matzarakis, A. (2018): Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of The Total Environment*, 631, 390-406.
- DOBROVOLNÝ, P., KRAHULA, L. (2015): The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic. *Moravian Geographical Reports*, 23(3), 87-116. doi: 10.1515/mgr-2015-0013.
- GEIGER, R., ARON, R. H., TODHUNTER, P. (2003): *The Climate Near the Ground*. Rowman & Littlefield publishers, Inc., Lanham, 584 s.
- PROŠEK, P., REIN, F. (1982): *Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry*. SPN, 237 s.
- Lehnert, M., Geletič, J., Husák, J., Vysoudil, M. (2015): Urban field classification by local climate zones in a medium-sized Central European city: the case of Olomouc (Czech Republic). *Theoretical and applied climatology*, 122(3-4), 531-541.
- Lehnert, M., Geletič, J., Dobrovolný, P., Jurek, M. (2018): Temperature differences among local climate zones established by mobile measurements in two central European cities. *Climate Research*, 75(1), 53-64.

- STŘEDOVÁ, H. a kol (2011): Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 120 s.
- Vysoudil, M., Lehnert, M., Kladivo, P. (2016): HEAT STRESS IN THE URBAN AND SUBURBAN LANDSCAPE AND ITS SPATIAL DIFFERENTIATION THROUGH THE EXAMPLE OF A MEDIUM-SIZED CITY. Dela, 45.
- VYSOUDIL, M. (2012): Podnebi Olomouce. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 211 s.
- Kántor, N., Kovács, A., Takács, Á. (2016): Seasonal differences in the subjective assessment of outdoor thermal conditions and the impact of analysis techniques on the obtained results. International journal of biometeorology, 60(11), 1615-1635.
- Kántor, N., Chen, L., & Gál, C. V. (2018): Human-biometeorological significance of shading in urban public spaces? Summertime measurements in Pécs, Hungary. Landscape and Urban Planning, 170, 241-255.
- Sun, R., & Chen, L. (2012): How can urban water bodies be designed for climate adaptation?. Landscape and Urban Planning, 105(1-2), 27-33.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Michal Lehnert, Ph.D.**
Katedra geografie

Datum zadání diplomové práce: **20. prosince 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. dubna 2020**

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

doc. RNDr. Marián Halás, Ph.D.
vedoucí katedry

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíle.....	10
3 Teoretická východiska.....	11
3.1 Tepelný komfort a teplotní stres	11
3.2 Faktory tepelného komfortu	12
3.3 Hodnocení tepelného komfortu	14
3.4 Teplotní stres v městském prostředí	16
3.5 Mitigace teplotního stresu v městském prostředí.....	18
4 Účelová charakteristika území.....	19
5 Metody	21
5.1 Výzkumné lokality a termíny	21
5.2 Měření meteorologických prvků	24
5.3 UTCI (Universal Thermal Comfort Index)	26
5.4 Dotazníkové šetření.....	27
6 Výsledky měření	29
6.1 Měření 12. 08. 2019 – Brno	29
6.2 Měření 28. 08. 2019 – Brno	32
6.3 Měření 15. 07. 2018 – Olomouc	35
6.4 Měření 24. 07. 2018 – Olomouc	38
6.5 Měření 01. 08. 2018 – Olomouc	41
6.6 Měření 22. 08. 2018 – Ostrava	44
6.7 Měření 09. 08. 2019 – Ostrava	47
6.8 Měření 24. 07. 2019 – Plzeň	50
6.9 Měření 25. 07. 2019 – Plzeň	53
7 Výsledky dotazníkového šetření.....	56
7.1 Dotazníkové šetření 12. 08. 2019 – Brno.....	56
7.2 Dotazníkové šetření 28. 08. 2019 – Brno.....	57
7.3 Dotazníkové šetření 15. 07. 2018 – Olomouc.....	58
7.4 Dotazníkové šetření 24. 07. 2018 – Olomouc.....	59
7.5 Dotazníkové šetření 01. 08. 2018 – Olomouc.....	60
7.6 Dotazníkové šetření 22. 08. 2018 – Ostrava	61
7.7 Dotazníkové šetření 09. 08. 2019 – Ostrava	62

7.8 Dotazníkové šetření 24. 07. 2019 – Plzeň.....	63
7.9 Dotazníkové šetření 25. 07. 2019 – Plzeň.....	64
8 Shrnutí a diskuze výsledků	65
9 Závěr.....	67
10 Summary.....	68
11 Seznam literatury	69
12 Přílohy.....	74

1 Úvod

Tepelný komfort v městském prostředí se v posledních desetiletích stává jednou z nejvýznamnějších oblastí výzkumu klimatu města. Teplotní změny vedoucí ke vzniku efektu městského tepelného ostrova a lokalit výrazně predisponovaných ke vzniku teplotního stresu se dotýkají i středoevropských měst, což dokládá celá řada provedených studií (Kántor a kol., 2018; Kovács a kol., 2016; Lindner-Cendrowska, 2013). Extrémně vysoké teploty v městských centrech mají negativní dopad na využívání veřejných prostranství a rozvoj městských center (Cohen a kol., 2013), na životní prostředí (Lakatos a Gulyás, 2003) a především na zdraví obyvatelstva (Kyselý a Huth, 2004; Urban a kol., 2013). Potřebu efektivního zmírnění těchto negativních dopadů si uvědomují i představitelé měst, kteří si často nechávají zpracovávat nezávislé (bio)klimatologické posudky, aby mohli zahájit nápravná řízení a změny urbanistické koncepce měst. Příkladem takovýchto prací je i projekt *Identifikace lokalit ohrožených teplotním stresem – nástroj pro udržitelné plánování měst* ve spolupráci Ústavu výzkumu globální změny Akademie věd České republiky a Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, k jehož výsledkům by měly přispět i poznatky této práce.

2 Cíle

Cílem diplomové práce je vyhodnotit tepelný komfort na vybraných veřejných prostranstvích v centru Brna, Olomouce, Ostravy a Plzně během letních dní let 2018 a 2019. Tepelný komfort bude hodnocen a) na základě pocitové teploty stanovené z účelového měření meteorologických prvků a b) na základě subjektivního vnímání teploty na podkladě souběžně prováděného dotazníkového šetření. Výsledky obou přístupů budou v práci porovnány. Dále bude analyzován vliv vybraných vodních prvků a prvků vegetace na tepelný komfort ve městě. Výsledky práce by měly přispět k rozšíření poznatků o tepelném komfortu ve městech v letních dnech.

3 Teoretická východiska

3.1 Tepelný komfort a teplotní stres

Tepelný komfort bývá často definován jako stav lidské mysli vyjadřující míru spokojenosti s teplotními podmínkami prostředí (ASHRAE, 1966). Tato obecně dohodnutá definice však vznikla pro potřeby zkoumání tepelného komfortu ve vnitřním prostředí a jejím zcela zásadním nedostatkem je ztotožnění tepelného komfortu pouze s psychickým stavem jedince (Parsons, 2003; Nikolopoulou, 2011). Dle Heijse (1994) nelze z definice odvodit typ duševního stavu vystihující subjektivní pocit tepelného pohodlí a zároveň tento duševní stav objektivně měřit a hodnotit. I z těchto důvodů byla definice tepelného komfortu ve 20. století diskutována a podmínky jeho dosažení podrobeny aktivnímu výzkumu, který přinesl především možnost objektivizace hodnocení tepelného komfortu na základě procesů lidské fyziologie a zákonitostí fyzického prostředí (Parsons, 2003). Chen a Ng (2012) považují 80. léta 20. století za průlomové období, kdy se pozornost studií tepelného komfortu přesunula z vnitřního prostředí na venkovní prostranství. Höppe (2002) ve svém příspěvku popsal základní rozdíly mezi vnímáním totožných podmínek fyzického prostředí ve vnitřním a vnějším prostředí a zdůraznil nutnost odlišení přístupů pro posuzování tepelného komfortu v obou prostředích. Odlišné vnímání komfortní zóny ve vnitřním a venkovním prostředí potvrdil ve své studii i Honjo (2009). Podrobný přehled studií tepelného komfortu ve venkovním prostředí v různých klimatických oblastech přinesl Potchter a kol. (2018).

Dle Parsonse (2003) je prokazatelné, že tepelné prostředí ovlivňuje lidské chování a nenaplnění optimálního tepelného komfortu jedince má vliv na jeho psychickou pohodu a zdravotní stav. Lidský organismus je vybaven mechanismem fyziologické termoregulace, řízeným z hypotalamu a zodpovědným za rovnováhu mezi příjmem, produkcí a výdejem tepla. Pokud teplotní prostředí vykazuje tendenci zvyšování teploty jedince, termoregulační systém se zrychluje a způsobuje zvýšenou zátěž organismu. Tento jev detailně popsán a prozkoumán Leitheadem a Lindem (1964) bývá označován jako teplotní stres. V případě působení extrémně nízkých teplot může naopak docházet k chladovému stresu (Parsons, 2003). McMichael a kol. (1996) shrnuli studie, které potvrzují, že působení teplotního popř. chladového stresu zvyšuje morbiditu a mortalitu, a to zvláště osob starších, dětí, osob s omezenou mobilitou a osob trpících kardiovaskulárním onemocněním. Urban a kol. (2013) srovnávali mortalitu pacientů s kardiovaskulární diagnózou v důsledku působení teplotního a chladového stresu v urbánním regionu Prahy a rurálním regionu jižních Čech v letech 1994–2009. V případové studii byla zjištěna nadměrná mortalita v extrémně teplých dnech (10 % nejteplejších dní za období 1994–2009) v obou regionech, přičemž mortalita v Praze byla podstatně vyšší než v jižních Čechách. Vysoudil a kol. (2016) při zkoumání teplotního stresu ve středně velkém městě – Olomouci v letním období prokázali korelaci mezi chodem vysokých teplot vzduchu i zvýšenou vlhkostí vzduchu a zvýšením mortality. Teplotní stres má kromě dopadů na zdraví jedince negativní vliv na využívání veřejných prostranství a rozvoj městských center (Cohen a kol., 2013) a vliv na životní prostředí (Čeplová a kol., 2017; Lakatos a Gulyás, 2003).

3.2 Faktory tepelného komfortu

Z obecných zákonů termodynamiky je zřejmé, že tepelný komfort lidského jedince je nejméně ovlivněn teplotou okolního prostředí (Parsons, 2003). Intenzita tepelné výměny mezi lidským organismem a prostředím závisí na jeho vlastnostech, množství tepelné energie a procesu fyziologické termoregulace jedince. Pro hodnocení tepelného komfortu byly odvozeny základní klimatické parametry vystihující tepelné prostředí jedince: teplota vzduchu T_a [°C] a radiační teplota T_r [°C], která byla McIntyrem (1980) definována jako teplota absolutně černého tělesa, která má hodnotu intenzity vyzařování tepla rovnou intenzitě vyzařování tepla reálného tělesa. Pro účely bioklimatologických modelů tepelného komfortu (Fanger, 1972; Gagge a kol., 1986; Höppe a Mayer, 1987; Höppe, 2002), se využívá její operativní hodnota – střední radiační teplota T_{mrt} [°C], která vyjadřuje rovnoměrnou teplotu okolních ploch, při níž se sdílí radiací stejné množství tepla jako ve skutečném heterogenním prostředí (Parsons, 2003). Jak dále Parsons (2003) upozornil, je rychlost výměny tepla mezi lidským tělem a prostředím, a zároveň tedy teplota lidského těla, ovlivněna rychlostí proudění vzduchu V [$m \cdot s^{-1}$] a vlhkostí vzduchu H [%]. Obecně platí, že čím vyšší hodnotu relativní vlhkosti vzduchu prostředí vykazuje, tím více se snižuje rychlost a intenzita výměny tepla evapotranspirací (Parsons, 2003). Na základě výše zmíněného lze tedy uvažovat následující čtyři základní environmentální parametry tepelného komfortu: teplota vzduchu T_a [°C], radiační teplota T_r [°C], rychlost proudění vzduchu V [$m \cdot s^{-1}$] a vlhkost vzduchu H [%].

Další dva významné parametry hodnocení tepelného komfortu tvoří parametry termofyziologické: energetický výdej člověka M [$W \cdot m^{-2}$] a tepelný odpor oděvu I [clo] (Fanger, 1972). Vliv tepelného odporu oděvu na tepelný komfort jedince byl dle Potchtera a kol. (2018) uvažován v řadě studií, ale z důvodu možnosti přizpůsobení si oděvu v důsledku změny okolní teploty je jeho posuzování zpravidla problematické. V případě hodnocení energetického výdeje organismu platí, že tepelného pohodlí jedince v klidovém stavu je dosaženo při nízké až nulové výměně tepla evaporací v podobě potu (Höppe, 1999), a že zrychlování metabolismu v důsledku zvýšené fyzické aktivity snižuje komfortní teplotní zónu (neutrálně vnímaný rozsah teplot) k nižším teplotám prostředí (Givoni, 1976). Jak však autoři (Fanger, 1972; Höppe, 1999) uvedli, je energetický výdej jedince ovlivněn věkem, pohlavím, zdravotním stavem, psychickým stavem nebo životním stylem, na základě čehož odvodili další důležité parametry tepelného komfortu – psychologické a behaviorální. Parsons (2003) uvedl, že starší lidé obecně preferují vyšší teploty vzduchu než mladí jedinci. Dle Fanger (1972) tato teorie souvisí s nižší metabolickou rychlostí starších lidí. Zatímco výsledky studií z 20. století (Rohles, 1969; Collins a Hoinville, 1980) významným rozdílem preference teploty dle věku nenasvědčovaly, dnes existují výzkumy, které je potvrdily. Například Ruddy a Scott (2015) zjistili, že lidé ve věku 55 a více let preferují vyšší teploty než lidé nižších věkových kategorií. Srovnávání studií založených na teplotní preferenci věkových skupin je však obtížné, protože neexistuje jejich jednotné členění (Potchter a kol., 2018). V případě pohlaví Fanger (1972) poznamenal, že ženy jsou citlivější na odchylky od teplotního optima více než muži a dle studie Krüger a Rossi (2011) platí, že ženy se často ve vyšších teplotách cítí hůře než muži. Ze studií Yoshida a kol. (1993, 2000) lze vyvodit, že lidé se zdravotním fyzickým nebo mentálním postižením mohou mít systém fyziologické termoregulace narušen, případně vnímání tepelného pohodlí těchto jedinců může být ovlivněno užívanou medikací. Dle výzkumu Parsonse a Webba (1999) však významné rozdíly ve vnímání tepelného komfortu mezi skupinou zdravotně postižených a zdravých jedinců detekovány nebyly, a jak autoři zdůraznili, je nutno k možnému ovlivnění vnímání tepelného pohodlí

zdravotně postižených jedinců přistupovat individuálně. Studie Laschewského a Jendritzského (2002) dále poukázala na to, že zvýšenou zátěž termoregulačního systému z důvodu růstu teplotního stresu snášejí hůře osoby s kardiovaskulární nebo respirační nedostatečností a osoby s psychickým stresem. Studie Zhou a kol. (2013) potvrdila vyšší termoregulační zátěž i u obézních jedinců, dle Parsonse (2003) i u těhotných žen, a proto i u nich bývá komfortní teplotní zóna (neutrálně vnímaný rozsah teplot) posunuta k nižším hodnotám teploty okolního prostředí. Jak z výše uvedeného vyplývá, fyziologické, psychologické a behaviorální faktory spolu úzce souvisí a nelze je tak posuzovat zcela odděleně.

S psychologickými a behaviorálními parametry tepelného komfortu úzce souvisí pojem fyzické teplotní adaptace, který v souvislosti s tepelným komfortem popsala Nikolopoulou a kol. (1999). Dle autorky lidé podnikají kroky ke zlepšení tepelného pohodlí změnami v osobním stavu (úprava oblečení, aktivity, pozice apod.) – reaktivní adaptace, nebo změnou prostředí – interaktivní adaptace. Dále bylo zjištěno, že pro spokojenost lidí s prostředím je velmi důležitá adaptivní příležitost, označující míru, jakou se mohou lidé přizpůsobit prostředí. Jak uvedla Nikolopoulou a kol. (2011), nízká adaptivní příležitost vede k nespokojenosti a stresu jedince. Hawkes a Willey (1977) dále zdůraznili, že pocit tepelného pohodlí značně ovlivňuje předchozí zkušenost (pobyt v klimatizovaném prostředí apod.) a Baker (1993) v souvislosti s teplotní adaptací považuje za důležitou dobu expozice podmínkám.

Potchter a kol. (2018) porovnáním studií vystihujících vnímání komfortní teploty v různých klimatických oblastech světa klasifikovaných dle Köppena popsal rozdílnost rozsahu neutrálně vnímaných teplot v jednotlivých oblastech, a potvrdil tak vliv klimatické aklimatizace popsané Matzarakisem a kol. (1999). Kántor a kol. (2016) na případu maďarského města Szeged potvrdil rovněž efekt sezónní teplotní aklimatizace, kdy lidé v letních měsících vnímali své teplotní pohodlí při vyšších teplotách než na jaře a podzim.

3.3 Hodnocení tepelného komfortu

Konvenční teorie hodnocení tepelného komfortu lidského jedince vycházejí z předpokladu fyziologické termoregulace organismu, která zahrnuje procesy odpovědné za udržení rovnováhy mezi příjmem, produkcí a výdejem tepla s cílem udržení konstantní tělesné teploty přibližně 37,0 °C. Tuto tepelnou výměnu mezi lidským tělem a prostředím vystihuje obecná rovnice tepelné energetické bilance lidského těla (Parsons, 2003):

$$M - W = E + R + C + K + S,$$

kde M je energetický výdej [$W \cdot m^{-2}$], W je fyzická práce [$W \cdot m^{-2}$], E je výměna tepla evaporací [$W \cdot m^{-2}$], R je výměna tepla radiací [$W \cdot m^{-2}$], C je výměna tepla konvekcí [$W \cdot m^{-2}$], K je výměna tepla kondukcí [$W \cdot m^{-2}$] a S je akumulace tepla v těle [$W \cdot m^{-2}$]. Tato obecná rovnice tepelné bilance lidského těla byla ve 20. století pro účely tvorby bioklimatologických modelů hodnocení tepelného komfortu často autory modifikována a její členy dále rozvíjeny:

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = R + C \text{ (Fanger, 1972),}$$

kde H je produkce tepla lidského těla [$W \cdot m^{-2}$], E_d je výměna tepla evaporací difuzí kůží [$W \cdot m^{-2}$], E_{sw} je výměna tepla evaporací potu z povrchu kůže [$W \cdot m^{-2}$], E_{re} je výměna latentního tepla respirací [$W \cdot m^{-2}$], L je výměna citelného tepla respirací [$W \cdot m^{-2}$], K je přenos tepla mezi kůží a oděvem [$W \cdot m^{-2}$], R je výměna tepla radiací z povrchu oděvu [$W \cdot m^{-2}$] a C je přenos tepla konvekcí z povrchu oděvu [$W \cdot m^{-2}$]. Nebo dále rovnice:

$$M + W + R + C + E_d + E_{re} + E_{sw} + S = 0 \text{ (Höppe, 1999),}$$

kde M je energetický výdej [$W \cdot m^{-2}$], W je fyzická práce [$W \cdot m^{-2}$], R je výměna citelného tepla radiací [$W \cdot m^{-2}$], C je výměna citelného tepla konvekcí [$W \cdot m^{-2}$], E_d je výměna latentního tepla evaporací difuzí kůží [$W \cdot m^{-2}$], E_{re} je výměna tepla respirací [$W \cdot m^{-2}$], E_{sw} výměna tepla evaporací potu z povrchu kůže [$W \cdot m^{-2}$] a S je akumulace tepla v těle [$W \cdot m^{-2}$].

Od 20. století vznikaly četné bioklimatologické termofyziologické modely (Fanger, 1972; Gagge a kol., 1986; Höppe, 1993; Höppe, 2002), které simulovaly ovlivnění lidské termoregulace mikroklimatickými podmínkami a psychologickými a behaviorálními faktory (Chen a Ng, 2012). Na základě těchto termofyziologických modelů byly autory vytvořeny bioklimatologické indexy a stanoveny metody hodnocení tepelného komfortu. Dle Potchtera a kol. (2018) jsou v dnešní době pro studie tepelného komfortu vnějšího prostředí užívány zejména tyto indexy: PMV (*Predicted Mean Vote*), PET (*Physiological Equivalent Temperature*) a UTCI (*Universal Thermal Climate Index*), a proto budou níže podrobněji rozebrány.

První významnou skupinou bioklimatologických indexů hodnocení tepelného komfortu jsou indexy vytvořeny pro ustálený stav termoregulace lidského jedince, kterého dle předpokladu těchto indexů jedinec vystavený podmínkám prostředí časem dosáhne (Chen a Ng, 2012). Index PMV (*Predicted Mean Vote*) představený Fangerem (1972) původně neuvažoval vliv radiační teploty na tepelný komfort jedince, a proto byl aplikovatelný pouze ve vnitřní prostředí. Až Jendritzky a Nübler (1981) adaptovali tuto metodu pro použití venku. PMV je index vycházející z tzv. jedno-uzlového termofyziologického modelu (Fanger, 1972), který považuje lidské tělo za homogenní strukturu, a uvažuje tak totožný proces termoregulace celého lidského těla (Fangerova

rovnice termoregulace viz výše). Index PMV je založen na predikci očekávaného hodnocení tepelného pocitu skupinou jedinců při rozdílných podmínkách ovlivňujících tepelný komfort na sedmistupňové škále (-3 = chlad, +3 = horko), přičemž platí, že hodnota PMV = 0 vystihuje stav optimálního tepelného pohodlí jedince.

V roce 1987 byl Höppem a Mayerem představen a v roce 1999 Höppem podrobněji rozpracován další index pro ustálený stav termoregulace jedince – index PET (*Physiological Equivalent Temperature*). Index je založen na tzv. mnichovském energetickém bilančním modelu – MEMI (Höppe, 1993), který podrobně simuloval ovlivnění jednotlivých členů revidované Höppovi (1999) rovnice termoregulace (viz výše) podmínkami tepelného komfortu. Dle Höppa (1999) tak platí, že výměna tepla konvekcí (C) a respirací (E_{re}) je ovlivněna teplotou vzduchu T_a , výměna tepla evaporací (E_d , E_{sw}) a respirací (E_{re}) vlhkostí vzduchu H , výměna tepla konvekcí (C) a evaporací potu z povrchu kůže (E_{sw}) rychlostí proudění vzduchu V a výměna tepla radiací (R) je dána radiační bilancí člověka a prostředí. Model rovněž zohledňuje tepelný odpor oděvu a fyzickou aktivitu jedince. Termofyziologický model MEMI je založen na tzv. Piercově dvou-uzlovém modelu (Gagge a kol., 1986), který považuje lidské tělo za dvě izotermální části – kůže a jádro, mezi kterými probíhá výměna tepla s okolním prostředím. Index PET stanovuje fyziologicky ekvivalentní teplotu [°C], která odpovídá teplotě vzduchu ve vnitřním prostředí, kdy je vyrovnaná energetická bilance člověka udržována teplotou kůže a teplota jádra a rychlost pocení odpovídá hodnotícím podmínkám (Höppe, 1999). Experimentálně bylo zjištěno, že komfortní zóna stanovená indexem PET je u jedince ve vnitřním prostředí za podmínek: $T_a = T_{mrt}$, $V = 0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $H = 50 \%$, produkce lidského tepla = 80 W a tepelný odpor oděvu = 0,9 clo v rozmezí 18,0 až 23,0 °C, teplota < 18,0 °C pak indikuje chladový stres, teplota > 23,0 °C teplotní stres. Užívaná stupnice tepelného stresu PET čítá devět kategorií (Matzarakis a Mayer, 1996).

Jak uvedl Höppe (2002), výše popsané indexy vycházející z předpokladu ustáleného stavu nemohou reflektovat dynamické aspekty lidské tepelné adaptace, což ve své studii potvrdili i Chen a Ng (2012). I proto byl v roce 2002 představen index UTCI (*Universal Thermal Climatic Index*) pro hodnocení venkovního tepelného komfortu (Höppe, 2002). Tento index je založen na dynamickém termofyziologickém multi-uzlovém modelu, později popsaném jako tzv. UTCI-Fiala multi-uzlový model (Fiala a kol., 2012), který považuje lidské tělo za několik izotermálních částí, mezi nimiž může probíhat tepelná výměna s okolním prostředím. Model UTCI zahrnuje numerické vzorce vztahů výměny tepla lidského jedince s prostředím, termoregulačních a percepčních reakcí (Fiala a kol., 2012), a proto plně reflektuje všechny mikroklimatické, psychologické i behaviorální faktory tepelného komfortu. Výsledná ekvivalentní teplota [°C] tepelného pocitu je poté definována jako teplota vzduchu referenčního stavu poskytující totožnou dynamiku fyziologické odpovědi jedince (Höppe, 2002). Na základě podrobných kritérií této dynamické fyziologické odpovědi organismu byla experimentálně stanovena desetistupňová škála tepelného stresu UTCI (Bröde a kol., 2012), přičemž ekvivalentní teplota 9,0 až 26,0 °C značí zónu bez teplotního stresu (18,0 až 26,0 °C zónu tepelné pohody), teplota < 9,0 °C pak indikuje chladový stres, teplota > 26,0 °C teplotní stres.

Podrobný přehled studií, které pro hodnocení tepelného komfortu aplikovaly jednu z výše uvedených metod, případně jinou méně často užívanou, přinesl Potchter a kol. (2018). Chen a Ng (2012) zdůraznili, že indexy PET, PMV a UTCI jsou univerzální a aplikovatelné v různých klimatických oblastech. Potchter a kol. (2018) pak poznamenal, že aplikovatelnost indexu v konkrétních podmínkách hraje důležitější roli než jeho přesnost.

3.4 Teplotní stres v městském prostředí

Intenzivní urbanizace a procesy s ní spojené vedou k zásadním proměnám městského klimatu (Geiger a kol., 2003). Mezi hlavní faktory ovlivňující a formující městské klima patří dle Středové a kol. (2011) změny v charakteru aktivních povrchů, znečištění atmosféry a produkce odpadního tepla, které modifikují průběh hodnot většiny meteorologických prvků. Nejdůkladněji zdokumentovaným aspektem městského klimatu je anomálie teploty vzduchu známá jako městský tepelný ostrov (Geiger a kol., 2003). Ten lze obecně charakterizovat jako „*oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní a přízemní vrstvě atmosféry nad městem nebo průmyslovou aglomerací ve srovnání s venkovským okolím, především v důsledku umělého aktivního povrchu (asfalt, beton apod.), který podmiňuje větší akumulaci tepla a menší albedo ve městě*“ (ČMeS, 2020). Větší akumulace tepla ve městě je podmíněna intenzivním pohlcováním krátkovlnného záření a jeho četnými odrazy v důsledku převahy vertikálně orientovaných ploch urbánní zástavby (Voogt a Oke, 2003). Dále platí, že uzavřené prostory mezi budovami ve městě omezují dlouhovlnné záření a snižují tak tepelné ztráty v nočních hodinách, z čehož plyne vyšší noční teplota vzduchu v centru města než v krajině příměstské (Oke, 1997). Ke vzniku efektu městského tepelného ostrova rovněž přispívá snížená rychlost až stagnace větru ve městě v důsledku drsnosti povrchů (Středová a kol., 2011), snížení latentního toku tepla v důsledku snížení množství vody k evapotranspiraci (dáno velkým podílem ploch nepropustných povrchů) a redukce turbulentního přenosu tepla v důsledku geometrie městské zástavby (Voogt a Oke, 2003). Vznik městského tepelného ostrova je také spojen s často vyšším znečištěním atmosféry nad městem než nad příměstskou krajinou a vyšší produkcí odpadního tepla (vytápění, transformace mechanické energie apod.) ve městě (Oke, 1997). Intenzitu městského tepelného ostrova tak na základě výše popsaného ovlivňují především místní geografické podmínky, velikost a prostorová distribuce ploch krajinného pokryvu, tepelné vlastnosti materiálů povrchů a staveb, geometrie zástavby a antropogenní produkce tepla (Oke, 1997; Grimmond, 2006). Dle Geigera a kol. (2003) vykazuje městský tepelný ostrov během roku v průměru o 1,0 až 2,0 °C vyšší teplotu vzduchu než příměstské prostředí. V případě města Olomouce byl Lehnertem a kol. (2018) detekován efekt městského tepelného ostrova o intenzitě 2,0 °C, v případě města Brna Dobrovolným a Krahulou (2015) o intenzitě až 5,0 °C. Tepelný ostrov města je dále podrobněji rozebrán v četných pracích v českém prostředí (např. Beranová a Huth, 2005; Středová a kol., 2011; Geletič a Vysoudil, 2012). Faktory determinující tepelný ostrov města (a samotný tepelný ostrov města) jsou důležitým předpokladem podmiňujícím vznik teplotního stresu v městském centru a výrazně ovlivňují tepelný komfort v městském prostředí.

Mezi první autory, kteří se zabývali tepelným komfortem v městském prostředí, patřil Bosselmann a kol. (1988). Jejich terénní výzkum realizovaný ve dvou typech městského prostředí San Francisca výrazně ovlivnil názory na zlepšení designu a využití veřejného prostranství města. Podobná studie v rámci architektonického a urbanistického výzkumu realizována v městském prostředí Cambridge (Nikolopoulou a kol., 2001) dále zdůraznila velký rozpor mezi výsledky získanými na základě měření meteorologických prvků a výsledky dotazníkového šetření. Tyto aspekty tak potvrzují teorie o nutnosti posuzování tepelného komfortu komplexně. Ve střeoevropském prostoru se v posledních desetiletích teplotním stresem a tepelným komfortem ve městech zabývali např. Ali-Toudert a Mayer (2006), Kántor a kol. (2016), Kántor a kol. (2018), Dunjić (2019) nebo Vít a Kopp (2019). Hlavní roli při vzniku teplotního stresu autoři (Ali-Toudert a Mayer, 2006; Kántor a kol., 2018) připisují radiačním podmínkám, které jsou přímo ovlivněny místním prostředím

a oblačností. Provedené studie ve středoevropském prostoru se tak v posledních desetiletích zaměřují především na geometrii ulic a dalších veřejných prostranství a jejich expozici slunečnímu záření, na základě čehož pak autoři studií uvažují efektivní mitigaci teplotního stresu ve městech a případně navrhují opatření k zajištění tepelného komfortu měst.

3.5 Mitigace teplotního stresu v městském prostředí

Předpokladem zmírnění teplotního stresu v městském prostředí je dle studie Ali-Touderta a Mayera (2006) snížení střední radiační teploty (T_{mrt}), čehož je nejefektivněji dosaženo zastíněním. V mnoha pracích byl zkoumán efekt stínu budov (Ali-Toudert a Mayer, 2006; Emmanuel a kol., 2007), stínu stromů (Lee a kol., 2013; Kántor a kol., 2018) nebo jiných stínících zařízení (Kántor a kol., 2018). Dle Middela a kol. (2016) je stínící efekt jednotlivých prvků v míře redukce teplotního stresu téměř srovnatelný. Studií Lee a kol. (2013) bylo však zjištěno, že stínící efekt stromů má mírně vyšší vliv na pociťování tepelné pohody jedince než stínící efekt budov. Kántor a kol. (2018) na případové studii několika náměstí v maďarském městě Pécs pak prokázal, že zastínění vegetačním porostem snižuje teplotní stres efektivněji než umělá zastínění v podobě plachet natažených nad veřejným prostranstvím. Podíl ploch vegetace v městském prostředí je tak dle Geigera a kol. (2003) významným faktorem, který může mírnit teplotní stres ve městě, a to nejen díky stínění, ale i ochlazením vzduchu evapotranspirací, což bylo prokázáno mimo jiné i případovou studií v Německu (Höppe a Mayer, 1987).

Vlivem vodních ploch na teplotní stres ve městě se zabývali Sun a Chen (2012). Jejich studie potvrdila negativní korelaci mezi intenzitou městského tepelného ostrova a celkovou vodní plochou ve městě. Autoři rovněž zdůraznili, že větší ochlazovací efekt je spojen s větším množstvím vodních objektů ve městě (za předpokladu zachování stejné celkové vodní plochy ve městě). Vlivu vodních prvků na tepelný komfort měst však byla v literatuře věnována značně menší pozornost než vlivu prvků vegetace. Vliv vodních prvků na teplotní stres ve městech byl uvažován např. ve studii Xu a kol. (2010) nebo Koc a kol. (2018).

4 Účelová charakteristika území

Ve čtyřech krajských městech České republiky – v Brně, Olomouci, Ostravě a Plzni (*obr. 1*), zapojených do výzkumu tepelného komfortu v letech 2018 a 2019, žije celkem 950 tisíc obyvatel, což je asi 9,0 % populace České republiky (ČSÚ, 2019). Všechna uvedená města, stejně jako většina území České republiky, náleží do oblasti mírného oceánického podnebí (Cfb). Zatímco v případě Brna a Olomouce byl poměrně detailně popsán efekt městského tepelného ostrova (Dobrovolný a Krahula, 2015; Vysoudil a kol., 2012; Lehnert a kol., 2018), pro Ostravu a Plzeň podrobné studie zatím chybí (Arsenović a kol., 2019). Charakteristiky zájmových měst uvádí *tab. 1* a jejich polohu zachycuje *obr. 1*.

Počtem obyvatel druhé největší město České republiky – Brno (381 tisíc obyvatel) je lokalizováno na hranici Západních Vněkarpatských sníženin a Brněnské vrchoviny. Zatímco jižně a východně od města převažuje rovinatý reliéf Dyjskosvrateckého úvalu a Vyškovské brány, severně od města se zvedá Dražanská vrchovina, jihozápadně pak Bobravská vrchovina. Město leží na soutoku řek Svatky a Svitavy v nadmořské výšce 190 – 479 m n. m. Jihovýchodní část města patří do velmi teplé (T4) na srážky chudé oblasti, zbytek města do teplé (T2) na srážky chudé oblasti (NGI, 2019a). Průměrná roční teplota vzduchu v Brně byla v roce 2018 11,7 °C (*tab. 1*). V případě města Brna byl Dobrovolným a Krahulou (2015) popsán efekt městského tepelného ostrova o intenzitě až 5,0 °C. Moravské náměstí v Brně (*obr. 2a*) patří do oblasti městské nesouvislé zástavby, zatímco náměstí Svobody (*obr. 2b*) do městské souvislé zástavby (NGI, 2019b).

V krajském městě Olomouckého kraje a centru etnografické oblasti Hané – Olomouci žije 101 tisíc obyvatel (ČSÚ, 2019). Převážně rovinaté město v nadmořské výšce 209 – 374 m n. m. leží v Hornomoravském úvalu na nivách řeky Moravy, která městem protéká. Město patří do teplé (T2) klimatické oblasti (NGI, 2019a). Průměrná roční teplota vzduchu v Olomouci byla v roce 2018 11,5 °C (*tab. 1*). Tepelný ostrov Olomouce podrobně zkoumal Vysoudil a kol. (2012) a Lehnertem a kol. (2018) byl popsán tento efekt o intenzitě asi 2,0 °C. Horní náměstí v Olomouci (*obr. 2c*) se Sloupem Nejsvětější Trojice v kulturním dědictví UNESCO leží v oblasti městské souvislé zástavby. V celém městě poté převažují plochy městské nesouvislé zástavby (NGI, 2019b).

V Ostravě, městě spojeném především s těžbou černého uhlí v Hornoslezské černouhelné pánvi, žije 289 tisíc obyvatel (ČSÚ, 2019). Ostrava leží v Ostravské pánvi Severních Vněkarpatských sníženin v nadmořské výšce 208 – 334 m n. m. Na území města se do řeky Odry vlévají toky Ostravice a Opavy. Město náleží do teplé (T2) klimatické oblasti (NGI, 2019a). Průměrná roční teplota vzduchu v Ostravě činila v roce 2018 10,7 °C (*tab. 1*). Zatímco v celém městě převažují plochy městské nesouvislé zástavby a plochy průmyslové a obchodní zóny, Masarykovo náměstí (*obr. 2d*) leží v okrajové části městské souvislé zástavby (NGI, 2019b).

V západočeské Plzni žije 172 tisíc obyvatel (ČSÚ, 2019). Město leží na pomezí Plaské a Švihovské pahorkatiny v nadmořské výšce 310 – 380 m n. m. na jihozápadním okraji geologicky významné lokality – Barrandienu. Na území města vzniká soutokem řek Mže a Radbuzy řeka Berounka, do které se dále vlévá řeka Úslava. Město leží v teplé (T2) klimatické oblasti (NGI, 2019a). Průměrná roční teplota vzduchu v Plzni byla v roce 2018 10,6 °C (*tab. 1*). V celkové ploše Plzně převažují průmyslové a obchodní plochy a plochy městské nesouvislé zástavby. Náměstí Republiky (*obr. 2e*) i Smetanovy sady (*obr. 2f*) v Plzni patří do oblasti městské souvislé zástavby (NGI, 2019b).

Tab. 1 Základní charakteristiky měst výzkumu tepelného komfortu v letech 2018 a 2019

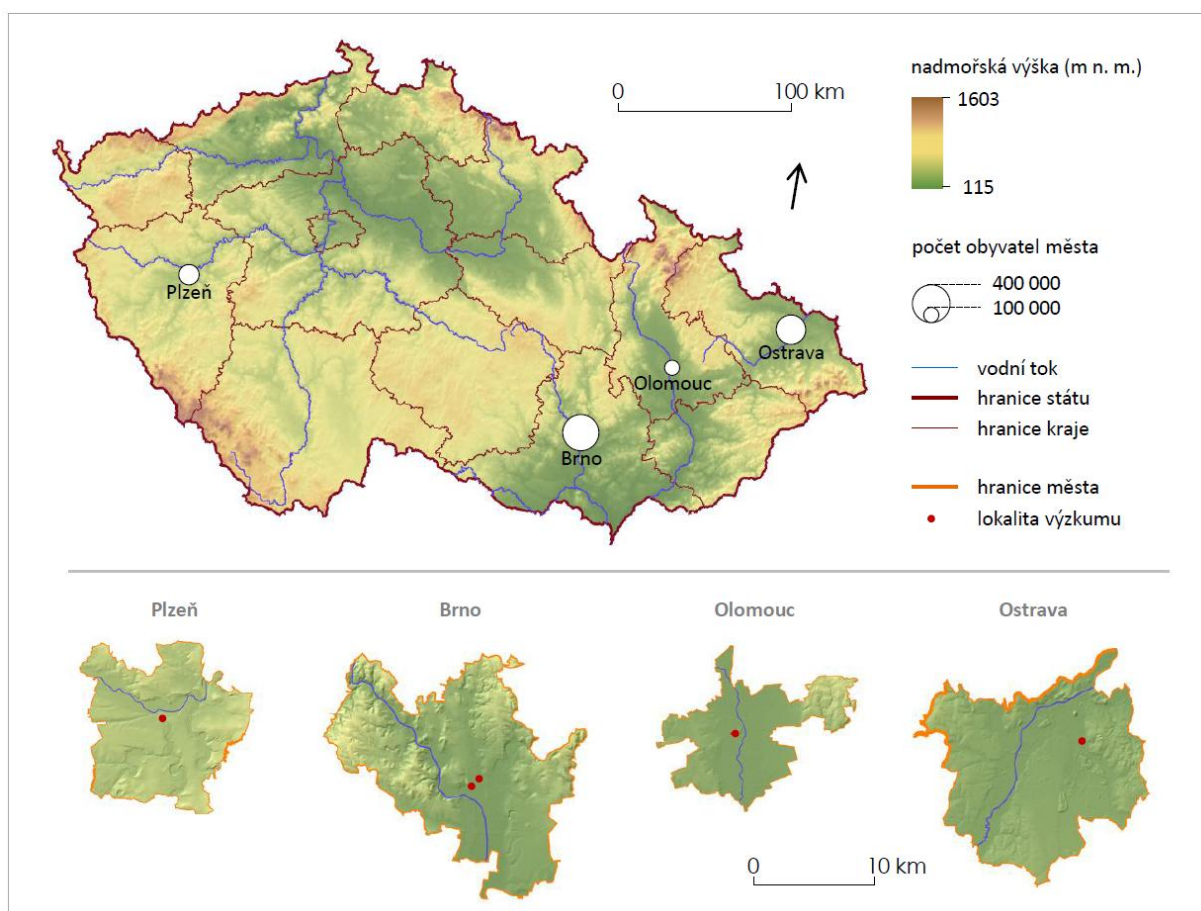
město	počet obyvatel* [tisíce]	rozloha [km ²]	střední nadmořská výška [m n. m.]	typ reliéfu	klimatická oblast (Köppen; Quitt)	průměrná roční teplota vzduchu* [°C]
Brno	381	230	280	převážně plochá pahorkatina	Cfb; T2, T4	11,7
Olomouc	101	103	245	převážně rovina	Cfb; T2	11,5
Ostrava	289	214	237	převážně rovina	Cfb; T2	10,7
Plzeň	172	138	348	převážně rovina	Cfb; T2	10,6

Zdroj: ČSÚ (2019), ČHMÚ (2019), NGI (2019a); * data za rok 2018

Cfb – mírné oceánické podnebí (Peel, 2007)

T2 – poměrně krátké teplé až mírně teplé jaro, teplé dlouhé a suché léto, poměrně krátký teplý až mírně teplý podzim, krátká suchá až velmi suchá zima

T4 – krátké teplé jaro, velmi dlouhé velmi teplé a velmi suché léto, velmi krátký a teplý podzim, krátká teplá suchá až velmi suchá zima (Quitt, 1971)



zdroj: ČÚZK (2019), ČSÚ (2019); vlastní zpracování

Obr. 1 Poloha měst zapojených do výzkumu tepelného komfortu a vyznačení výzkumných lokalit ve městech výzkumu tepelného komfortu v letním období 2018 a 2019

5 Metody

Terénní výzkum tepelného komfortu probíhal v souladu s obvyklými postupy (Cohen a kol., 2013; Kovács a kol., 2016; Kántor a kol., 2018) a skládal se a) z měření hodnot meteorologických prvků dočasnými (semistacionárními) meteorologickými stanicemi uzpůsobenými pro výzkum tepelného komfortu a b) ze souběžného dotazníkového šetření náhodných respondentů, které zahrnovalo odhad aktuální teploty vzduchu a vyjádření subjektivního tepelného pocitu respondentů na devítistupňové škále (Matzarakis a Mayer, 1996).

5.1 Výzkumné lokality a termíny

Výzkum tepelného komfortu byl realizován v letním období let 2018 a 2019 ve čtyřech spolupracujících městech České republiky – v Brně, Olomouci, Ostravě a Plzni. Šetření probíhalo v celkem devíti dnech s předpokládanou maximální denní teplotou vzduchu $\geq 25,0$ °C. Pro účely výzkumu tepelného komfortu bylo na základě teoretických předpokladů (Geiger a kol., 2003) a dříve provedených studií ve středoevropském prostoru (Lindner-Cendrowska, 2013; Kántor a kol., 2016; Kántor a kol., 2018) zvoleno celkem pět lokalit s předpokladem vzniku výrazného teplotního stresu – Moravské náměstí (*obr. 2a*) a náměstí Svobody (*obr. 2b*) v Brně, Horní náměstí v Olomouci (*obr. 2c*), Masarykovo náměstí v Ostravě (*obr. 2d*) a náměstí Republiky v Plzni (*obr. 2e*). Lokality byly zároveň voleny tak, aby umožňovaly zkoumání případného vlivu vodních prvků a vegetace na tepelný komfort ve městě. Po vzoru podobných studií ve středoevropském prostoru (např. Kántor a kol., 2016) byl první výzkum zahájen v 09:00 a ukončen v 17:00. Po odborném zhodnocení chodu měřených meteorologických prvků tento den však byla doba výzkumu pro další výzkumné dny upravena na 10:00 – 18:00 nebo 19:00. V případech, kdy došlo k narušení měření sledovaných meteorologických prvků (srážky, zastínění referenční stanice), byl výzkum ukončen předčasně. Jednotlivé dny výzkumu tepelného komfortu shrnuje *tab. 2*.

Tab. 2 Přehled dnů a lokalit realizovaného výzkumu tepelného komfortu v letech 2018 a 2019

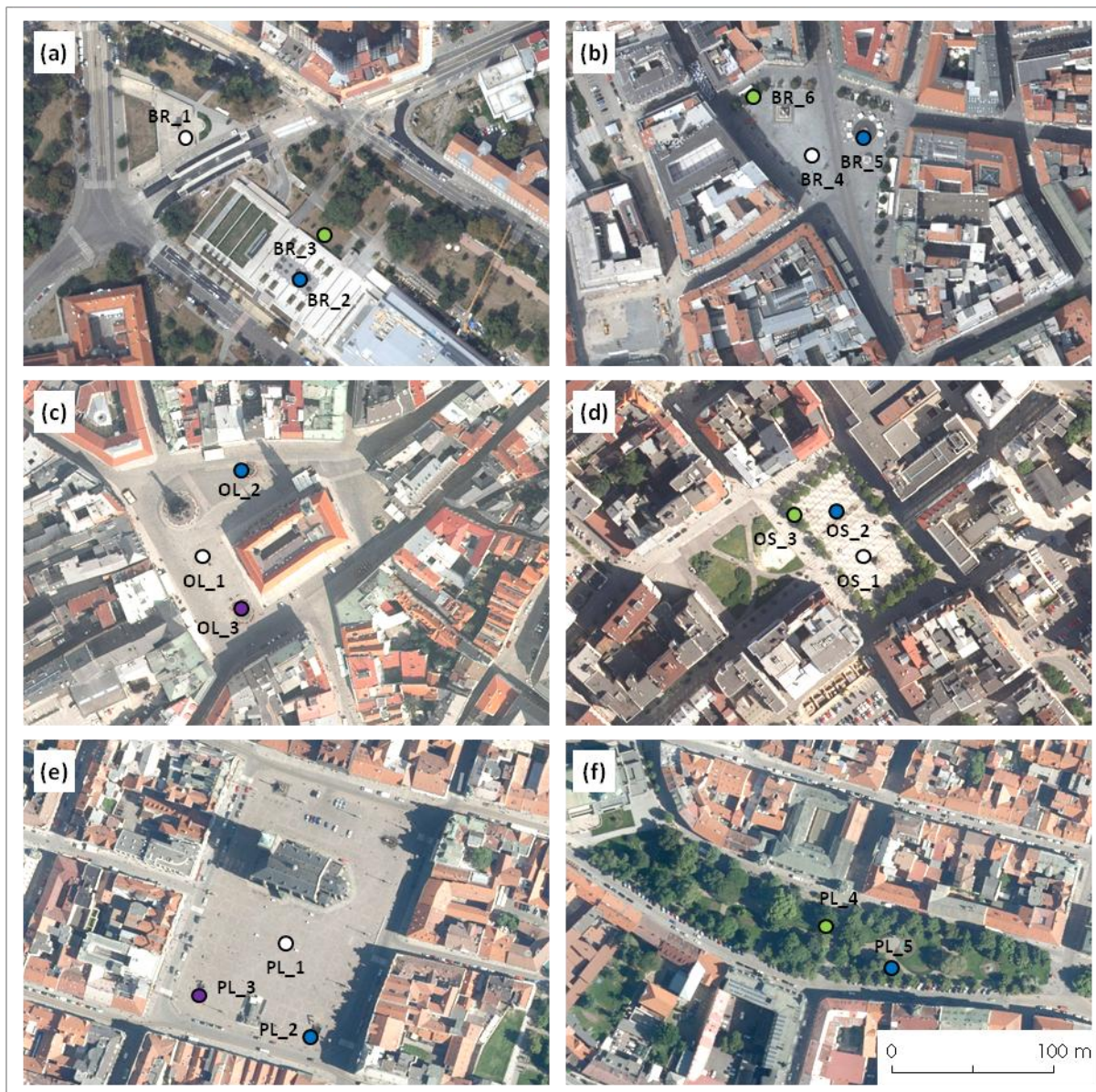
datum	začátek výzkumu	konec výzkumu	město	lokality
15. 07. 2018	09:00	17:00	Olomouc	Horní náměstí
24. 07. 2018	10:00	18:00	Olomouc	Horní náměstí
01. 08. 2018	10:00	18:00	Olomouc	Horní náměstí
22. 08. 2018	10:00	18:00	Ostrava	Masarykovo náměstí
24. 07. 2019	10:00	19:00	Plzeň	náměstí Republiky
25. 07. 2019	10:00	19:00	Plzeň	náměstí Republiky a Smetanovy sady
09. 08. 2019	10:00	18:30	Ostrava	Masarykovo náměstí
12. 08. 2019	10:00	17:30	Brno	Moravské náměstí
28. 08. 2019	10:00	17:00	Brno	náměstí Svobody

Každý den výzkumu tepelného komfortu probíhalo simultánní měření meteorologických prvků a sběr odpovědí respondentů na třech lokalitách. Ve všech dnech sloužila jedna výzkumná lokalita jako referenční stanice (BR_1, BR_4, OL_1, OS_1 a PL_1) – stanice umístěná na nepropustném povrchu bez vlivu vodního prvku nebo prvku vegetace. Další dvě stanice byly

umístěny do blízkosti vodního prvku – kašny (BR_5, OL_2, OL_3, PL_2 a PL_3), přízemních vodních trysek (BR_2 a OS_2) nebo prvku vegetace – stromu (BR_6, OS_3 a PL_4), trávníku (BR_3), případně obou prvků současně (PL_5) z důvodu možnosti zkoumání jejich vlivu na pocitovou teplotu ve městě. Specifickým případem ovlivnění pocitové teploty byly registrované průjezdy kropicího vozu Horním náměstím v Olomouci – tento vliv je v práci rovněž uvažován. Dne 15. 07. 2018 proběhlo kropení Horního náměstí v Olomouci v 12:25, dne 24. 07. 2018 v 12:25, 14:40 a 16:40 a dne 01. 08. 2018 v 10:35, 13:30, 15:25 a 16:50. Celkem bylo do výzkumu tedy zahrnuto 17 výzkumných lokalit. Základní charakteristiky výzkumných lokalit jsou uvedeny v *tab. 3* a jejich rozmístění ilustruje *obr. 2*.

Tab. 3 Seznam výzkumných lokalit výzkumu tepelného komfortu a jejich základní charakteristika (*šedě – referenční stanice, modře – zkoumaný vliv vodního prvku, zeleně – zkoumaný vliv vegetace*)

stanice	lokalita	popis	povrch	zastínění
BR_1	Brno Moravské náměstí	volné prostranství	zpevněný štěrk	ne
BR_2	Brno Moravské náměstí	u přízemních vodních trysek	dlažební kámen	ne
BR_3	Brno Moravské náměstí	městský park	trávník	ne
BR_4	Brno náměstí Svobody	volné prostranství	dlažební kámen	ne
BR_5	Brno náměstí Svobody	u Skácelovy kašny	kov (částečně mokrý)	ne
BR_6	Brno náměstí Svobody	pod stromem	dlažební kámen	ano (strom)
OL_1	Olomouc Horní náměstí	volné prostranství	dlažební kámen	ne
OL_2	Olomouc Horní náměstí	u Herkulovy kašny	dlažební kámen	ne
OL_3	Olomouc Horní náměstí	u Arionovy kašny	dlažební kámen	ne
OS_1	Ostrava Masarykovo náměstí	volné prostranství	dlažební kámen	ne
OS_2	Ostrava Masarykovo náměstí	u přízemních vodních trysek	dlažební kámen	ne
OS_3	Ostrava Masarykovo náměstí	pod stromem	dlažební kámen	ano (strom)
PL_1	Plzeň náměstí Republiky	volné prostranství	dlažební kámen	ne
PL_2	Plzeň náměstí Republiky	u kašny „velblouda“	dlažební kámen a voda	ne
PL_3	Plzeň náměstí Republiky	u kašny „chrtice“	dlažební kámen a voda	ne
PL_4	Plzeň Smetanovy sady	pod stromem (městský park)	dlažební kámen a trávník	ano (strom)
PL_5	Plzeň Smetanovy sady	pod stromem (městský park) s rozprašovačem vody	dlažební kámen a trávník	ano (strom)

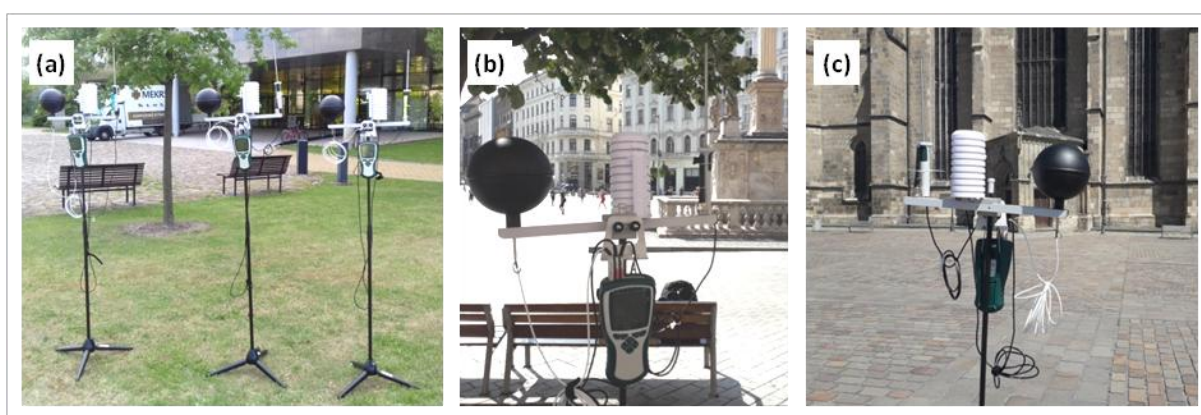


zdroj: ČÚZK (2019), upraveno; vlastní zpracování

Obr. 2 Rozmístění výzkumných lokalit při výzkumu tepelného komfortu v letech 2018 a 2019 (a) na Moravském náměstí v Brně, (b) na náměstí Svobody v Brně, (c) na Horním náměstí v Olomouci, (d) na Masarykově náměstí v Ostravě, (e) na náměstí Republiky v Plzni, (f) ve Smetanových sadech v Plzni

5.2 Měření meteorologických prvků

Meteorologické prvky byly na jednotlivých výzkumných lokalitách měřeny dočasnými přenosnými meteorologickými stanicemi (obr. 3). Teplota vzduchu (T_a), relativní vlhkost vzduchu (H) a teplota kulového teploměru (T_g) byly měřeny ve výšce 1,7 m nad zemí a rychlost větru (V) ve výšce 1,9 m nad zemí. Všechny meteorologické prvky byly měřeny v intervalu 1 s a průměrovány do pětiminutových vzorků. Pro měření bylo využito měřícího setu AHLBORN upraveného pro venkovní prostředí – čidlo teploty vzduchu a vlhkosti vzduchu FHAD46C41 v radiačním krytu, kulový teploměr průměru 150 mm FPA805GTS, termoanemometrické čidlo FVAD35TH5 a datalogger ALMEMO 2690-8A. Čidla byla kalibrována před zahájením výzkumu, čas přístrojů byl synchronizován a čas záznamu měřených hodnot do paměti přístroje volen před každým měřením. Zaznamenávaná data byla z paměti dataloggeru získávána pomocí softwaru ALMEMO Control 6.0.



Obr. 3 Přenosné meteorologické stanice AHLBORN upravené pro venkovní použití: (a) stanice při zkušebním měření (Olomouc, 02. 07. 2018), (b) detail – pohled přední (Brno, 28. 08. 2019), (c) detail – pohled zadní (Plzeň, 24. 07. 2019)

Pro stanovení indexu UTCI bylo nutné na základě hodnot měřených meteorologických prvků vypočítat hodnotu střední radiační teploty (T_{mrt}), která byla dle normy ISO 7726 (1998) pro nucené proudění stanovena následovně (Bröde a kol., 2012):

$$T_{mrt} = \left\{ (T_g + 273)^4 + \left[\frac{(1,1 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6})}{(\varepsilon_g \cdot D^{0,4})} \right] \cdot (T_g - T_a) \right\}^{\frac{1}{4}} - 273,$$

kde T_g je výsledná teplota kulového teploměru [°C], T_a je teplota vzduchu [°C] a V_a je rychlost větru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] ve výšce 10 m vypočtena vzorcem (Oke, 1987):

$$V_a = V_{amx} \cdot \log\left(\frac{10}{0,01}\right) / \log\left(\frac{x}{0,01}\right),$$

kde V_{amx} je rychlost větru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] ve výšce x [m].

Pro meteorologické charakteristiky výzkumných dnů byla v práci využita i meteorologická data poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem (2019). Pro výzkum na Moravském náměstí a náměstí Svobody v Brně byla čerpána data z meteorologické stanice Brno – Tuřany (B2BTUR01), pro výzkum na Horním náměstí v Olomouci data z meteorologické stanice Olomouc – Holice

(O2OLOM01), pro výzkum na Masarykově náměstí v Ostravě data z meteorologické stanice Ostrava – Poruba (O1PORU01) a pro výzkum na náměstí Republiky a ve Smetanových sadech v Plzni data meteorologické stanice Plzeň – Mikulka (L1PLMI01). Základní charakteristiky uvedených meteorologických stanic jsou uvedeny v *tab. 4*. Poskytovaná data byla v 10 minutových intervalech a zahrnovala následující veličiny: směr [°] a rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] větru, relativní vlhkost vzduchu [%], teplotu vzduchu [°C], sluneční svit [s] a termínové pozorování pokrytí oblohy oblačností v 07:00, 14:00 a 21:00 [desetiny].

Tab. 4 Základní popis zájmových meteorologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu, 2019

kód	místo	zeměpisná šířka [s. z. š.]	zeměpisná délka [v. z. d.]	nadmořská výška [m n. m.]	typ stanice
B2BTUR01	Brno, Tuřany	49° 09' 11"	16° 41' 20"	241	AMS
O2OLOM01	Olomouc, Holice	49° 34' 33"	17° 17' 04"	210	AKS1
O1PORU01	Ostrava, Poruba	49° 49' 31"	18° 09' 34"	239	AKS1
L1PLMI01	Plzeň, Mikulka	49° 45' 53"	13° 22' 44"	360	AMS1

Zdroj: ČHMÚ (2019), vlastní zpracování

5.3 UTCI (Universal Thermal Comfort Index)

Pro vyjádření teploty pociťované jedinci na výzkumných lokalitách byl využit index UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*) popsáným Höppem (2002). Tato metoda hodnocení tepelného komfortu v městském prostředí je založena na dynamickém přenosu tepla několika izotermálních částí lidského těla a zároveň zohledňuje možnost behaviorální adaptace teplotním podmínkám prostředí klasifikací oděvů (Fiala a kol., 2012; Gagge a kol., 1986). Výsledná ekvivalentní teplota [°C] tepelného pocitu je poté definována jako teplota vzduchu referenčního stavu poskytující totožnou dynamiku fyziologické odpovědi jedince (Höppe, 2002).

Hodnoty indexu UTCI byly ve výzkumu stanoveny na základě kódu popsáného Brödem (2009) s využitím online kalkulátoru indexu UTCI (utci.org, 2019), do kterého byly dosazeny hodnoty měřených meteorologických prvků. S ohledem na časové zpoždění nutnému k dosažení setrvačnosti teploty kulového teploměru (T_g) a proměnlivosti rychlosti větru (V) byly výsledné hodnoty UTCI vyjádřeny jako 15timinutové klouzavé průměry. Každý výzkumný den byl z hlediska tepelného stresu hodnocen na základě stupnice (*tab. 5*) stanovené Brödem a kol. (2012). Stanovené hodnoty indexu UTCI pro jednotlivé výzkumné lokality a dny byly v práci přehledně prezentovány liniiovými grafy, rozdíly hodnot indexu UTCI mezi referenční a porovnávanou stanicí byly pak vyjádřeny sloupcovými grafy.

Tab. 5 Ekvivalentní teploty indexu UTCI kategorizovány z hlediska tepelného stresu

hodnota UTCI [°C]	kategorie
více než +46	extrémní teplotní stres
+38 až +46	velmi silný teplotní stres
+32 až +38	silný teplotní stres
+26 až +32	mírný teplotní stres
+9 až +26	žádný tepelný stres
0 až +9	nepatrný chladový stres
-13 až 0	mírný chladový stres
-27 až -13	silný chladový stres
-40 až -27	velmi silný chladový stres
méně než -40	extrémní chladový stres

Zdroj: Bröde a kol., 2012

5.4 Dotazníkové šetření

Během výzkumu byli na všech lokalitách výzkumu oslovení přítomní a kolemjdoucí jedinci – respondenti obou pohlaví, různého věku a národnosti. Šetření probíhalo metodou krátkého rozhovoru (1–3 minuty) a odpovědi každého respondenta byly tazatelem zaznamenávány do vytištěného dotazníku subjektivního vnímání tepla (*vzorový dotazník na obr. 1 a 2 v příloze 1*). Struktura dotazníku, volba pokládaných otázek i výběr parametrů hodnocení vlastností respondentů odpovídal obvyklým postupům prezentovaným v předcházejících studiích tepelného komfortu (např. Cohen a kol., 2013; Kántor a kol., 2016; Kovács a kol., 2016). Každý respondent měl vyjádřit svůj aktuální subjektivní tepelný pocit na devítistupňové sémantické škále tepelného pocitu (*tab. 6*) dle Matzarakise a Mayera (1996) a odhadnout aktuální teplotu vzduchu [°C] (*obr. 1 v příloze 1*). Respondentovi byla také kladena otázka, na jakém místě výzkumné lokality by čekal, kdyby měl na někoho 10 – 15 minut počkat. Odpověď mohl tazatel zapsat nebo uvedené místo označit do mapy výzkumné lokality, která byla součástí každého dotazníku (*viz obr. 1 v příloze 1*). Záznam vlastností respondenta zahrnoval výběr odpovídající aktivity v poslední čtvrthodině (*tab. 7*), pohlaví, příslušnost k věkové skupině z nabídky (*tab. 7*), stát narození (případně délku pobytu v ČR), typ postavy z nabízených možností (*tab. 7*), Fitzpatrickův fototyp (*tab. 7*) a parametry oděvu – tepelný odpor oděvu kategorizovaný na základě normy ISO 7730 z roku 2006 (*tab. 7*) a barvu oděvu. Součástí dotazníku bylo také posouzení míry oslunění lokality během rozhovoru tazatelem (*obr. 2 v příloze 1*).

Tab. 6 Devítistupňová škála subjektivního tepelného pocitu

-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
velká zima	zima	chladno	mírně chladno	neutrální	mírně teplo	teplo	horko	velmi horko

Zdroj: Matzarakis a Mayer (1996)

Tab. 7 Kategorizace vybraných vlastností respondentů při dotazníkové šetření výzkumu tepelného komfortu v letech 2018 a 2019

aktivita v poslední čtvrthodině	věková skupina	postava	Fitzpatrickův fototyp (dle Fitzpatricka, 1975)	tepelný odpor oděvu [clo] (dle normy ISO 7730, 2006)
chůze	6–17	hubená	I velmi světlá pleť, blond či rezavé vlasy, mnoho pih, modré oči; vždy se spálí	0,3 velmi lehký letní (šortky + tričko/košile s krátkým rukávem)
sport	18–30	střední	II světlá pleť, světlé vlasy, pihy řídké, modré, zelené či šedé oči; často se spálí	0,5 lehký letní (dlouhé kalhoty + tričko/košile s krátkým rukávem)
stání	31–45	silnější	III světle hnědá pleť, hnědé až tmavé vlasy, hnědé oči; málokdy se spálí	0,8 lehký (dlouhé kalhoty, košile/halenka s dlouhým rukávem)
sezení	46–60		IV tmavá pleť, velmi tmavé vlasy i oči; téměř nikdy se nespálí	1,0 pánský oblek či kalhotový kostým/dlouhá sportovní souprava
			V velmi tmavá kůže, tmavé až černé vlasy; nikdy se nespálí	1,5 totéž co výše + svetr/mikina nebo lehká bunda/kabát
	VI nejtmavší typ, nikdy se nespálí		2,0 běžný zimní oděv + zimní bunda/kabát	
			2,5 totéž co výše + rukavice, šála, čepice/klobouk	
	61 a více			3,0 velmi teplé zimní (overall/lyžařský oděv)

Celkem bylo během výzkumu tepelného komfortu v letech 2018 a 2019 dotázáno 1696 jedinců. Protože však byli někteří respondenti osloveni v časech, kdy k jejich odpovědím nebylo možno přiřadit odpovídající hodnotu indexu UTCI (zpravidla jedinci osloveni v prvních 10 minutách měření), nebyli do analýz v této práci zahrnuti (44 respondentů). Celkový počet hodnocených respondentů tedy činil 1652. Počty respondentů oslovených v jednotlivých výzkumných dnech a na jednotlivých výzkumných lokalitách jsou uvedeny v příslušné kapitole výsledků (*kapitola 7*). Kvůli nutnosti provedení hlubších analýz subjektivního vnímání tepla však tato práce z dotazníkového šetření hodnotí pouze rozdíly mezi respondenty odhadovanou aktuální teplotou vzduchu s empiricky stanovenou hodnotou indexu UTCI. Zjištěné rozdíly byly pro každý výzkumný den a lokalitu roztrženy do intervalů o velikosti 1,0 °C a jejich četnost v jednotlivých intervalech byla v práci vyjádřena sloupcovými grafy. Další analýzy vnímání tepelného komfortu mohou být předmětem následujících studií.

6 Výsledky měření

6.1 Měření 12. 08. 2019 – Brno

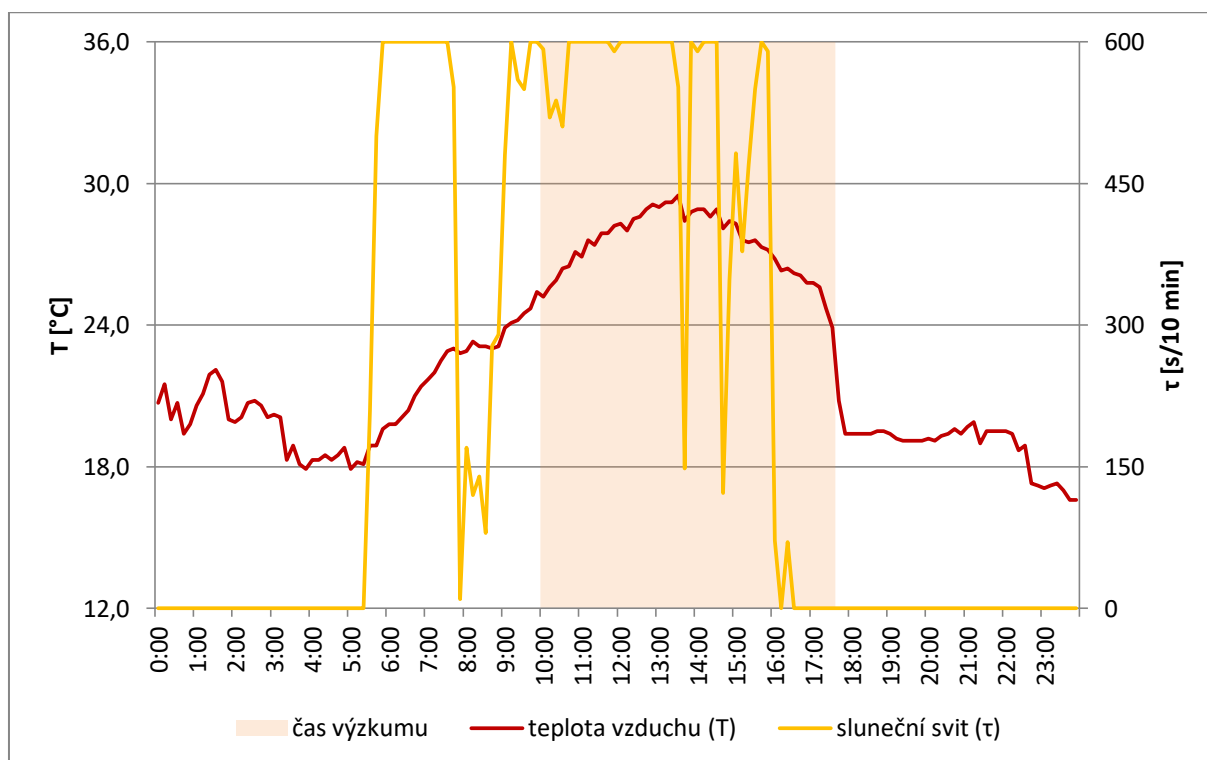
Podmínky na meteorologické stanici Brno – Tuřany (B2BTUR01)

Den 12. 08. 2019 na stanici Brno – Tuřany (B2BTUR01) byl dnem letním s maximální denní teplotou vzduchu (T_{max}) 29,5 °C naměřenou v 13:30. Průměrná denní teplota vzduchu (T_{avg}) činila 22,4 °C, v čase výzkumu (10:00 – 17:30) se však teplota vzduchu pohybovala v rozmezí 23,9 až 29,5 °C (tab. 8). Denní chod teploty vzduchu vystihuje obr. 4. Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (H_{avg}) byla 67,9 %. Během dne převládá východoseverovýchodní vítr a jeho průměrná denní rychlost (V_{avg}) činila 3,8 m·s⁻¹. V čase výzkumu byla maximální rychlost větru 7,9 m·s⁻¹ naměřena v 17:30. V 07:00 bylo jasno, v 14:00 oblačno a v 21:00 skoro zataženo. Oblačnost se tak výrazně promítla do délky slunečního svitu (obr. 4). Vybrané meteorologické podmínky tohoto dne jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 Vybrané meteorologické podmínky 12. 08. 2019 na stanici Brno – Tuřany (B2BTUR01)

	teplota vzduchu [°C]			relativní vlhkost vzduchu [%]			rychlost větru [m·s ⁻¹]			převládající směr větru	oblačnost [desetiny]		
	T _{avg}	T _{min}	T _{max}	H _{avg}	H _{min}	H _{max}	V _{avg}	V _{min}	V _{max}		07:00	14:00	21:00
celý den (00:00-23:59)	22,4	16,6	29,5	67,9	48,0	98,0	3,8	0,3	10,2	VSV	1	6	7
čas výzkumu (10:00-17:30)	27,5	23,9	29,5	53,1	48,0	66,0	3,9	0,9	7,9	SSZ		6	

Zdroj: ČHMÚ (2019); vlastní zpracování

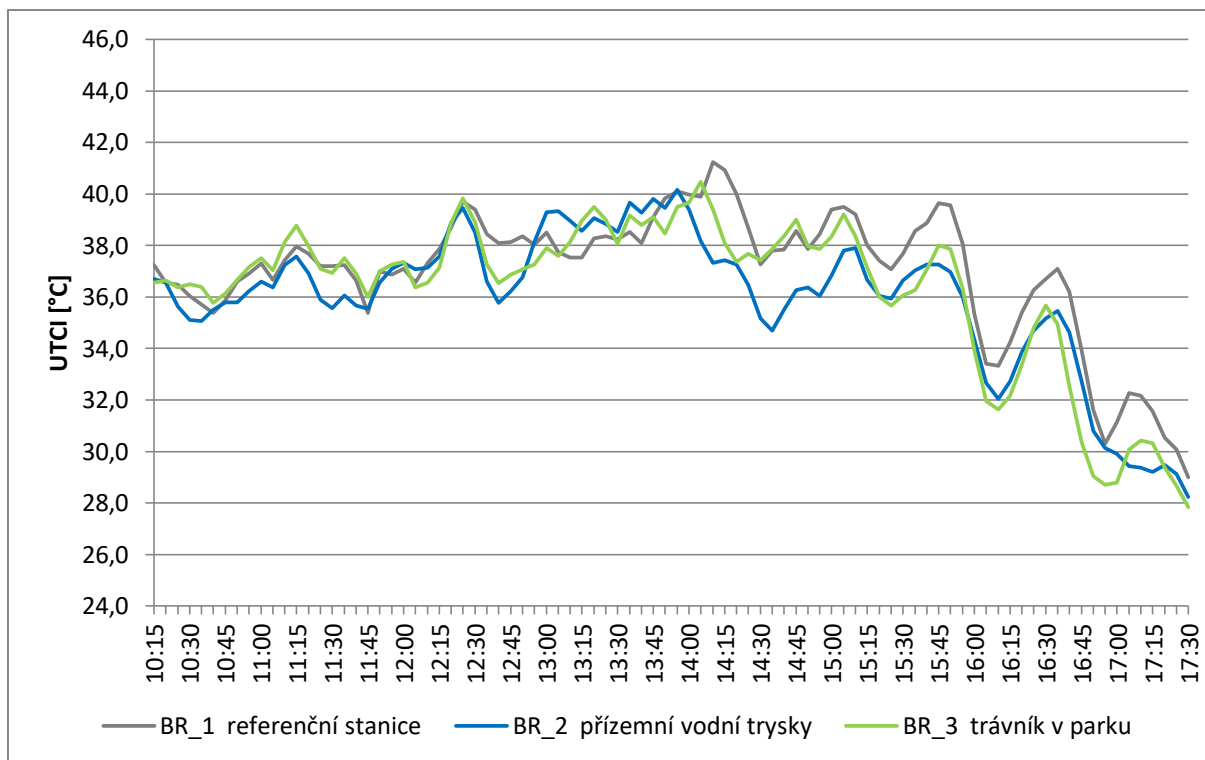


Obr. 4 Denní chod vybraných meteorologických prvků 12. 08. 2019 na stanici Brno – Tuřany (B2BTUR01) s vyznačeným časem výzkumu na Moravském náměstí v Brně

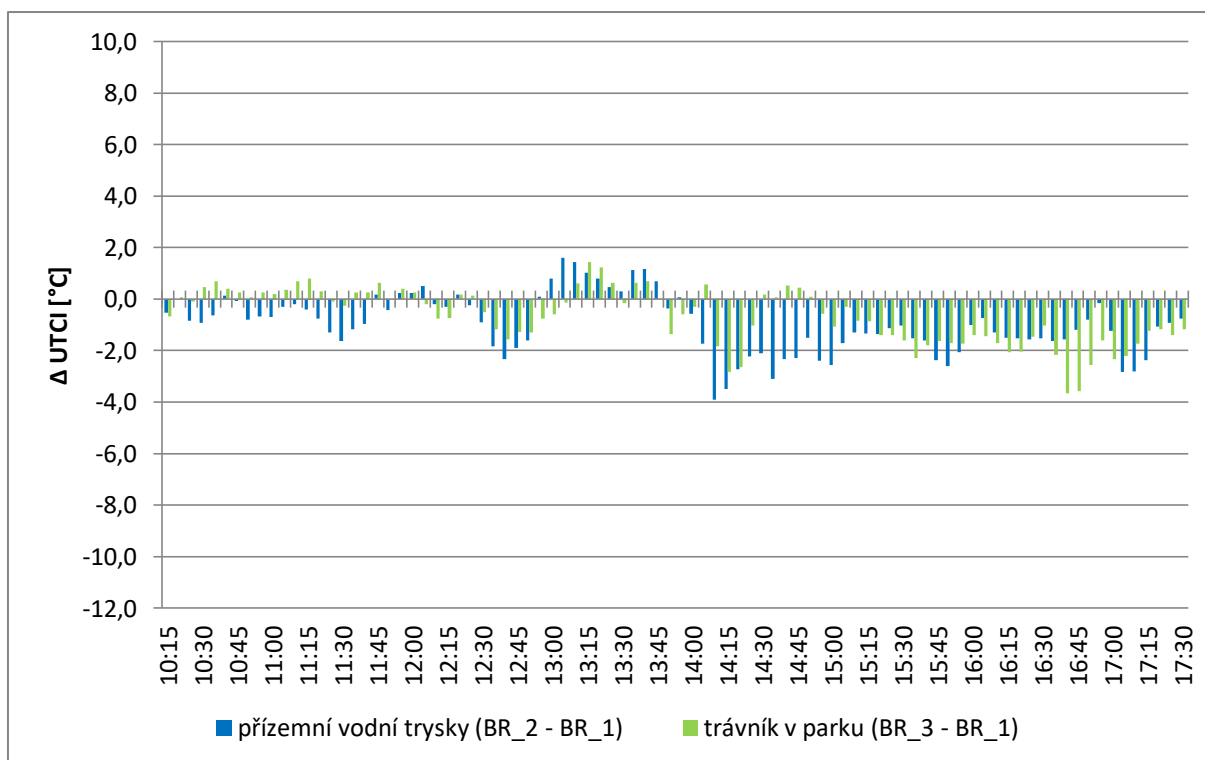
Výsledky měření na Moravském náměstí v Brně

Celkově se pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI na všech brněnských stanicích (*BR_1* – referenční stanice, *BR_2* – u přízemních vodních trysek a *BR_3* – na trávníku v městském parku) do 14:00 pozvolna zvyšovala (*obr. 5*), a to především v důsledku růstu teploty vzduchu T_a (výsledná teplota kulového teploměru T_g stagnovala). Po 14:00 došlo na všech brněnských stanicích ke snižování teploty vzduchu (T_a) a snižování výsledné teploty kulového teploměru (T_g), což způsobilo klesající trend pocitové teploty až na absolutní denní minima v 17:30 (pro *BR_1* 29,0 °C, pro *BR_2* 28,2 °C a pro *BR_3* 27,8 °C). Obecně lze z chodu pocitové teploty (*obr. 5*) odvodit, že po 14:00 byly na jednotlivých stanicích hodnoty pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI často nižší než před 14:00. Klesající trend pocitové teploty po 14:00 byl spojen s ovlivněním měřených meteorologických prvků (T_a , T_g a H) nástupem značné oblačnosti. Vliv oblačnosti se také výrazně promítl do výkyvů chodu pocitové teploty na jednotlivých stanicích. V časech, kdy byl sluneční svit omezen oblačností (14:10 – 14:30, 15:10 – 15:20, 15:50 – 16:10, 16:35 – 17:00), došlo na všech stanicích k dočasnému snižování teploty vzduchu (T_a) a snižování výsledné teploty kulového teploměru (T_g), což vedlo k dočasnému poklesu pocitové teploty. Po přechodu oblaku a výsvitu slunce ovlivnění měřených meteorologických prvků (T_a , T_g a H) ustalo a pocitová teplota se vracela na úroveň trendu denního chodu. Výkyvy v chodu pocitové teploty byly celý den také ovlivněny kolísáním rychlosti větru (V) na jednotlivých stanicích, který často přesahoval $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a odpovídají výkyvům v chodu střední radiační teploty (T_{mrt}). Chod všech měřených meteorologických prvků na jednotlivých stanicích je součástí *přílohy 2* (pro *BR_1 obr. 1*, pro *BR_2 obr. 2* a pro *BR_3 obr. 3*).

Do 14:00, kdy byly na všech stanicích zaznamenávány podobné hodnoty výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a), nebyly většinou rozdíly v pocitové teplotě mezi jednotlivými brněnskými stanicemi vysoké (*obr. 5* a *obr. 6*) – pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI byla na stanici *BR_2* průměrně o 0,3 °C nižší než na stanici *BR_1* a průměrná pocitová teplota stanic *BR_3* a *BR_1* byla dokonce totožná. Po 14:00 však byly většinou na stanici *BR_1* zaznamenávány nejvyšší hodnoty výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a), patrně v důsledku výrazného prohřívání betonové plochy v okolí stanice, což zapříčinilo, že na stanici *BR_1* byla až do ukončení měření v 17:30 většinou zjišťována nejvyšší pocitová teplota. Na stanici *BR_1* byla po celý den také nižší relativní vlhkost vzduchu (H) než na zbylých stanicích (průměrně o 2,0 %), což bylo patrně způsobeno absencí vodního prvku nebo vegetace. Po 14:00 byly hodnoty pocitové teploty na stanicích *BR_2* a *BR_3* průměrně o 1,6 °C nižší než na stanici *BR_1* (*obr. 6*). V čase 14:00 – 15:00 byla pocitová teplota na stanici *BR_2* průměrně o 2,4 °C nižší než na stanici *BR_1*. Na stanici *BR_2* došlo totiž k výraznému poklesu výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a byly zde měřeny maximální denní rychlosti větru. Průměrná denní pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI byla nejvyšší na referenční stanici *BR_1* – 37,0 °C a nejnižší na stanici u přízemních vodních trysek *BR_2* – 36,0 °C, na stanici na trávníku v městském parku *BR_3* byla 36,3 °C. Po většinu času výzkumu byl na všech stanicích zjišťován silný nebo velmi silný teplotní stres. Souvislejší velmi silný teplotní stres začal na všech brněnských stanicích v 12:15. Zatímco však na stanici *BR_2* ustal velmi silný teplotní stres v 14:00, na stanici *BR_3* pokračoval do 15:15 a na stanici *BR_1* až do 16:00.



Obr. 5 Průběh hodnot indexu UTCI na výzkumných lokalitách na Moravském náměstí v Brně dne 12. 08. 2019



Obr. 6 Rozdíly hodnot indexu UTCI mezi stanicemi BR_2 a BR_3 a referenční stanicí BR_1 na Moravském náměstí v Brně dne 12. 08. 2019

6.2 Měření 28. 08. 2019 – Brno

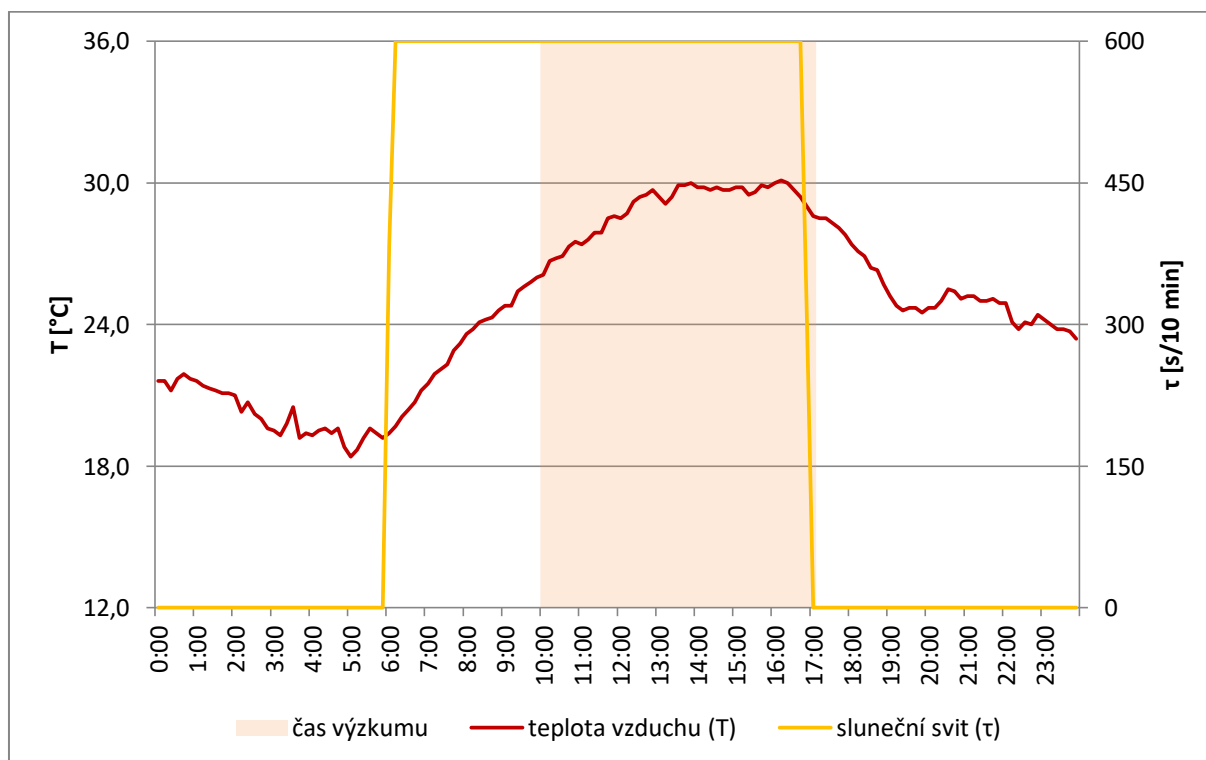
Podmínky na meteorologické stanici Brno – Tuřany (B2BTUR01)

Na základě naměřené maximální denní teploty vzduchu (T_{max}) 30,1 °C v 16:10 lze den 28. 08. 2019 na stanici Brno – Tuřany (B2BTUR01) charakterizovat jako den tropický. Průměrná denní teplota vzduchu (T_{avg}) činila 24,8 °C, v čase výzkumu (10:00 – 17:00) byl teplotní průměr dokonce 29,0 °C. (tab. 9). Denní chod teploty vzduchu prezentuje obr. 7. Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (H_{avg}) byla 68,1 %, v čase výzkumu se však relativní vlhkost vzduchu pohybovala v rozmezí 47,0 – 64,0 %. Průměrná denní rychlost větru (V_{avg}) byla 3,5 m·s⁻¹ a maximální hodnota rychlosti větru (V_{max}) naměřená v 13:20 byla 5,2 m·s⁻¹. Během dne převládal východní vítr. Zatímco v 07:00 byla zaznamenána malá oblačnost, v 14:00 bylo zataženo. Základní meteorologické charakteristiky dne 28. 08. 2019 na stanici Brno – Tuřany jsou uvedeny v tab. 9 a chod vybraných meteorologických prvků vystihuje obr. 7.

Tab. 9 Vybrané meteorologické podmínky 28. 08. 2019 na stanici Brno – Tuřany (B2BTUR01)

	teplota vzduchu [°C]			relativní vlhkost vzduchu [%]			rychlost větru [m·s ⁻¹]			převládající směr větru	oblačnost [desetiny]		
	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	H_{avg}	H_{min}	H_{max}	V_{avg}	V_{min}	V_{max}		07:00	14:00	21:00
celý den (00:00-23:59)	24,8	18,4	30,1	68,1	47,0	91,0	3,5	0,9	5,2	V	3	8	9
čas výzkumu (10:00-17:00)	29,0	26,1	30,1	53,0	47,0	64,0	4,5	3,6	5,2	JJV		8	

Zdroj: ČHMÚ (2019); vlastní zpracování

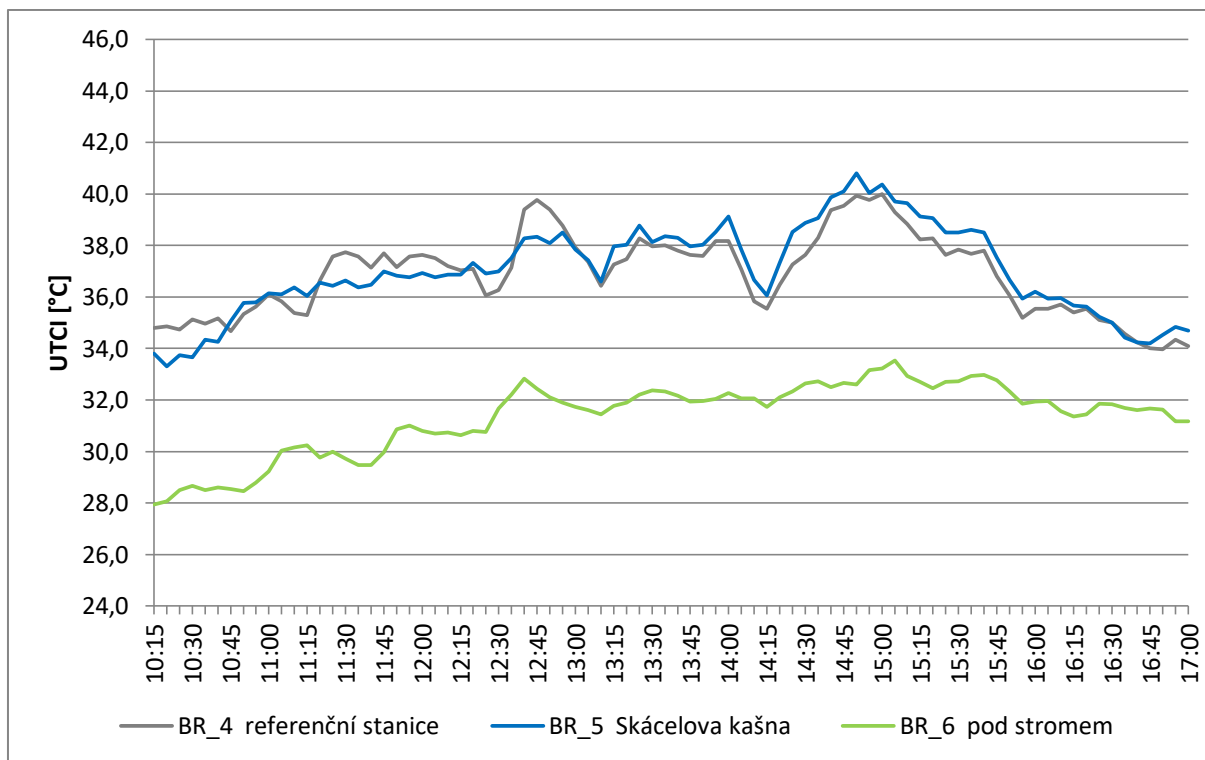


Obr. 7 Denní chod vybraných meteorologických prvků 28. 08. 2019 na stanici Brno – Tuřany (B2BTUR01) s vyznačeným časem výzkumu na náměstí Svobody v Brně

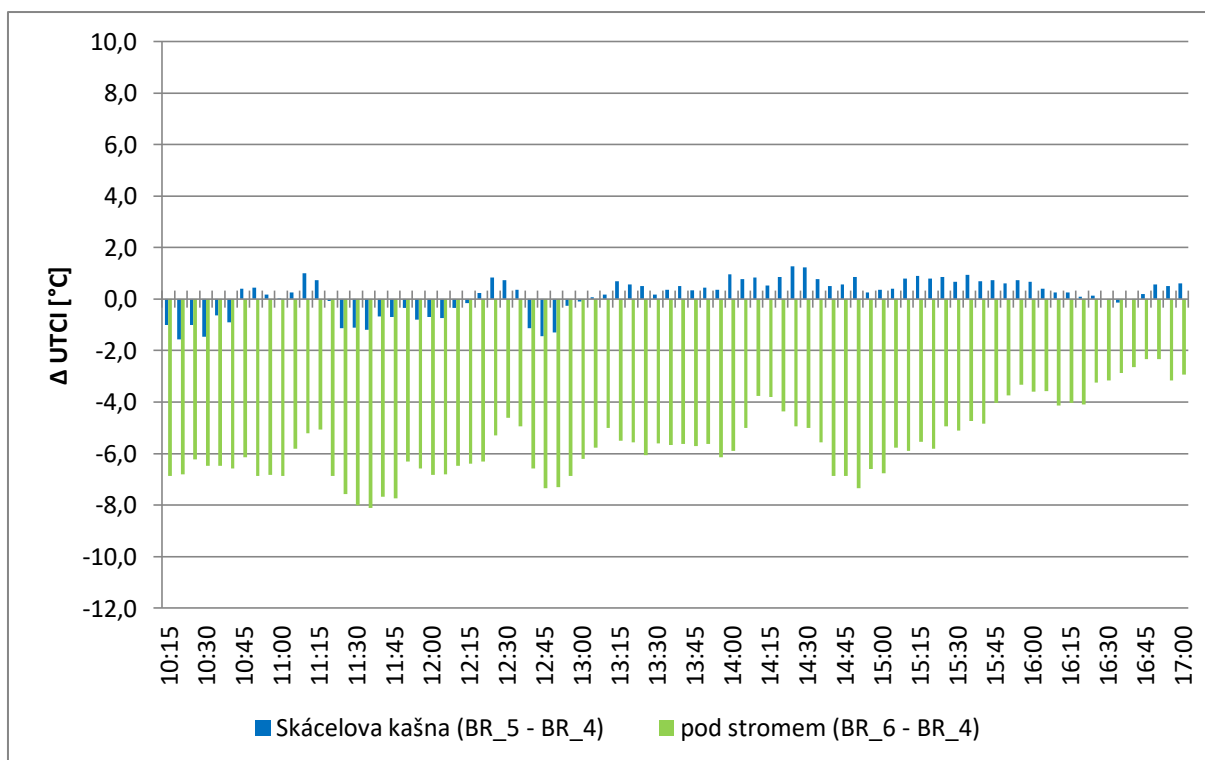
Výsledky měření na náměstí Svobody v Brně

Chod pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI vykazoval do 15:00 na všech brněnských stanicích (*BR_4* – referenční stanice, *BR_5* – u Skácelovy kašny a *BR_6* – pod stromem) růstový trend (*obr. 8*) v důsledku zvyšování výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a). Po 15:00 docházelo na všech stanicích ke snižování pocitové teploty (*obr. 8*) z důvodu snižování výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a snižování teploty vzduchu (T_a). Tyto změny v chodu měřených meteorologických prvků (T_g , T_a a H) byly způsobeny postupným zatažením oblohy. Zatímco v případě stanic *BR_4* a *BR_5* byl sestupný trend pocitové teploty po 15:00 výrazný, v případě stanice *BR_6* lokalizované ve stínu stromu bylo snižování pocitové teploty mírnější. Chod pocitové teploty byl na jednotlivých stanicích v Brně rozkolísaný, což bylo kromě kolísání hodnot výše zmíněných meteorologických prvků (T_g , T_a a H) způsobeno výrazným kolísáním rychlosti větru (V) na jednotlivých stanicích. Chod všech měřených meteorologických prvků na jednotlivých stanicích je součástí přílohy 2 (pro *BR_4* *obr. 4*, pro *BR_5* *obr. 5* a pro *BR_6* *obr. 6*). Výkyvy v chodu pocitové teploty na všech brněnských stanicích odpovídají výkyvům v chodu střední radiační teploty (T_{mrt}).

Pocitová teplota byla po celý den výrazně nejnižší na stanici *BR_6* z důvodu její lokalizace ve stínu stromu. Pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI byla po celý den na stanici *BR_6* nižší o 2,3 – 8,1 °C (průměrně o 5,5 °C) než na stanici *BR_4* (*obr. 9*). Na stanici pod stromem (*BR_6*) byly po celý den zaznamenávány nejnižší hodnoty teploty vzduchu T_a (průměrně o 2,2 °C vůči *BR_4*), nejnižší hodnoty výsledné teploty kulového teploměru T_g (průměrně o 7,6 °C vůči *BR_4*) a nejvyšší hodnoty relativní vlhkosti vzduchu H (průměrně o 4,2 % vůči *BR_4*). Chod pocitové teploty na stanicích *BR_4* a *BR_5* byl během dne téměř vyrovnaný (průměrný denní rozdíl pocitové teploty mezi oběma stanicemi činil 0,2 °C). Do 13:00 byla však mírně vyšší pocitová teplota zjišťována většinou na referenční stanici *BR_4*, po 13:00 pak na stanici u Skácelovy kašny *BR_5* (*obr. 8* a *obr. 9*). Tento fakt patrně souvisel s výrazným výdejem tepla kovového povrchu v okolí kašny po 13:00 (do 13:00 za stavu malé oblačnosti docházelo k akumulaci tepla). Průměrná denní hodnota pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI byla nejvyšší na stanici u Skácelovy kašny (*BR_5*) – 37,0 °C a nejnižší na stanici pod stromem (*BR_6*) – 31,3 °C, na referenční stanici (*BR_4*) to bylo 36,8 °C. Na stanicích *BR_4* a *BR_5* byl po většinu času výzkumu zjišťován silný teplotní stres, na stanici *BR_5* bylo však v čase 14:25 – 15:40 a na stanici *BR_4* v čase 14:35 – 15:20 dosaženo souvislého velmi silného teplotního stresu. Na stanici *BR_6* byl po většinu dne pouze mírný teplotní stres, v čase 14:20 – 15:55 pak souvislý silný teplotní stres.



Obr. 8 Průběh hodnot indexu UTCI na výzkumných lokalitách na náměstí Svobody v Brně dne 28. 08. 2019



Obr. 9 Rozdíly hodnot indexu UTCI mezi stanicemi BR_5 a BR_6 a referenční stanicí BR_4 na náměstí Svobody v Brně dne 28. 08. 2019

6.3 Měření 15. 07. 2018 – Olomouc

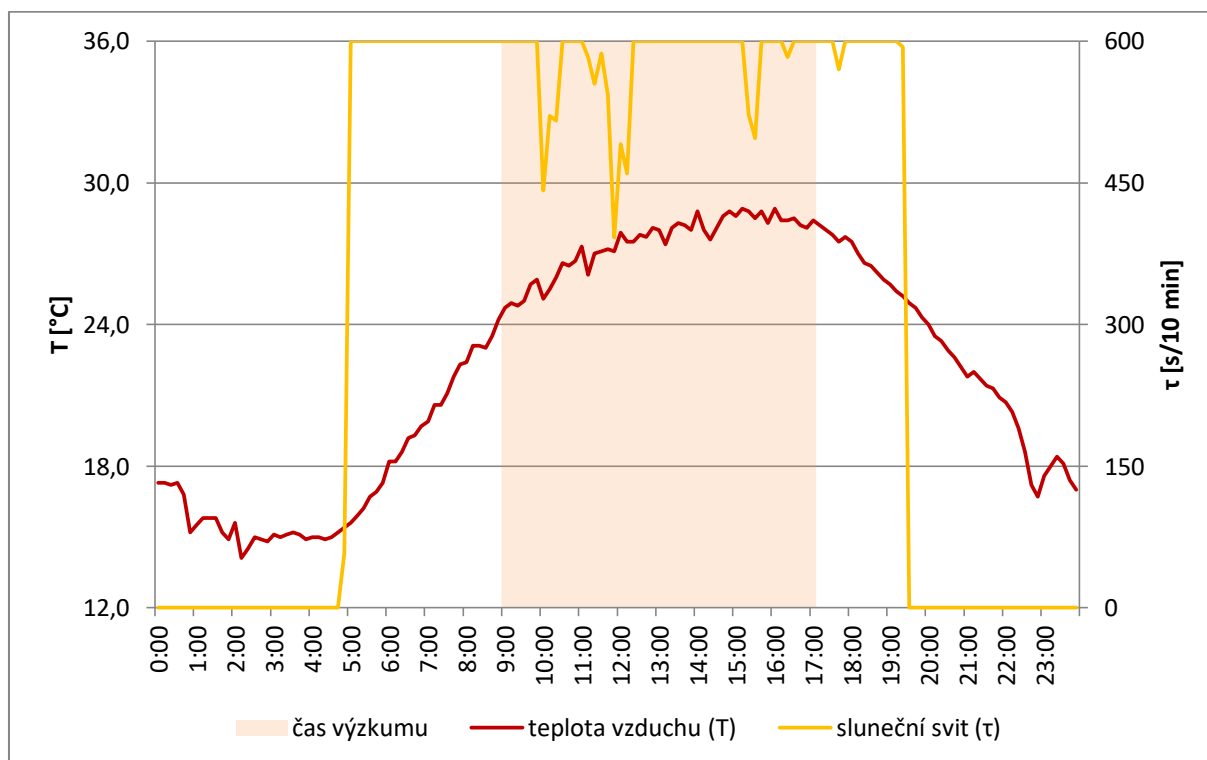
Podmínky na meteorologické stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01)

Den 15. 07. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01) byl dnem letním s naměřenou maximální denní teplotou vzduchu (T_{max}) 28,9 °C v 15:10. Průměrná denní teplota vzduchu (T_{avg}) na stanici činila 22,4 °C, v čase výzkumu (09:00 – 17:00) byl teplotní průměr 27,4 °C. Denní chod teploty vzduchu vystihuje obr. 10. Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (H_{avg}) byla 46,2 %, v čase výzkumu se však relativní vlhkost vzduchu pohybovala v rozmezí 16,0 – 40,0 % a průměrná hodnota (H_{avg}) činila 26,2 % (tab. 10). Po celý den převládal severní vítr. Průměrná rychlost větru (V_{avg}) dosáhla hodnoty 1,9 m·s⁻¹. Maximální denní rychlost větru (V_{max}) 6,6 m·s⁻¹ byla naměřena v 13:30. Dle termínového pozorování pokrytí oblohy oblačností bylo v 07:00 a 21:00 jasno, zatímco v 14:00 polojasno, což se promítlo do délky slunečního svitu (obr. 10). Vybrané meteorologické podmínky dne 15. 07. 2018 jsou shrnuty v tab. 10.

Tab. 10 Vybrané meteorologické podmínky 15. 07. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01)

	teplota vzduchu [°C]			relativní vlhkost vzduchu [%]			rychlost větru [m·s ⁻¹]			převládající směr větru	oblačnost [desetiny]		
	T _{avg}	T _{min}	T _{max}	H _{avg}	H _{min}	H _{max}	V _{avg}	V _{min}	V _{max}		07:00	14:00	21:00
celý den (00:00-23:59)	22,4	14,1	28,9	46,2	16,0	80,0	1,9	0,0	6,6	S	1	4	1
čas výzkumu (09:00-17:00)	27,4	24,7	28,9	26,2	16,0	40,0	3,2	0,6	6,6	SSZ		4	

Zdroj: ČHMÚ (2019); vlastní zpracování

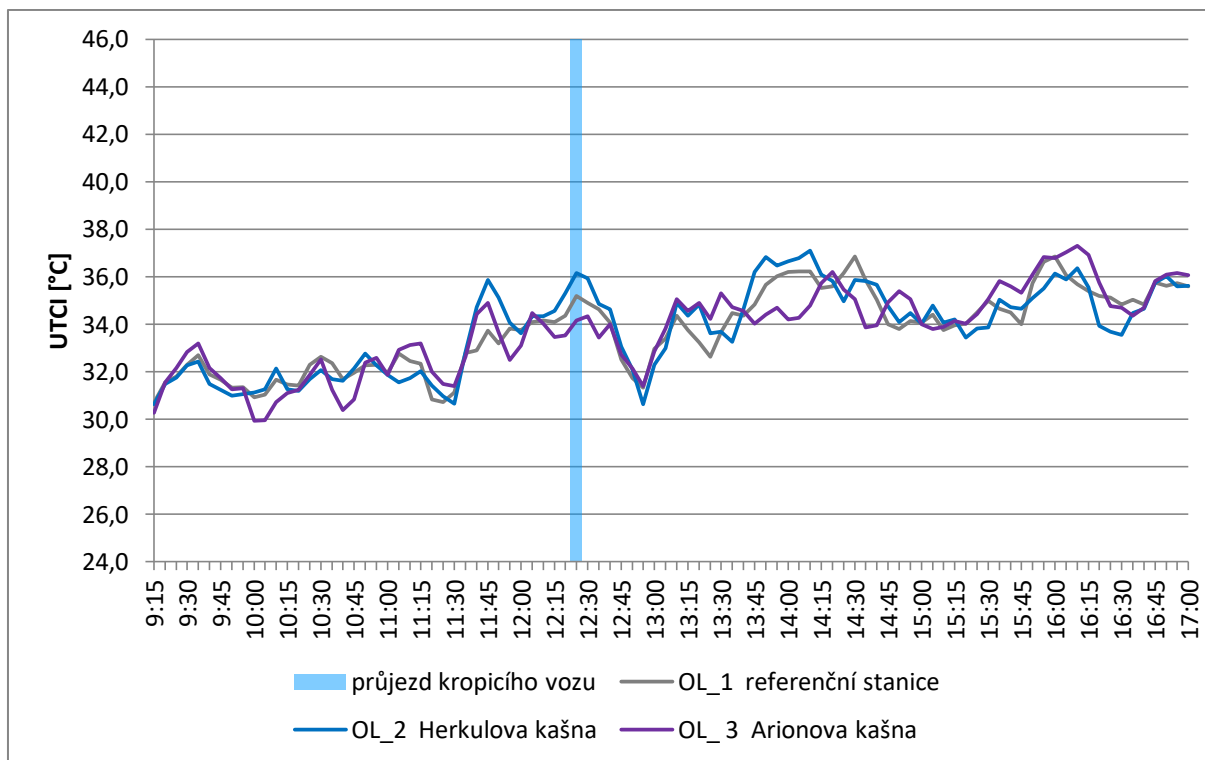


Obr. 10 Denní chod vybraných meteorologických prvků 15. 07. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01) s vyznačeným časem výzkumu na Horním náměstí v Olomouci

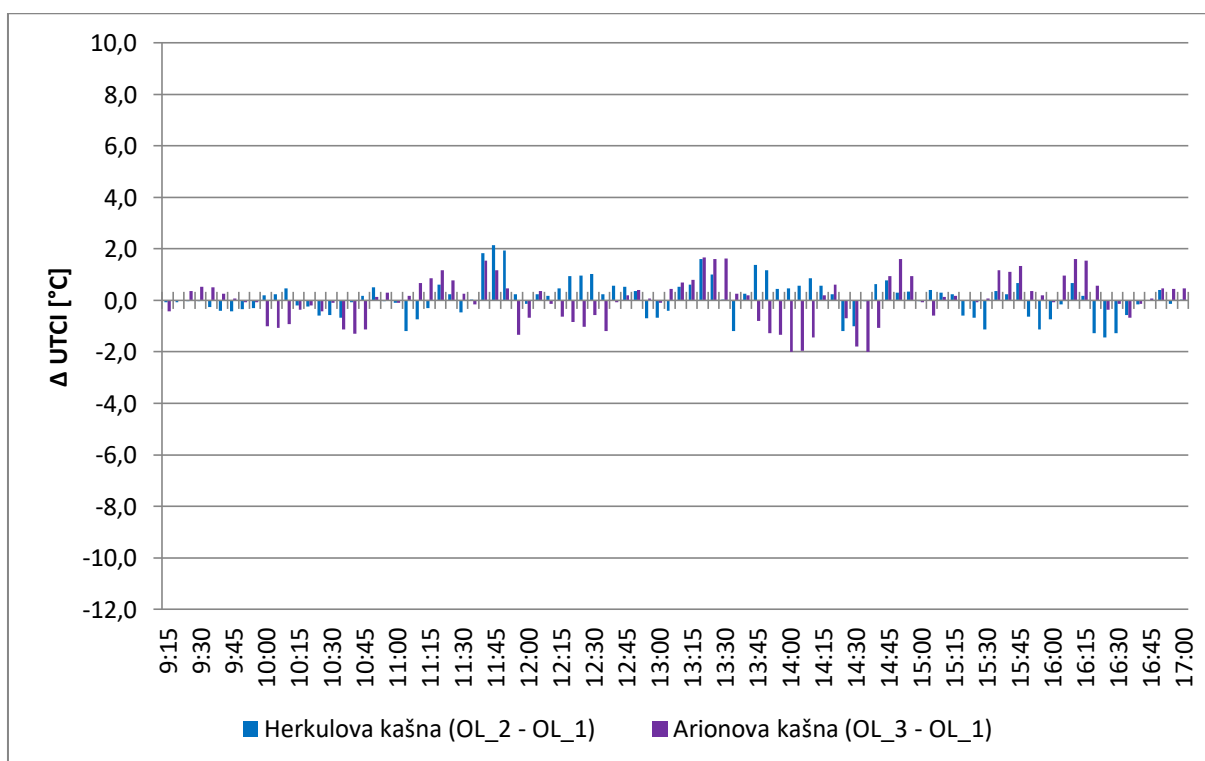
Výsledky měření na Horním náměstí v Olomouci

Celkově se pocitová teplota stanovená na základě indexu UTCI do 14:00 na všech olomouckých stanicích (OL_1 – referenční stanice, OL_2 – u Herkulovy kašny a OL_3 – u Arionovy kašny) mírně zvyšovala, což bylo determinováno zvyšováním výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a). Po 14:00 však došlo ke stagnaci hodnot uvedených meteorologických prvků v důsledku zvýšení pokrytí oblohy oblačností, a to zapříčinilo na všech stanicích stagnaci chodu pocitové teploty až do ukončení měření v 17:00 (*obr. 11*). Jako významný faktor z hlediska chodu pocitové teploty se jeví průjezd kropicího vozu plochou Horního náměstí v 12:25 (*obr. 11*). Po projetí vozu došlo na všech stanicích po dobu 15 minut ke snižování teploty vzduchu (T_a) a zvyšování relativní vlhkosti vzduchu (H), v případě referenční stanice OL_1 až o 6,0%. Po dobu 20 minut od kroupení rovněž výrazně klesala hodnota výsledné teploty kulového teploměru (T_g) – v případě referenční stanice OL_1 a stanice u Herkulovy kašny OL_2 dokonce až na absolutní denní minima (pro OL_1 31,8 °C a pro OL_2 31,4 °C). V kontextu výše uvedených změn byla v 12:45 na všech stanicích v Olomouci zjištěna denní nejnižší hodnota střední radiační teploty (T_{mrt}), což zapříčinilo výrazný pokles hodnoty pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI. Zatímco maximální ovlivnění měřených meteorologických prvků nastalo poměrně rychle (15 – 20 minut) od kroupení, návrat hodnot meteorologických prvků na úroveň trendu jejich denních chodů byl pozvolnější. I z tohoto důvodu byl největší efekt ochlazení spojený s maximálním poklesem pocitové teploty při 15 minutovém klouzavém průměrování zaznamenán až v 12:55 (*obr. 11*). K největšímu poklesu pocitové teploty po kroupení došlo na stanici u Arionovy kašny (OL_3), kde se v době 12:25 – 12:55 pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI snížila o 2,8 °C.

Výkyvy v chodu pocitové teploty v důsledku proměnlivosti měřených meteorologických prvků (T_a , T_g , H a V) spojené s přechodem denní oblačnosti byly na všech olomouckých stanicích obdobné (*obr. 11*). Chod všech měřených meteorologických prvků na jednotlivých stanicích je součástí *přílohy 2* (pro OL_1 *obr. 7*, pro OL_2 *obr. 8* a pro OL_3 *obr. 9*). Ačkoliv maximální hodnoty pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI na stanicích v blízkosti kašen (pro OL_2 37,1 °C a pro OL_3 37,3 °C) byly vyšší než maximální hodnota zaznamenaná na referenční stanici OL_1 (36,9 °C), denní průměrné hodnoty indexu UTCI na všech stanicích byly shodné (33,8 °C). Rozdíly pocitové teploty mezi olomouckými stanicemi během dne prezentuje *obr. 12*. Během dopoledne byl na všech olomouckých stanicích zjištěn mírný teplotní stres, v odpoledních hodinách pak silný teplotní stres.



Obr. 11 Průběh hodnot indexu UTCI na výzkumných lokalitách na Horním náměstí v Olomouci dne 15. 07. 2018



Obr. 12 Rozdíly hodnot indexu UTCI mezi stanicemi OL_2 a OL_3 a referenční stanicí OL_1 na Horním náměstí v Olomouci dne 15. 07. 2018

6.4 Měření 24. 07. 2018 – Olomouc

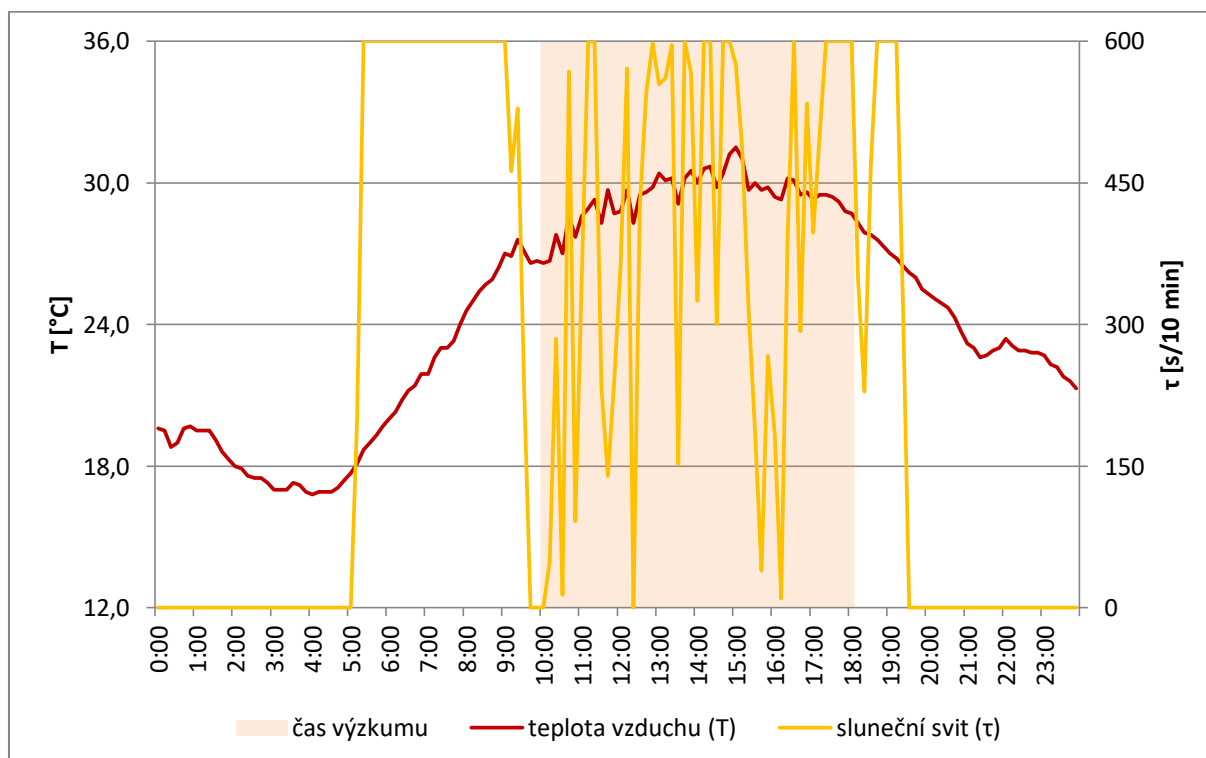
Podmínky na meteorologické stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01)

Den 24. 07. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01) lze charakterizovat jako den tropický, protože maximální denní teplota vzduchu (T_{max}) naměřená v 15:00 činila 31,5 °C. Průměrná denní teplota vzduchu (T_{avg}) byla 24,5 °C, v čase výzkumu (10:00 – 18:00) však teplota vzduchu neklesla pod 26,6 °C a její průměr dosáhl hodnoty 29,4 °C (tab. 11). Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (H_{avg}) byla 46,6 %. V čase výzkumu převládal severovýchodní vítr ($V_{avg} = 3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), po celý den pak vítr severní ($V_{avg} = 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Maximální denní rychlost větru (V_{max}) zaznamenaná v 15:50 činila $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zatímco v 07:00 a 21:00 bylo oblačno, v 14:00 skoro jasno. Pokrytí oblohy oblačností se výrazně promítlo do délky slunečního svitu (obr. 13). Základní meteorologické charakteristiky dne 24. 07. 2018 jsou uvedeny v tab. 11 a denní chod vybraných meteorologických prvků na stanici Olomouc – Holice prezentuje obr. 13.

Tab. 11 Vybrané meteorologické podmínky 24. 07. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01)

	teplota vzduchu [°C]			relativní vlhkost vzduchu [%]			rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]			převládající směr větru	oblačnost [desetiny]		
	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	H_{avg}	H_{min}	H_{max}	V_{avg}	V_{min}	V_{max}		07:00	14:00	21:00
celý den (00:00-23:59)	24,5	16,8	31,5	46,6	26,0	74,0	2,5	0,5	5,5	S	5	2	5
čas výzkumu (10:00-18:00)	29,4	26,6	31,5	31,0	26,0	39,0	3,5	1,1	5,5	SV		2	

Zdroj: ČHMÚ (2019); vlastní zpracování

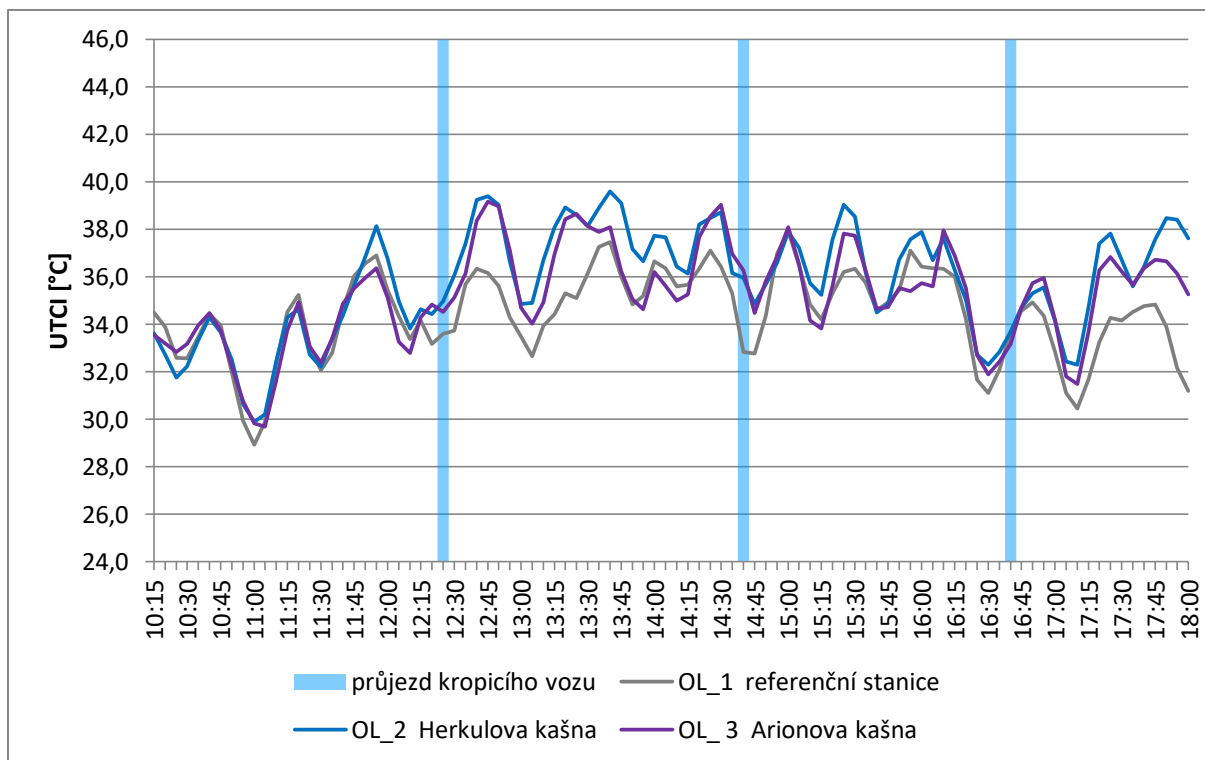


Obr. 13 Denní chod vybraných meteorologických prvků 24. 07. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01) s vyznačeným časem výzkumu na Horním náměstí v Olomouci

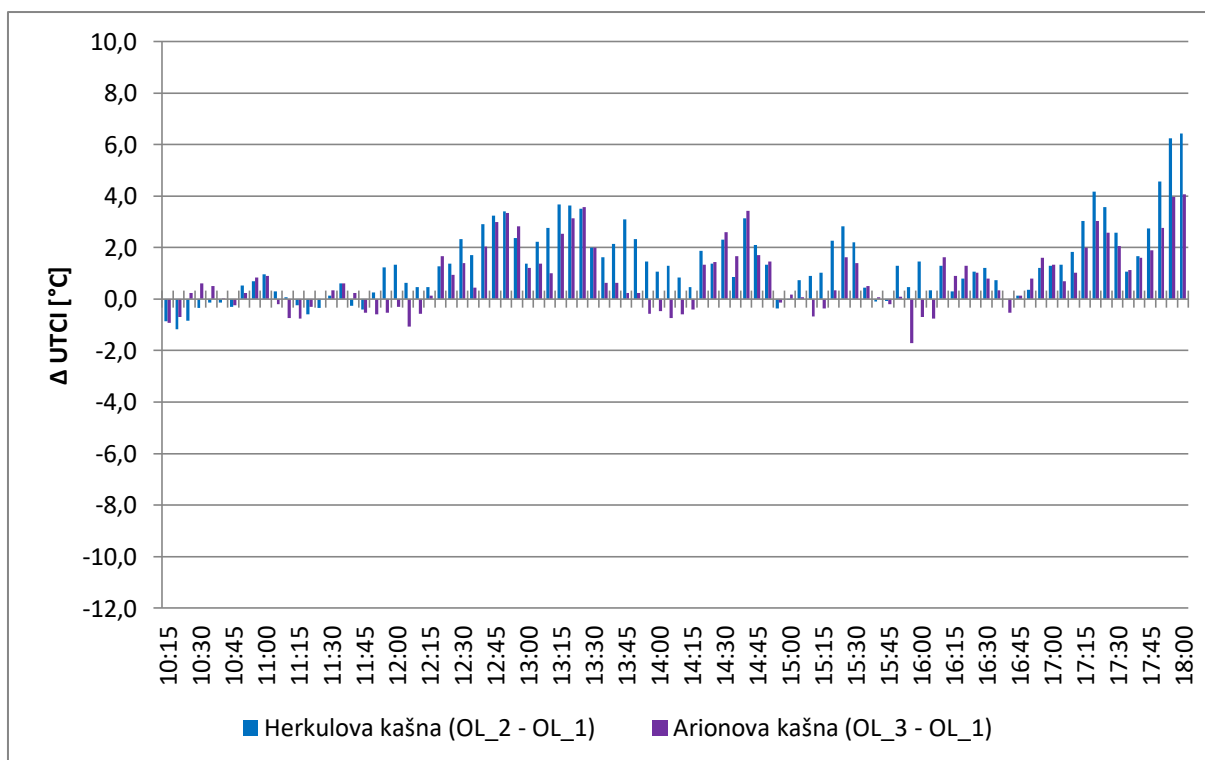
Výsledky měření na Horním náměstí v Olomouci

Chod pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI vykazoval do 14:00 na všech olomouckých stanicích (*OL_1* – referenční stanice, *OL_2* – u Herkulovy kašny a *OL_3* – u Arionovy kašny) růstový trend v důsledku růstu teploty vzduchu (T_a) a výsledné teploty kulového teploměru (T_g). Tento trend byl po 14:00 ukončen stagnací hodnot indexu UTCI v důsledku stagnace chodu hodnot měřených meteorologických prvků (T_a , T_g a H). Chod všech měřených meteorologických prvků na jednotlivých stanicích je součástí přílohy 2 (pro *OL_1* obr. 10, pro *OL_2* obr. 11 a pro *OL_3* obr. 12). Chod pocitové teploty byl na všech stanicích výrazně rozkolísaný (obr. 14) a odpovídal výkyvům v chodu střední radiační teploty (T_{mrt}). Kromě výrazného kolísání teploty vzduchu (T_a) a výsledné teploty kulového teploměru (T_g) během dne byly tyto výkyvy ovlivněny výraznými změnami v rychlosti větru (V) na jednotlivých stanicích (maximální rychlost větru zaznamenaná na referenční stanici *OL_1* byla až $7,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Dne 24. 07. 2018 na všech olomouckých stanicích bylo téměř pravidlem, že se pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI během 20 – 30 minut měnila až o $2,0 - 3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (obr. 14). Po průjezdech kropicího vozu plochou Horního náměstí v 12:25, 14:40 a 16:40 došlo k nepatrnému dočasnému zvýšení relativní vlhkosti vzduchu (H) na stanicích, teplotní poměry však výrazně ovlivněny nebyly a i dle denního chodu pocitové teploty (obr. 14) k efektu ochlazení důsledkem kroupení nedošlo.

V dopoledních hodinách (do 12:00) a v době 16:10 – 17:10, kdy byly rychlosti větru na všech stanicích (*OL_1*, *OL_2* a *OL_3*) téměř shodné, byl chod pocitové teploty na všech stanicích téměř vyrovnaný (obr. 14 a obr. 15). V časech 12:00 – 16:05 a 17:15 – 18:00 však zpravidla rychlosti větru naměřené na referenční stanici *OL_1*, patrně v důsledku lokalizace stanice na otevřeném prostranství náměstí, podstatně převyšovaly hodnoty rychlosti větru zaznamenané na stanicích v blízkosti kašen (*OL_2* a *OL_3*), což způsobilo pokles pocitové teploty na referenční stanici *OL_1* pod úroveň chodu pocitové teploty na stanicích *OL_2* a *OL_3*. Nejnižší hodnoty rychlosti větru byly pak po celý den zaznamenávány většinou na stanici u Herkulovy kašny (*OL_2*), na které byla zjištěna nejvyšší denní průměrná hodnota pocitové teploty $35,8 \text{ }^\circ\text{C}$ (pro stanici *OL_3* pak $35,2 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro *OL_1* pouze $34,4 \text{ }^\circ\text{C}$). Průměrně tak byla pocitová teplota na stanici u Herkulovy kašny (*OL_2*) o $1,4 \text{ }^\circ\text{C}$ vyšší a na stanici u Arionovy kašny (*OL_3*) o $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ vyšší než pocitová teplota na stanici *OL_1*. Maximální denní hodnota pocitové teploty byla naměřena na stanici *OL_2* v 13:40 a činila $39,6 \text{ }^\circ\text{C}$ (pro *OL_3* $39,2 \text{ }^\circ\text{C}$ v 12:45 a pro *OL_1* $37,5 \text{ }^\circ\text{C}$ v 13:40). Jak přehledně vystihuje obr. 15, byla po většinu dne pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI vyšší na stanicích v blízkosti kašen (*OL_2* a *OL_3*) než na referenční stanici *OL_1*. Chod pocitové teploty na Horním náměstí v Olomouci začalo od 17:30 ovlivňovat postupné zastínění plochy náměstí (obr. 14), a i proto rozdíl v pocitové teplotě mezi zastíněnou referenční stanicí *OL_1* a nezastíněnou stanicí u Herkulovy kašny (*OL_2*) v 18:00 činil $6,4 \text{ }^\circ\text{C}$ (obr. 15). Na stanicích *OL_2* a *OL_3* bylo v odpoledních hodinách dosaženo velmi silného teplotního stresu, jeho trvání však nebylo souvislé. Na stanici *OL_2* velmi silný teplotní stres trval celkem 90 minut, na stanici *OL_3* pouze 45 minut. Na stanici *OL_1* byl během dne zjištěn silný teplotní stres.



Obr. 14 Průběh hodnot indexu UTCI na výzkumných lokalitách na Horním náměstí v Olomouci dne 24. 07. 2018



Obr. 15 Rozdíly hodnot indexu UTCI mezi stanicemi OL_2 a OL_3 a referenční stanicí OL_1 na Horním náměstí v Olomouci dne 24. 07. 2018

6.5 Měření 01. 08. 2018 – Olomouc

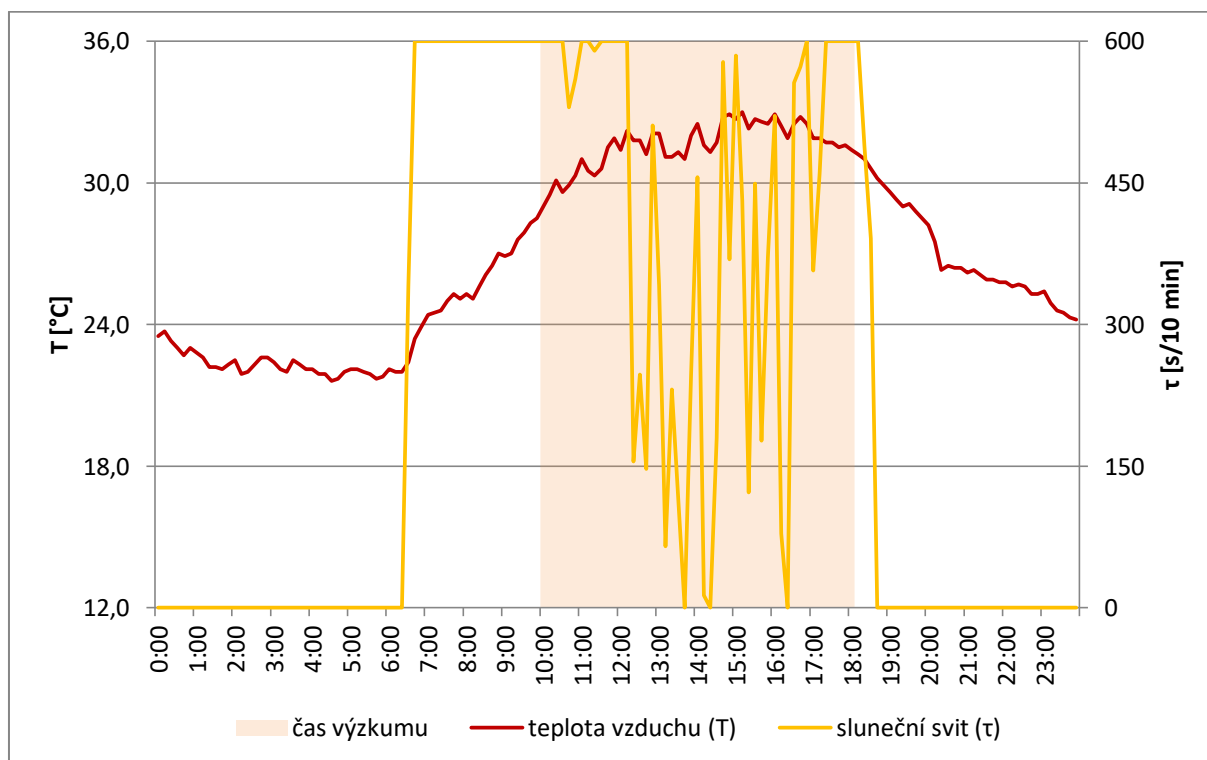
Podmínky na meteorologické stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01)

Na základě naměřené maximální denní teploty vzduchu (T_{max}) 33,0 °C v 15:10 lze den 01. 08. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01) charakterizovat jako den tropický. Průměrná denní teplota vzduchu (T_{avg}) činila 27,1 °C a průměrná denní hodnota relativní vlhkosti vzduchu (H_{avg}) byla 49,5 % (tab. 12). V čase výzkumu (10:00 – 18:00) dosáhl teplotní průměr hodnoty 31,6 °C a relativní vlhkost vzduchu se pohybovala v rozmezí 28,0 – 47,0 % s průměrem 35,0 % (tab. 12). Dne 01. 08. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01) převažoval východoseverovýchodní vítr, jeho průměrná rychlost (V_{avg}) byla 2,5 m·s⁻¹ a maximální rychlost (V_{max}) naměřená v 17:40 5,4 m·s⁻¹. Zatímco v 07:00 a 21:00 byla nízká oblačnost, v 14:00 bylo polojasno. Především po 12:00 byla zmíněnou oblačností ovlivněna délka slunečního svitu (obr. 16). Vybrané meteorologické podmínky tohoto dne jsou uvedeny v tab. 12 a denní chod vybraných meteorologických prvků vystihuje obr. 16.

Tab. 12 Vybrané meteorologické podmínky 01. 08. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01)

	teplota vzduchu [°C]			relativní vlhkost vzduchu [%]			rychlost větru [m·s ⁻¹]			převládající směr větru	oblačnost [desetiny]		
	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	H_{avg}	H_{min}	H_{max}	V_{avg}	V_{min}	V_{max}		07:00	14:00	21:00
celý den (00:00-23:59)	27,1	21,6	33,0	49,5	28,0	70,0	2,5	0,0	5,4	VSV	3	7	3
čas výzkumu (10:00-18:00)	31,6	29,0	33,0	35,0	28,0	47,0	3,6	0,3	5,4	V		7	

Zdroj: ČHMÚ (2019); vlastní zpracování

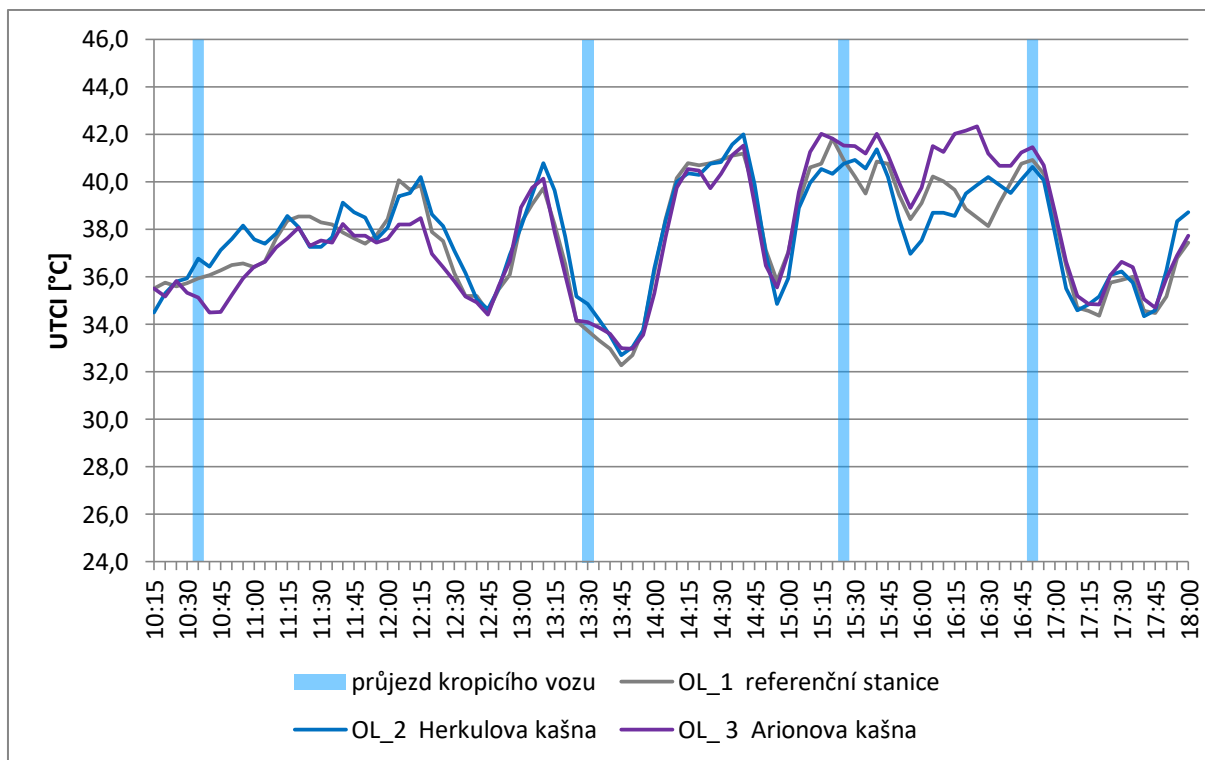


Obr. 16 Denní chod vybraných meteorologických prvků 01. 08. 2018 na stanici Olomouc – Holice (O2OLOM01) s vyznačeným časem výzkumu na Horním náměstí v Olomouci

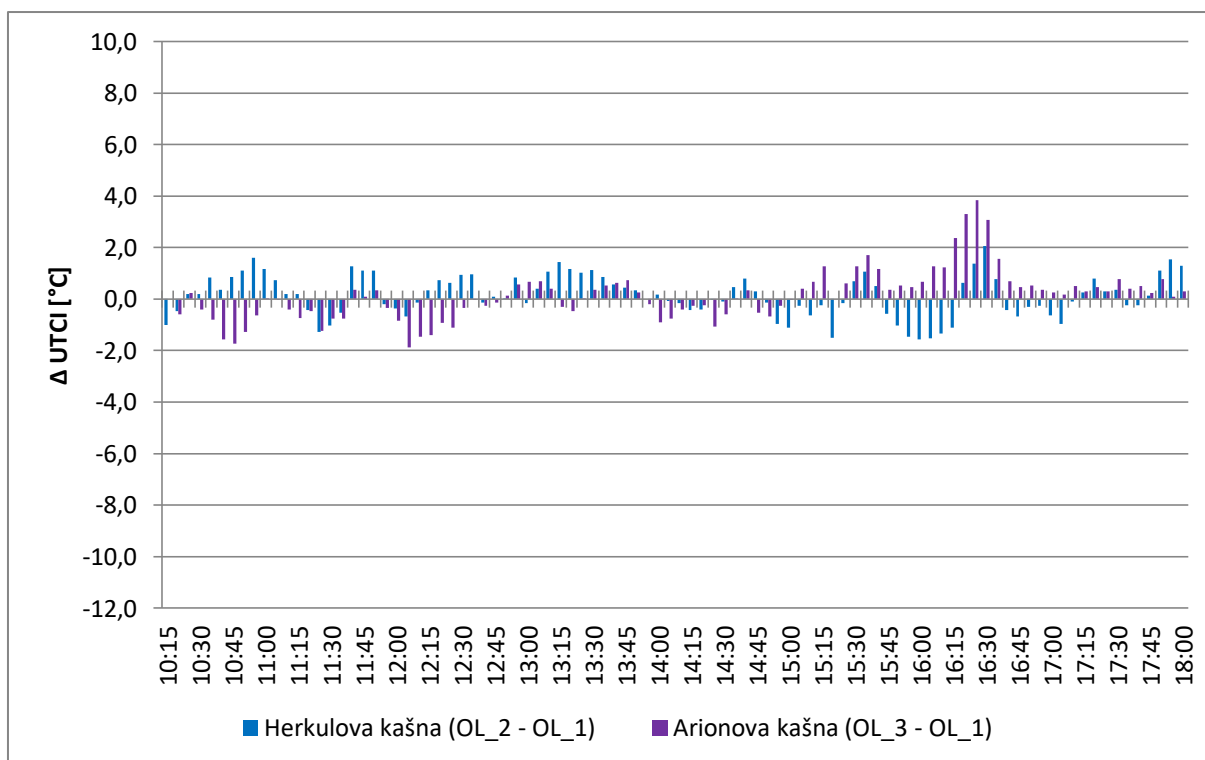
Výsledky měření na Horním náměstí v Olomouci

Postupný celkový růst pocitové teploty stanovené indexem UTCI byl na všech olomouckých stanicích (*OL_1* – referenční stanice, *OL_2* – u Herkulovy kašny a *OL_3* – u Arionovy kašny) během dne několikrát přerušen výraznými poklesy pocitové teploty (*obr. 17*) v důsledku změn hodnot měřených meteorologických prvků (T_a , T_g a H), které byly významně ovlivněny výskytem značné oblačnosti. V časech 12:15 – 12:45, 13:10 – 13:45, 14:40 – 14:55, 15:45 – 15:55 a 16:50 – 17:45, kdy byl sluneční svit omezen oblačností, došlo k výrazným poklesům hodnot výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a), což způsobilo poměrně prudké poklesy pocitové teploty na všech olomouckých stanicích (*obr. 17*). Po přechodu oblačnosti se hodnoty měřených meteorologických prvků (T_g , T_a a H) včetně zjištěných hodnot pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI vracely na úroveň trendů jejich denních chodů. Zatímco po průjezdu kropicího vozu plochou Horního náměstí v 10:35 k výraznému ovlivnění hodnot měřených meteorologických prvků nedošlo, po následujících kropeních v 13:30, 15:25 a 16:50 vždy došlo na všech olomouckých stanicích k dočasnému zvýšení relativní vlhkosti vzduchu (H), a především k poklesu teploty vzduchu (T_a) a výsledné teploty kulového teploměru (T_g). Tyto teplotní změny tak stály za poklesem pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI. Maximálního efektu ochlazení bylo na všech stanicích dosaženo vždy 15 – 20 minut po kroupení. Při kroupení náměstí v 13:30, kdy docházelo k poklesu pocitové teploty v důsledku zvýšené oblačnosti (viz výše), je z chodu hodnot měřených meteorologických prvků (T_a , T_g a H) zřejmé, že ochlazení z důvodu kroupení přispělo k ještě prudšímu poklesu pocitové teploty na všech stanicích, v případě stanic *OL_1* a *OL_3* dokonce až na denní minima (pro *OL_1* 32,3 °C v 13:45 a pro *OL_3* 33,0 °C v 13:50). V kontextu výše uvedeného nebylo dne 01. 08. 2018 na Horním náměstí v Olomouci výjimkou, že se pocitová teplota stanovená indexem UTCI měnila i o 5,0 – 8,0 °C během 30 minut (*obr. 17*). Denní průměrné hodnoty pocitové teploty na jednotlivých stanicích byly však téměř totožné – *OL_1* 37,7 °C, *OL_2* a *OL_3* shodně 37,8 °C. Chod všech měřených meteorologických prvků na jednotlivých stanicích je součástí přílohy 2 (pro *OL_1* *obr. 13*, pro *OL_2* *obr. 14* a pro *OL_3* *obr. 15*).

Jak je z *obr. 17* patrné, byl denní chod pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI, který odpovídal výkyvům v chodu střední radiační teploty (T_{mrt}), na všech olomouckých stanicích obdobný. V době 16:05 – 16:35 však hodnoty pocitové teploty zjištěné na stanici u Arionovy kašny (*OL_3*) výrazněji převyšovaly hodnoty pocitové teploty na stanicích *OL_1* a *OL_2* (*obr. 17* a *obr. 18*), což bylo způsobeno především výraznou rozdílností rychlosti větru (V) na jednotlivých stanicích. Zatímco na stanici *OL_3* byla v době 16:05 – 16:35 průměrná rychlost větru pouze $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, na stanici *OL_1* to bylo $2,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a na stanici *OL_2* $2,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V případě stanic *OL_1* a *OL_2* byla v této době rovněž naměřena denní maximální hodnota rychlosti větru (pro *OL_1* $6,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v 16:20 a pro *OL_2* $5,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v 16:15). Během dne byl na všech olomouckých stanicích zjištěn velmi silný teplotní stres, který byl v dopoledních hodinách a při přechodu oblačnosti dočasně krátkodobě zmírňován na silný teplotní stres.



Obr. 17 Průběh hodnot indexu UTCI na výzkumných lokalitách na Horním náměstí v Olomouci dne 01. 08. 2018



Obr. 18 Rozdíly hodnot indexu UTCI mezi stanicemi OL_2 a OL_3 a referenční stanicí OL_1 na Horním náměstí v Olomouci dne 01. 08. 2018

6.6 Měření 22. 08. 2018 – Ostrava

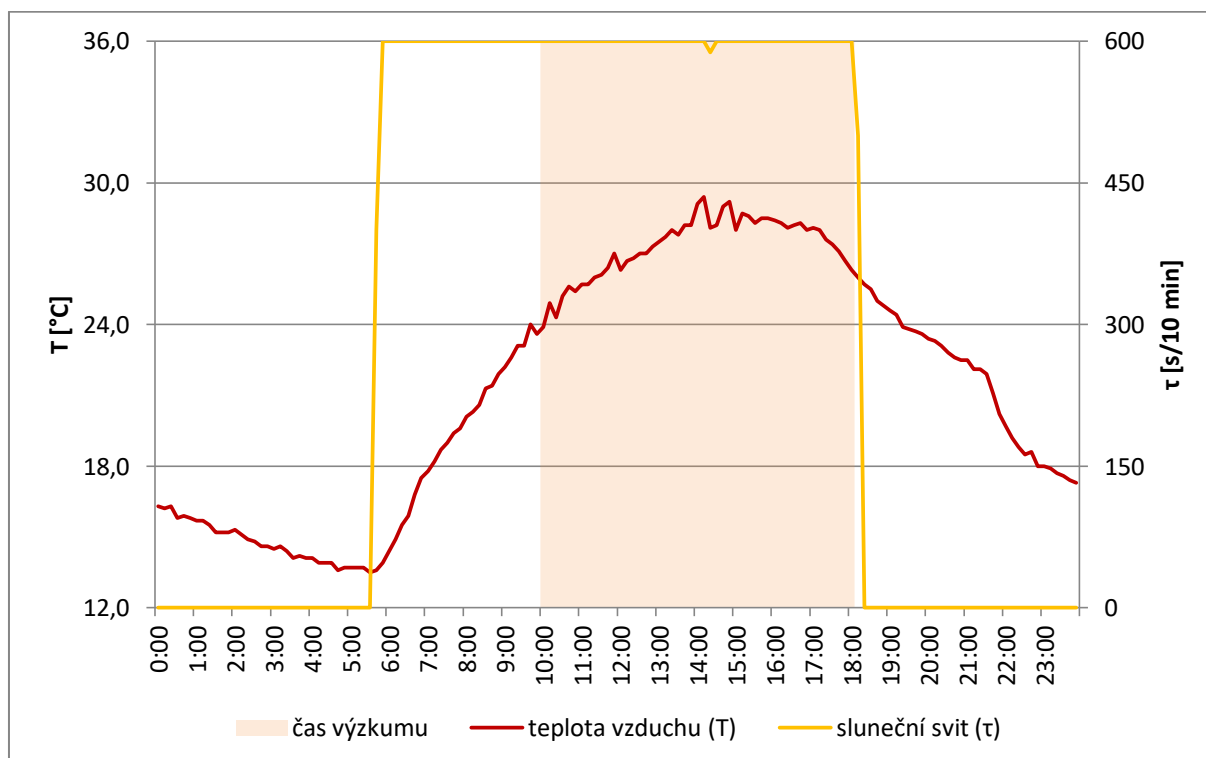
Podmínky na meteorologické stanici Ostrava – Poruba (O1PORU01)

Den 22. 08. 2018 na meteorologické stanici Ostrava – Poruba (O1PORU01) byl dnem letním s maximální denní teplotou vzduchu (T_{max}) 29,4 °C naměřenou v 14:10. Průměrná denní teplota vzduchu (T_{avg}) na stanici činila 21,5 °C, v čase výzkumu (10:00 – 18:00) však teplota vzduchu neklesla pod 23,9 °C a její průměrná hodnota byla 27,3 °C (tab. 13). Chod teploty vzduchu na stanici zachycuje obr. 19. Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (H_{avg}) dosáhla hodnoty 60,7 %, v čase výzkumu se však její hodnoty pohybovaly v rozmezí 33,0 – 48,0 % (tab. 13). Průměrná rychlost větru (V_{avg}) byla tento den 1,5 m·s⁻¹ a jeho převládající směr východní. Dle termínového pozorování oblačnosti bylo celý den jasno a délka slunečního svitu během dne tak nebyla případnou oblačností omezena (obr. 19). Vybrané meteorologické charakteristiky tohoto dne na stanici Ostrava – Poruba (O1PORU01) prezentuje tab. 13.

Tab. 13 Vybrané meteorologické podmínky 22. 08. 2018 na stanici Ostrava – Poruba (O1PORU01)

	teplota vzduchu [°C]			relativní vlhkost vzduchu [%]			rychlost větru [m·s ⁻¹]			převládající směr větru	oblačnost [desetiny]		
	T _{avg}	T _{min}	T _{max}	H _{avg}	H _{min}	H _{max}	V _{avg}	V _{min}	V _{max}		07:00	14:00	21:00
celý den (00:00-23:59)	21,5	13,5	29,4	60,7	33,0	93,0	1,5	0,4	3,1	V	0	1	0
čas výzkumu (10:00-18:00)	27,3	23,9	29,4	37,2	33,0	48,0	1,8	1,2	3,1	SV		1	

Zdroj: ČHMÚ (2019); vlastní zpracování

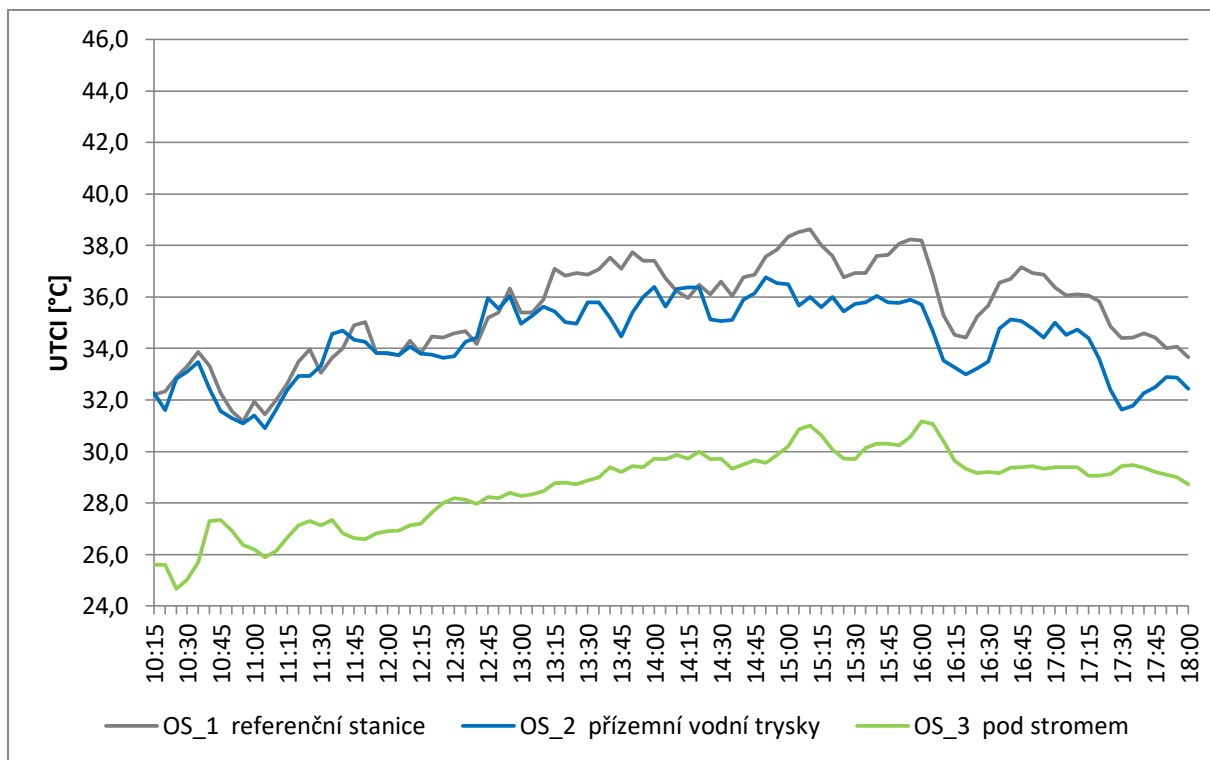


Obr. 19 Denní chod vybraných meteorologických prvků 22. 08. 2018 na stanici Ostrava – Poruba (O1PORU01) s vyznačeným časem výzkumu na Masarykově náměstí v Ostravě

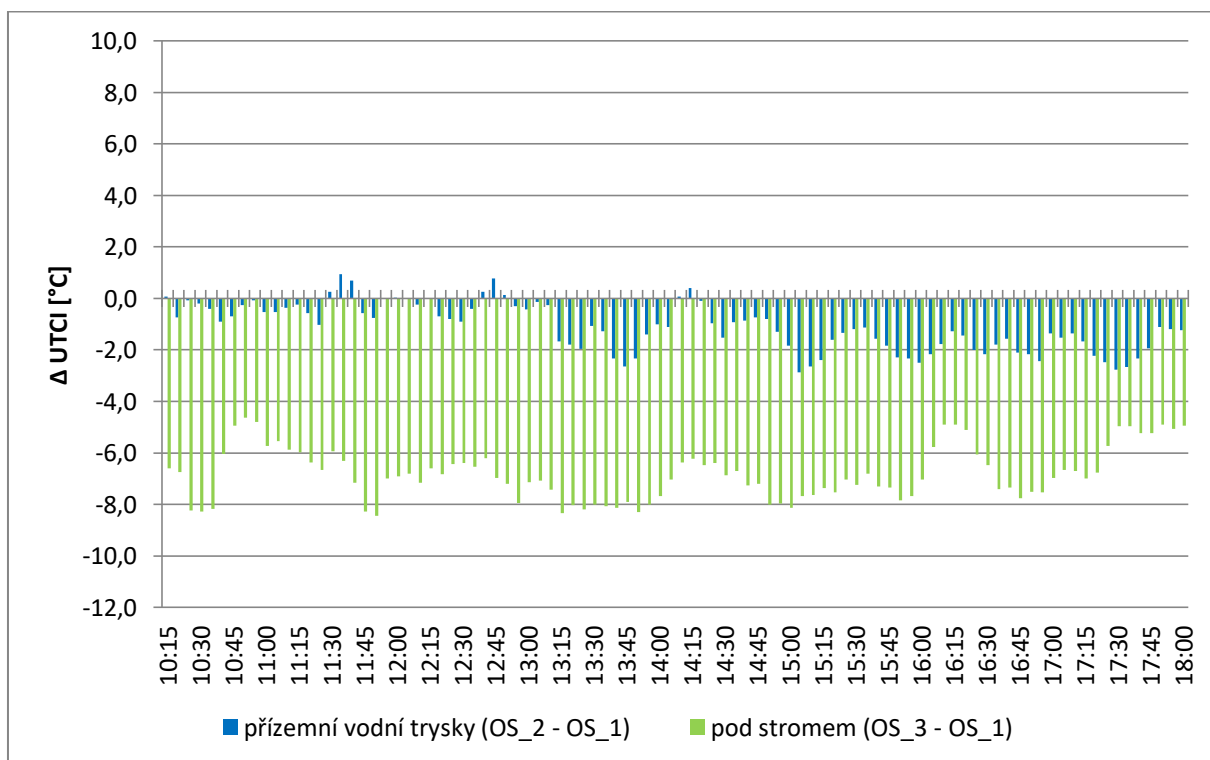
Výsledky měření na Masarykově náměstí v Ostravě

Chod pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na všech ostravských stanicích (*OS_1* – referenční stanice, *OS_2* – u přízemních vodních trysek a *OS_3* – pod stromem) vykazoval do 14:00 růstový trend v důsledku růstu výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a). Po 14:00 došlo na všech stanicích ke stagnaci hodnot pocitové teploty z důvodu stagnace hodnot měřených meteorologických prvků (T_g , T_a a H) a po 16:00 až do ukončení měření v 18:00 ke klesajícímu trendu pocitové teploty, který byl však v případě stanice pod stromem (*OS_3*) jen velmi nepatrný (*obr. 20*). Zatímco na všech ostravských stanicích se po 16:00 snižovala výsledná teplota kulového teploměru (T_g) a zvyšovala relativní vlhkost vzduchu (H), teplota vzduchu (T_a) klesala pouze na stanicích *OS_1* a *OS_2*. Na stanici *OS_3* teplota vzduchu (T_a) po 16:00 dosahovala stále hodnot srovnatelných s hodnotami teploty vzduchu v 14:00 – 16:00. Výkyvy v chodu pocitové teploty na jednotlivých ostravských stanicích odpovídají výkyvům v chodu střední radiační teploty (T_{mt}) v závislosti na proměnlivosti hodnot měřených meteorologických prvků (T_g , T_a , H a V) na stanicích. Chod všech měřených meteorologických prvků na jednotlivých stanicích je součástí *přílohy 2* (pro *OS_1* *obr. 16*, pro *OS_2* *obr. 17* a pro *OS_3* *obr. 18*). Průměrná denní hodnota pocitové teploty vyjádřená indexem UTCI byla nejvyšší na stanici *OS_1* (35,4 °C) a nejnižší na stanici *OS_3* (28,6 °C), na stanici *OS_2* průměrná denní pocitová teplota činila 34,3 °C.

Jak je z *obr. 20* a *obr. 21* patrné, byly hodnoty pocitové teploty po celý den výrazně nejnižší na stanici *OS_3*, a to z důvodu jejího zastínění stromem. Hodnoty pocitové teploty na stanici *OS_3* byly po celý den nižší o 4,6 – 8,4 °C (v průměru o 6,8 °C) než na referenční stanici *OS_1* (*obr. 21*). Na stanici pod stromem (*OS_3*) byly po celý den zaznamenávány nejnižší hodnoty výsledné teploty kulového teploměru T_g (průměrně o 9,7 °C nižší než na *OS_1*), nejnižší hodnoty teploty vzduchu T_a (průměrně o 2,8 °C nižší než na *OS_1*) a většinou také nejvyšší hodnoty relativní vlhkosti vzduchu H (průměrně o 4,0 % vyšší než na *OS_1*). Zatímco chod pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI byl do 13:00 na stanicích *OS_1* a *OS_2* téměř vyrovnaný (*obr. 20* a *obr. 21*), od 13:00 pocitová teplota na stanici u přízemních vodních trysek (*OS_2*) dosahovala nižších hodnot (průměrně o 1,6 °C) než na referenční stanici *OS_1*. Toto patrně souvisí s faktem, že do 13:00, kdy se sluneční paprsky odrážely od tmavšího mokrého povrchu k měřicí stanici *OS_2*, snížení albeda způsobilo zvýšení evaporace mokrého povrchu, a tudíž zvýšení relativní vlhkosti vzduchu (H) v okolí stanice *OS_2*, což vedlo ke zvýšení pocitové teploty na úroveň jejího chodu na stanici *OS_1*. Po 13:00 (v závislosti na chodu slunce) tento efekt ustal (sluneční paprsky se ke stanici *OS_2* odrážely od suchého povrchu s vyšším albedem než do 13:00), relativní vlhkost vzduchu (H) se v okolí stanice *OS_2* snížila a došlo k poklesu pocitové teploty na stanici *OS_2* pod úroveň jejího chodu na referenční stanici *OS_1* (*obr. 20*). Na stanicích *OS_1* a *OS_2* byl během dne zjištěn silný teplotní stres, v případě referenční stanice *OS_1* dokonce v časech 15:00 – 15:10 a 15:50 – 16:00 krátce velmi silný teplotní stres. Kvůli zastínění stanice *OS_3* vegetací zde bylo během dne dosaženo pouze mírného teplotního stresu.



Obr. 20 Průběh hodnot indexu UTCI na výzkumných lokalitách na Masarykově náměstí v Ostravě dne 22. 08. 2018



Obr. 21 Rozdíly hodnot indexu UTCI mezi stanicemi OS_2 a OS_3 a referenční stanicí OS_1 na Masarykově náměstí v Ostravě dne 22. 08. 2018

6.7 Měření 09. 08. 2019 – Ostrava

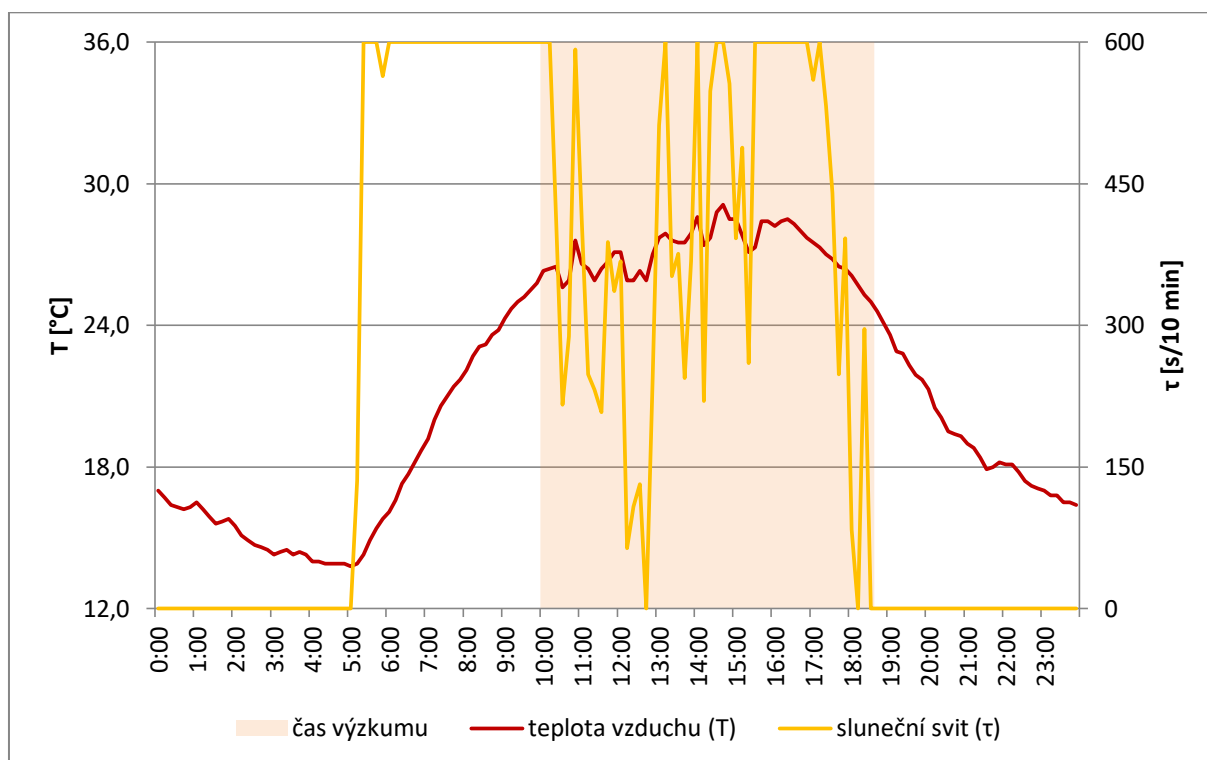
Podmínky na meteorologické stanici Ostrava – Poruba (O1PORU01)

Den 09. 08. 2019 na stanici Ostrava – Poruba (O1PORU01) byl dnem letním s maximální denní teplotou vzduchu (T_{max}) 29,1 °C naměřenou v 14:40. Průměrná denní teplota vzduchu (T_{avg}) byla 21,5 °C, v čase výzkumu (10:00 – 18:30) pak teplotní průměr činil 27,2 °C (tab. 14). Denní chod teploty vzduchu prezentuje obr. 22. Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (H_{avg}) byla 64,1 %, v čase výzkumu však průměrná hodnota relativní vlhkosti vzduchu činila 38,6 %. Po celý den převládal jihozápadní vítr a jeho průměrná denní rychlost (V_{avg}) dosáhla hodnoty 1,9 m·s⁻¹. Zatímco v 07:00 bylo jasno, v 14:00 a 21:00 polojasno. Přechod oblačnosti se výrazně promítl do délky slunečního svitu na stanici (obr. 22). Základní meteorologické charakteristiky tohoto dne jsou uvedeny v tab. 14.

Tab. 14 Vybrané meteorologické podmínky 09. 08. 2019 na stanici Ostrava – Poruba (O1PORU01)

	teplota vzduchu [°C]			relativní vlhkost vzduchu [%]			rychlost větru [m·s ⁻¹]			převládající směr větru	oblačnost [desetiny]		
	T _{avg}	T _{min}	T _{max}	H _{avg}	H _{min}	H _{max}	V _{avg}	V _{min}	V _{max}		07:00	14:00	21:00
celý den (00:00-23:59)	21,5	13,8	29,1	64,1	29,0	93,0	1,9	0,3	4,2	JZ	0	4	4
čas výzkumu (10:00-18:30)	27,2	25,0	29,1	38,6	29,0	48,0	2,9	1,3	4,2	JZ		4	

Zdroj: ČHMÚ (2019); vlastní zpracování

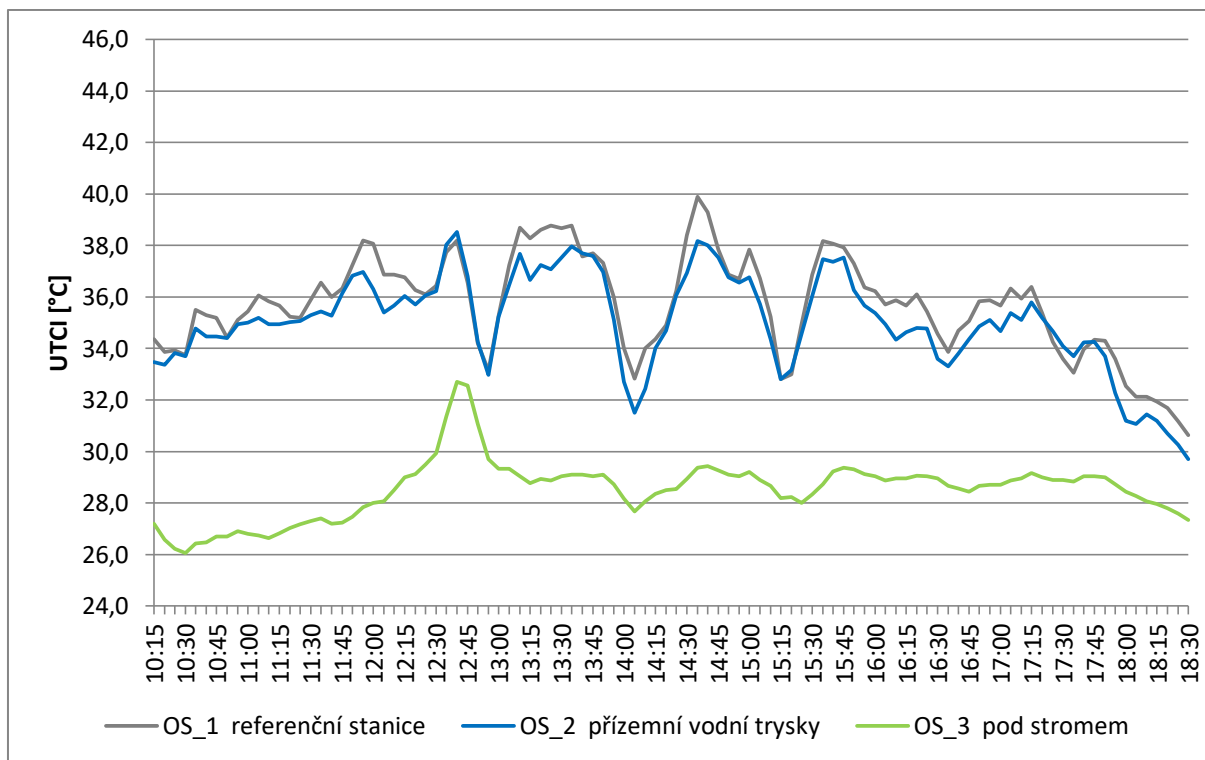


Obr. 22 Denní chod vybraných meteorologických prvků 09. 08. 2019 na stanici Ostrava – Poruba (O1PORU01) s vyznačeným časem výzkumu na Masarykově náměstí v Ostravě

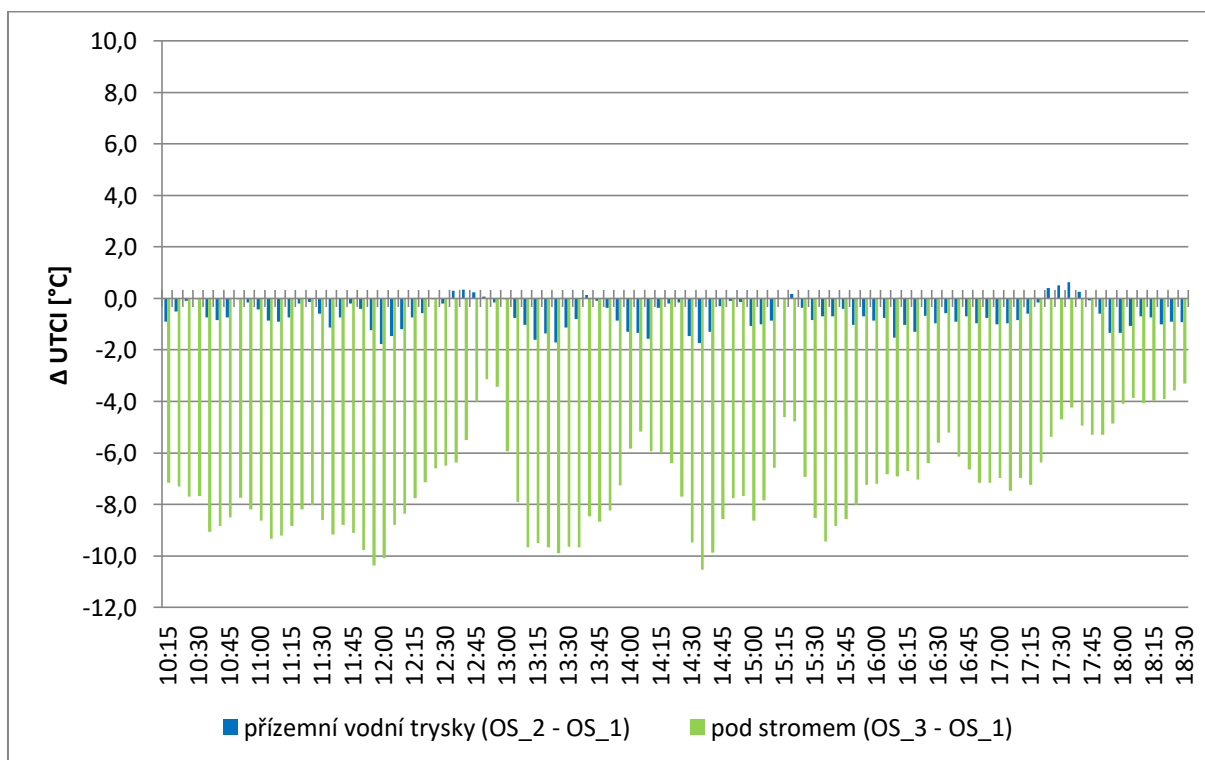
Výsledky měření na Masarykově náměstí v Ostravě

Chod pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI na všech ostravských stanicích (OS_1 – referenční stanice, OS_2 – u přízemních vodních trysek a OS_3 – pod stromem) nejvíce odpovídá chodu střední radiační teploty (T_{mrt}) na jednotlivých stanicích – zvyšování pocitové teploty bylo způsobeno zvyšováním hodnot střední radiační teploty (T_{mrt}), poklesy pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI jsou pak spojeny s poklesy střední radiační teploty (T_{mrt}). Chod pocitové teploty na referenční stanici OS_1 lze do 14:35 vystihnout růstovým trendem, od 14:35 pak klesajícím trendem (obr. 23). Na stanici u přízemních vodních trysek OS_2 a stanici pod stromem OS_3 byl růst pocitové teploty v době 10:00 – 12:45 ukončen stagnací hodnot pocitové teploty, která v případě stanice OS_2 trvala do 16:00 a v případě stanice OS_3 až do 18:00. Na stagnaci pocitové teploty na stanicích OS_2 a OS_3 navázal pokles pocitové teploty – pro OS_2 od 16:00 a pro OS_3 od 18:00 do ukončení měření v 18:30 (obr. 23). Zatímco denní chod výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a) byl na jednotlivých ostravských stanicích různý, denní chod relativní vlhkosti vzduchu (H) byl téměř totožný. Výsledná teplota kulového teploměru (T_g) se na všech ostravských stanicích do 12:45 zvyšovala, na stanicích OS_1 a OS_2 v době 12:45 – 14:45 stagnovala a od 14:45 klesala, na stanici OS_3 však výsledná teplota kulového teploměru (T_g) stagnovala od 12:45 až do 18:00 a teprve poté klesala. Teplota vzduchu (T_a) se na všech stanicích do 15:45 zvyšovala, od 15:45 pak na stanicích OS_1 a OS_2 klesala, zatímco na stanici OS_3 do 17:45 stagnovala a teprve poté klesala. Relativní vlhkost vzduchu (H) se na všech ostravských stanicích do 15:45 snižovala a od 15:45 zvyšovala. Chod všech měřených meteorologických prvků na jednotlivých stanicích je součástí přílohy 2 (pro OS_1 obr. 19, pro OS_2 obr. 20 a pro OS_3 obr. 21). Výkyvy v chodu pocitové teploty na ostravských stanicích byly výrazně ovlivněny přechodem oblačnosti. V časech 12:45 – 13:00, 13:40 – 14:05 a 15:05 – 15:15, kdy omezení slunečního svitu oblačností dočasně ovlivnilo hodnoty měřených meteorologických prvků (pokles T_g a T_a), došlo k výrazným poklesům pocitové teploty (obr. 23), a to především u stanic OS_1 a OS_2 (i o 5,0 – 6,0 °C). Poklesy pocitové teploty lze zaznamenat i u stanice OS_3 , kvůli její lokalizaci ve stínu však nebyly tak výrazné. Po přechodu oblačnosti se pocitová teplota vracela na úroveň hodnot trendu denního chodu. V případě stanice OS_3 lze v 12:30 zaznamenat prudké dočasné zvýšení pocitové teploty (obr. 23) až na denní maximum (32,7 °C v 12:40) z důvodu ovlivnění měřených meteorologických prvků (T_a , T_g a H) průnikem slunečního paprsku korunou stromů k jinak po celý den zastíněné stanici.

Jak je z obr. 23 a obr. 24 patrné, byly hodnoty pocitové teploty po celý den výrazně nejnižší na stanici pod stromem (OS_3), což bylo zapříčiněno její lokalizací ve stínu stromu. Pocitová teplota na stanici OS_3 byla po celý den o 3,1 – 10,5 °C (průměrně o 7,2 °C) nižší než na referenční stanici OS_1 , což bylo dáno měřením výrazně nižších hodnot výsledné teploty kulového teploměru T_g (průměrně o 10,5 °C vůči OS_1) a nižších hodnot teploty vzduchu T_a (průměrně o 3,0 °C vůči OS_1) po celý den na stanici OS_3 . Téměř po celý den byla také pocitová teplota na stanici u přízemních vodních trysek (OS_2) nižší než na referenční stanici OS_1 (průměrně o 0,6 °C), což patrně nejvíce souviselo s nejvyššími hodnotami rychlosti větru (V) měřenými právě na stanici OS_2 . Průměrná denní rychlost větru na stanici OS_2 byla 1,1 m·s⁻¹, zatímco na stanici OS_1 0,7 m·s⁻¹. Průměrná denní hodnota pocitové teploty vyjádřená indexem UTCI byla na stanici OS_1 nejvyšší – 35,7 °C a na stanici OS_3 nejnižší – 28,5 °C, na stanici OS_2 to bylo 35,0 °C. Během dne bylo dosaženo nesouvislého velmi silného teplotního stresu na stanici OS_1 (celkem 65 minut) a stanici OS_2 (celkem 20 minut). Na stanici pod stromem OS_3 během dne převažoval mírný teplotní stres.



Obr. 23 Průběh hodnot indexu UTCI na výzkumných lokalitách na Masarykově náměstí v Ostravě dne 09. 08. 2019



Obr. 24 Rozdíly hodnot indexu UTCI mezi stanicemi OS_2 a OS_3 a referenční stanicí OS_1 na Masarykově náměstí v Ostravě dne 09. 08. 2019

6.8 Měření 24. 07. 2019 – Plzeň

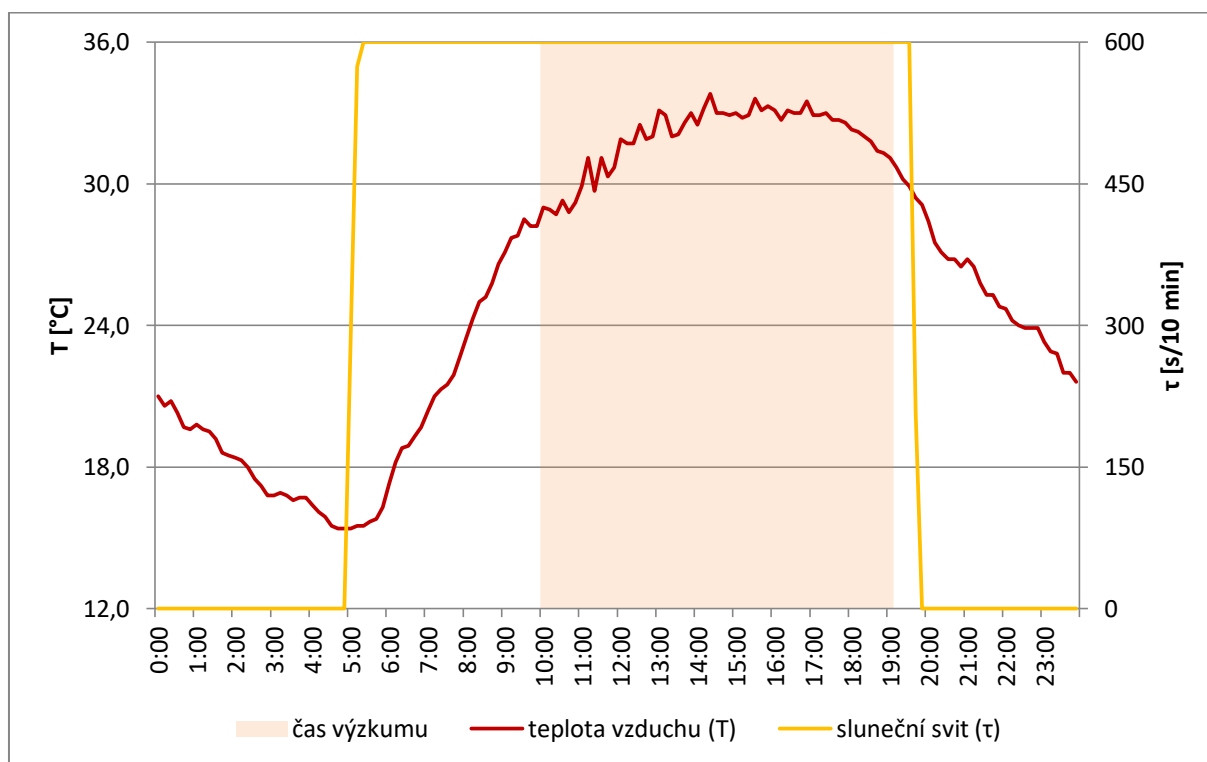
Podmínky na meteorologické stanici Plzeň – Mikulka (L1PLMI01)

Na základě naměřené maximální denní teploty vzduchu (T_{max}) 33,8 °C v 14:20 lze den 24. 07. 2019 na stanici Plzeň – Mikulka (L1PLMI01) charakterizovat jako den tropický. Průměrná denní teplota vzduchu (T_{avg}) na stanici činila 25,7 °C, v čase výzkumu (10:00 – 19:00) dosáhl teplotní průměr dokonce hodnoty 32,0 °C. Průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (H_{avg}) byla 49,3 %, v čase výzkumu pouze 29,7 %. Po celý den převládal severoseverovýchodní vítr a jeho průměrná rychlost (V_{avg}) byla 2,1 m·s⁻¹. Maximální denní rychlost větru (V_{max}) dosáhla hodnoty 3,8 m·s⁻¹. Dle termínového pozorování pokrytí oblohy oblačností bylo celý den jasno a délka slunečního svitu tak nebyla omezena případnou oblačností (obr. 25). Vybrané meteorologické podmínky tohoto dne jsou uvedeny v tab. 15 a denní chod vybraných meteorologických prvků prezentuje obr. 25.

Tab. 15 Vybrané meteorologické podmínky 24. 07. 2019 na stanici Plzeň – Mikulka (L1PLMI01)

	teplota vzduchu [°C]			relativní vlhkost vzduchu [%]			rychlost větru [m·s ⁻¹]			převládající směr větru	oblačnost [desetiny]		
	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	H_{avg}	H_{min}	H_{max}	V_{avg}	V_{min}	V_{max}		07:00	14:00	21:00
celý den (00:00-23:59)	25,7	15,4	33,8	49,3	26,0	86,0	2,1	0,5	3,8	SSV	1	1	1
čas výzkumu (10:00-19:00)	32,0	28,7	33,8	29,7	26,0	41,0	2,1	1,2	3,2	SV		1	

Zdroj: ČHMÚ (2019); vlastní zpracování

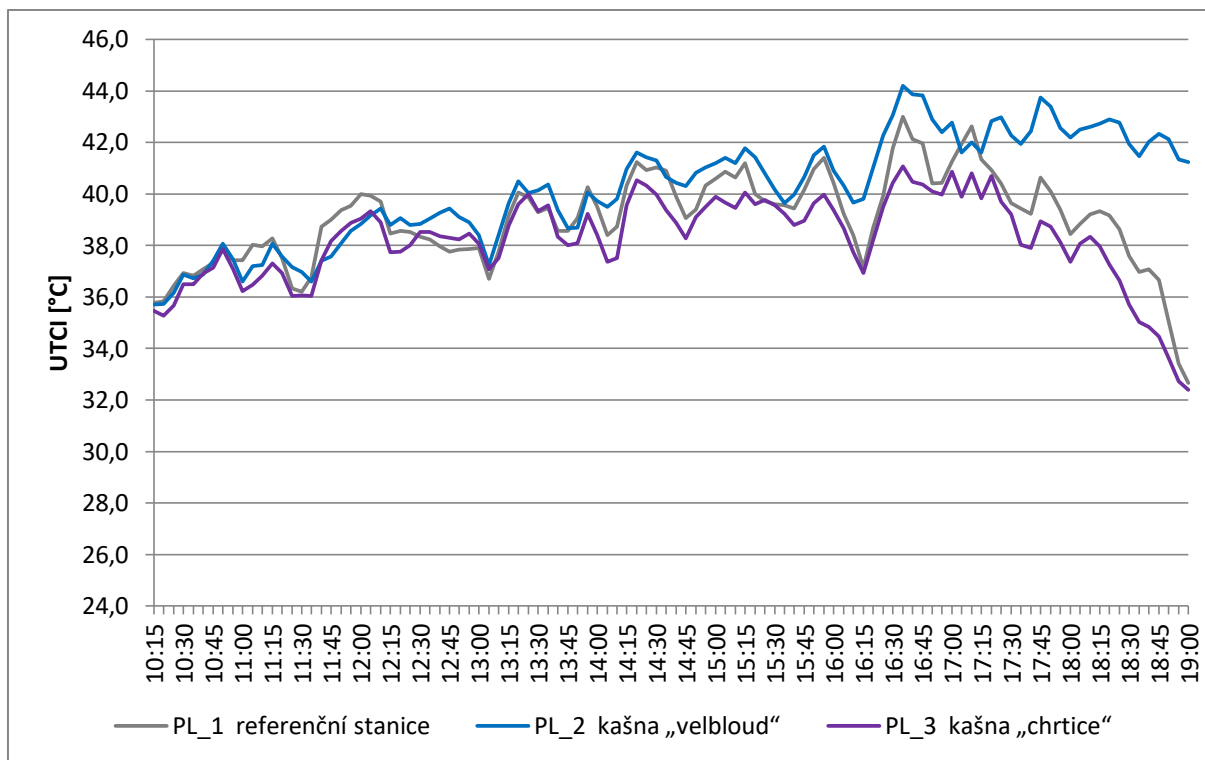


Obr. 25 Denní chod vybraných meteorologických prvků 24. 07. 2019 na stanici Plzeň – Mikulka (L1PLMI01) s vyznačeným časem výzkumu na náměstí Republiky v Plzni

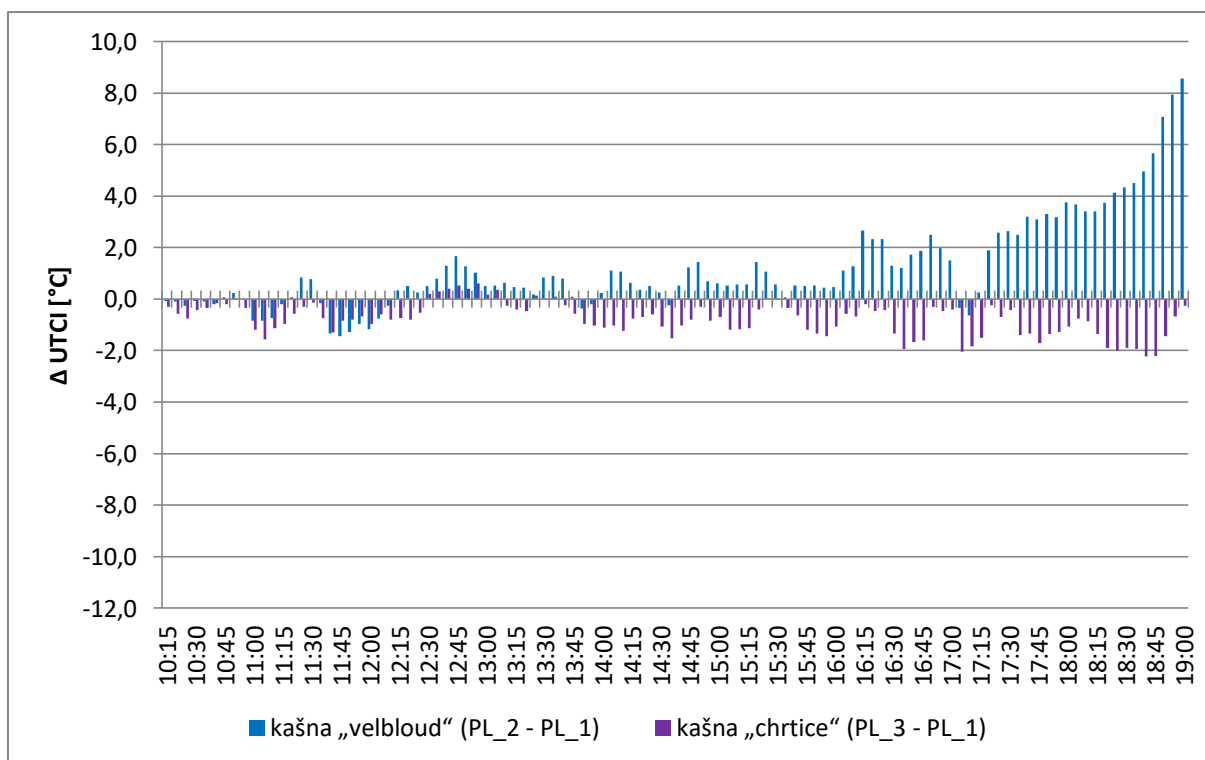
Výsledky měření na náměstí Republiky v Plzni

Denní chod pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na všech stanicích v Plzni (PL_1 – referenční stanice, PL_2 – u kašny „velblouda“ a PL_3 – u kašny „chrtice“) vykazoval od 10:00 do 17:00 růstový trend, který byl podmíněn růstem teploty vzduchu (T_a) a výsledné teploty kulového teploměru (T_g). Patrné snižování hodnoty UTCI po 17:00 v případě stanic PL_3 a PL_1 (obr. 26) až na absolutní minimum (pro PL_3 32,4 °C a pro PL_1 32,7 °C) v 19:00 bylo pak způsobeno poklesem teploty vzduchu (T_a) a výsledné teploty kulového teploměru (T_g) v důsledku zastínění uvedených stanic. V době zaznamenání absolutního denního minima hodnoty UTCI na stanicích PL_3 a PL_1 (19:00) byla na obou stanicích naměřena denní nejnižší hodnota výsledné teploty kulového teploměru (T_g) – pro obě stanice shodně 34,2 °C, zatímco teplota vzduchu (T_a) dosahovala na obou stanicích hodnot vyšších než po většinu dopolední doby (pro PL_3 33,2 °C a pro PL_1 33,8 °C). Ačkoliv denní průměrný rozdíl výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a) na všech stanicích činil 9,3 °C, v 19:00 byl v případě zastíněné stanice PL_3 1,0 °C a v případě zastíněné stanice PL_1 pouze 0,4 °C. Na stanici PL_2 hodnota pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI po 17:00 stagnovala (obr. 26) v důsledku stagnace hodnot měřených meteorologických prvků (T_a , T_g a H). V 19:00, kdy bylo měření ukončeno, činil rozdíl výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a) na stanici PL_2 7,2 °C. Maximální hodnoty indexu UTCI byly na všech třech stanicích (PL_1 43,0 °C, PL_2 44,2 °C a PL_3 41,1 °C) shodně zjištěny v 16:35 (obr. 26) a nastaly především v důsledku náhlého zvýšení výsledné teploty kulového teploměru (T_g). Dle obr. 26 nebyl chod pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI na plzeňských stanicích plynulý, ale disponoval výraznou rozkolísaností, která byla způsobena především vzájemným kolísáním hodnoty teploty vzduchu (T_a) a výsledné teploty kulového teploměru (T_g) během dne. Kolísání výsledné teploty kulového teploměru (T_g) bylo pravděpodobně zapříčiněno náhlými změnami rychlostí větru (V). Výkyvy v chodu pocitové teploty vyjádřené indexem UTCI tak v podstatě kopírovaly výkyvy v chodu střední radiální teploty (T_{mrt}). Chod všech měřených meteorologických prvků na jednotlivých stanicích je součástí přílohy 2 (pro PL_1 obr. 22, pro PL_2 obr. 23 a pro PL_3 obr. 24).

Jak je z tvaru křivek grafu na obr. 26 patrné, byl denní chod indexu UTCI na jednotlivých stanicích v Plzni obdobný (pokud není uvažován vliv zastínění stanic PL_3 a PL_1 po 17:00). Průměrná denní hodnota indexu UTCI byla nejvyšší na stanici PL_2 – 40,2 °C (10:00-17:00 – 39,6 °C) a nejnižší na stanici PL_3 – 38,2 °C (10:00-17:00 – 38,5 °C). V dopoledních hodinách, kdy byla na všech stanicích měřena velmi podobná teplota vzduchu (T_a) a na stanici PL_1 měřena vyšší výsledná teplota kulového teploměru (T_g) než na stanicích PL_2 a PL_3 , byly hodnoty indexu UTCI na stanicích v bezprostřední blízkosti kašen PL_2 a PL_3 většinou nižší než na referenční stanici PL_1 (obr. 27). V odpoledních hodinách (do 17:00), kdy byla výsledná teplota kulového teploměru (T_g) většinou nejvyšší stále na stanici PL_1 , ale teplota vzduchu (T_a) na stanici PL_2 výrazně převyšovala teploty na zbylých stanicích (PL_1 a PL_3), pak index UTCI na stanici PL_2 dosahoval vyšších hodnot než na referenční stanici PL_1 . Vyšší teplota vzduchu (T_a) a s tím související vyšší pocitová teplota na stanici PL_2 v odpoledních hodinách patrně souvisela s lokalizací měřicí stanice PL_2 blízko fasád domů intenzivně prohřívaných dopadajícím slunečním zářením. Během dne byla pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI na stanici PL_2 průměrně o 1,2 °C vyšší a na stanici PL_3 průměrně o 0,8 °C nižší než pocitová teplota na stanici PL_1 . Rozdíly hodnot indexu UTCI jsou přehledně prezentovány na obr. 27. Na všech plzeňských stanicích bylo během dne dosaženo velmi silného teplotního stresu (jeho celkové trvání bylo na stanici PL_2 440 minut, na stanici PL_1 385 minut a na stanici PL_3 340 minut).



Obr. 26 Průběh hodnot indexu UTCI na výzkumných lokalitách na náměstí Republiky v Plzni dne 24. 07. 2019



Obr. 27 Rozdíly hodnot indexu UTCI mezi stanicemi PL_2 a PL_3 a referenční stanicí PL_1 na náměstí Republiky v Plzni dne 24. 07. 2019

6.9 Měření 25. 07. 2019 – Plzeň

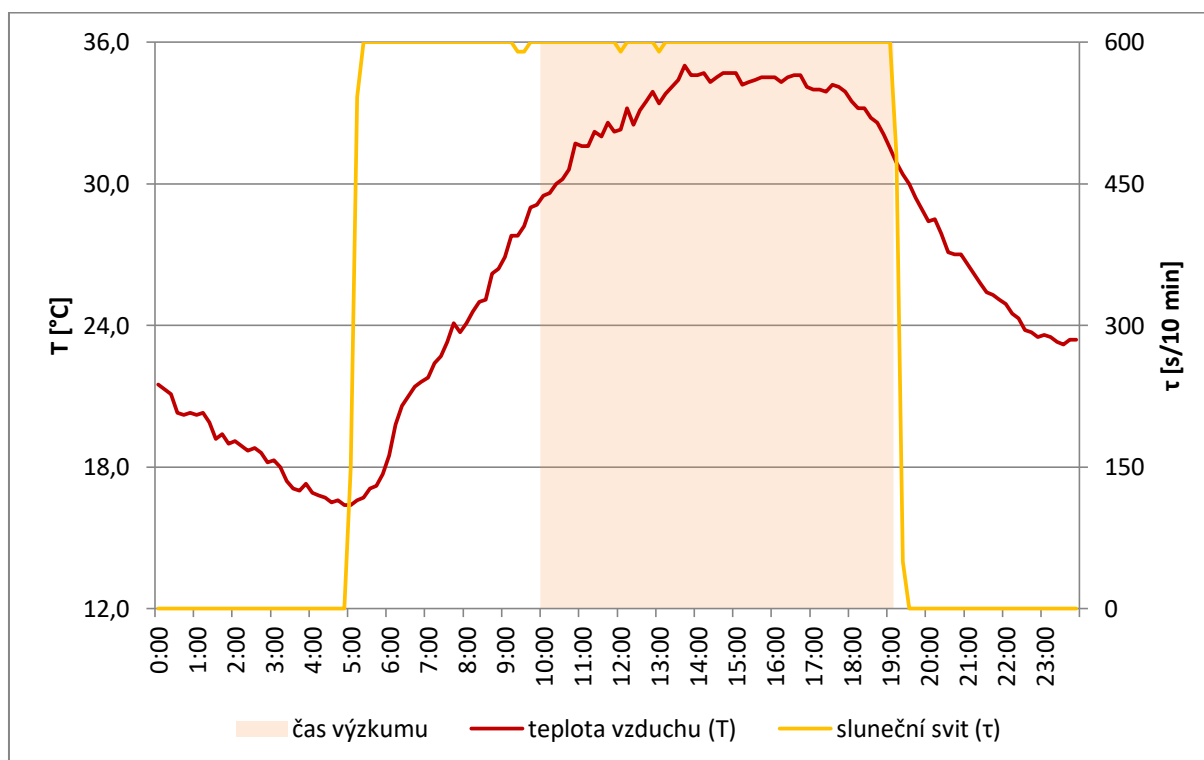
Podmínky na meteorologické stanici Plzeň – Mikulka (L1PLMI01)

Den 25. 07. 2019 na stanici Plzeň – Mikulka (L1PLMI01) byl dnem tropickým s naměřenou maximální denní teplotou vzduchu (T_{max}) 35,0 °C v 13:40. Průměrná denní teplota vzduchu (T_{avg}) činila 26,6 °C, v čase výzkumu (10:00 – 19:00) však teplota na stanici neklesla pod 29,5 °C a její průměr byl 33,3 °C (tab. 16). Průměrná denní hodnota relativní vlhkosti vzduchu (H_{avg}) byla 46,0 %, v čase výzkumu však pouze 28,6 %. Průměrná denní rychlost větru (V_{avg}) 2,4 m·s⁻¹ byla téměř shodná s průměrnou rychlostí větru v čase výzkumu 2,3 m·s⁻¹. Během tohoto dne převládal severní vítr a dle termínového pozorování oblačnosti byla jasná obloha (tab. 16). Délka slunečního svitu tak nebyla omezena případnou oblačností. Vybrané meteorologické podmínky tohoto dne jsou uvedeny v tab. 16 a denní chod vybraných meteorologických prvků vystihuje obr. 28.

Tab. 16 Vybrané meteorologické podmínky 25. 07. 2019 na stanici Plzeň – Mikulka (L1PLMI01)

	teplota vzduchu [°C]			relativní vlhkost vzduchu [%]			rychlost větru [m·s ⁻¹]			převládající směr větru	oblačnost [desetiny]		
	T_{avg}	T_{min}	T_{max}	H_{avg}	H_{min}	H_{max}	V_{avg}	V_{min}	V_{max}		07:00	14:00	21:00
celý den (00:00-23:59)	26,6	16,4	35,0	46,0	24,0	81,0	2,4	0,4	4,4	S	1	1	1
čas výzkumu (10:00-19:00)	33,3	29,5	35,0	28,6	24,0	39,0	2,3	1,1	3,5	VSV		1	

Zdroj: ČHMÚ (2019); vlastní zpracování

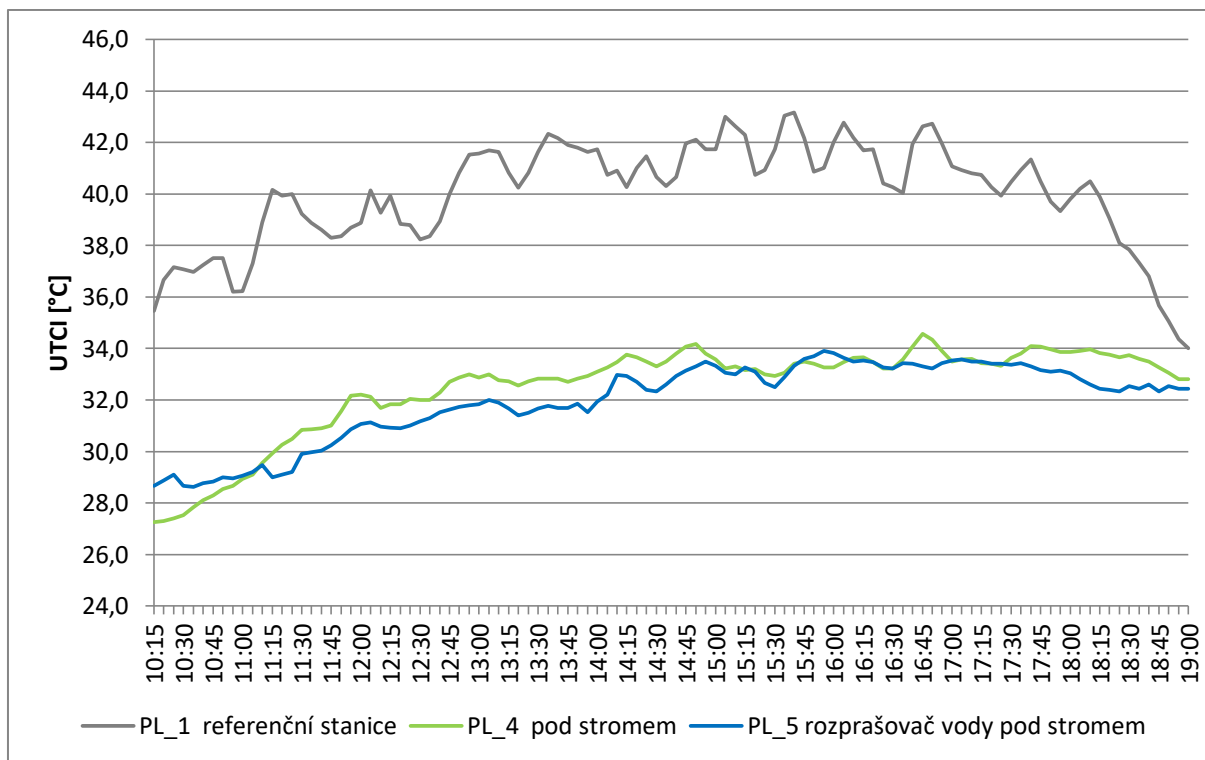


Obr. 28 Denní chod vybraných meteorologických prvků 25. 07. 2019 na stanici Plzeň – Mikulka (L1PLMI01) s vyznačeným časem výzkumu na vybraných lokalitách v Plzni

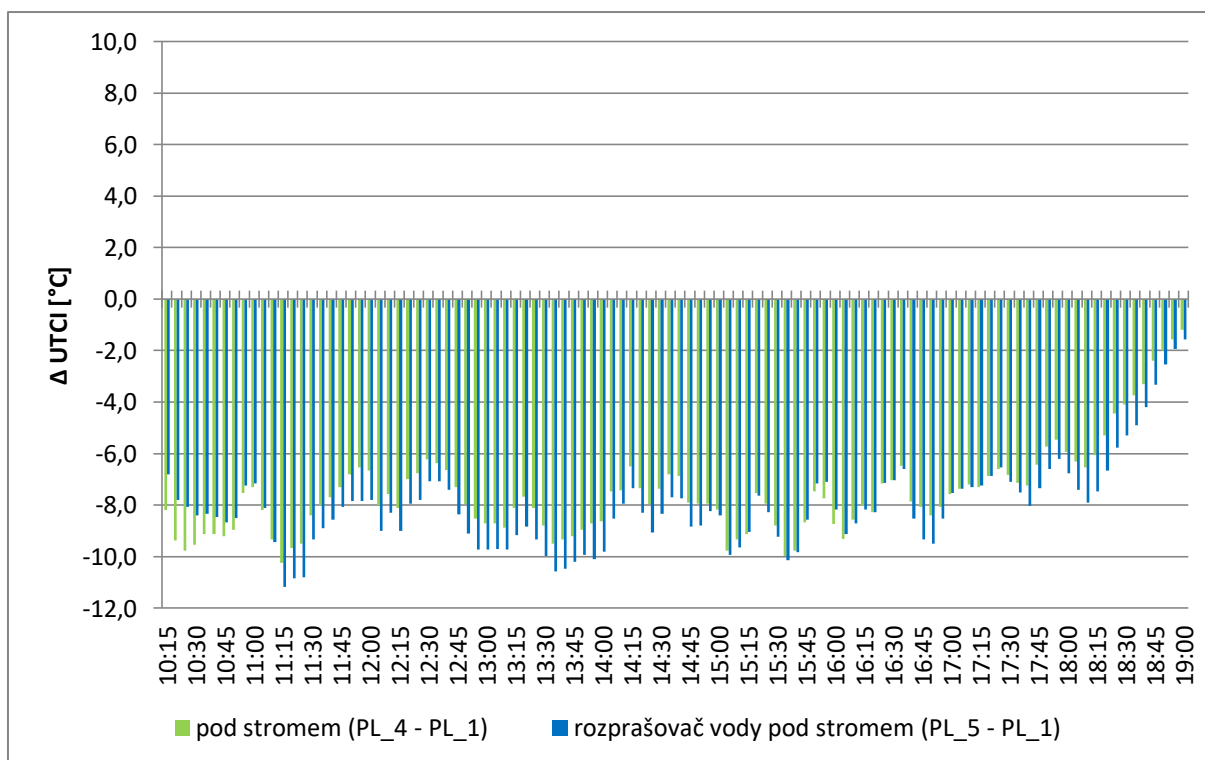
Výsledky měření na vybraných lokalitách v Plzni

Celkově se pocitová teplota stanovená na základě indexu UTCI do 14:00 na všech plzeňských stanicích (PL_1 – referenční stanice, PL_4 – pod stromem v městském parku a PL_5 – u rozprašovače pod stromem v městském parku) zvyšovala (obr. 29) v důsledku růstu výsledné teploty kulového teploměru (T_g) a teploty vzduchu (T_a). Po 14:00 docházelo na všech stanicích ke stagnaci pocitové teploty z důvodu stagnace hodnot výše zmíněných meteorologických prvků (T_g a T_a), v případě stanic PL_4 a PL_5 až do ukončení měření v 19:00 (obr. 29). Stagnace pocitové teploty na stanici PL_1 však byla v 17:00 ukončena klesajícím trendem v důsledku zastínění stanice. Po 17:00 na stanici PL_1 postupně klesala výsledná teplota kulového teploměru (T_g) a teplota vzduchu (T_a), relativní vlhkost vzduchu (H) však stagnovala. Výkyvy v chodu pocitové teploty na jednotlivých plzeňských stanicích odpovídají výkyvům v chodu střední radiační teploty (T_{mrt}), která byla výrazně ovlivněna změnami v rychlostech větru (V) na jednotlivých stanicích. Nejvýraznější kolísání rychlosti větru (V) bylo zaznamenáno na referenční stanici PL_1 , čemuž odpovídá i tvar křivky chodu pocitové teploty na stanici PL_1 na obr. 29. Kvůli lokalizaci stanice PL_1 na otevřeném prostranství náměstí byly na této stanici téměř po celý den měřeny výrazně vyšší rychlosti větru než na zbylých plzeňských stanicích. Maximální denní rychlost větru zaznamenaná v 17:00 na stanici PL_1 činila $6,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, průměrná denní rychlost větru na stanici PL_1 byla $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, v případě stanic PL_4 a PL_5 pak shodně pouze $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Chod všech měřených meteorologických prvků na jednotlivých stanicích je součástí přílohy 2 (pro PL_1 obr. 25, pro PL_4 obr. 26 a pro PL_5 obr. 27).

Jak je z obr. 29 a obr. 30 patrné, byla pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI po celý den na stanicích PL_4 a PL_5 výrazně nižší než na stanici PL_1 , a to z důvodu ovlivnění měřených meteorologických prvků (T_g , T_a , H a V) lokalizací stanic PL_4 a PL_5 ve stínu stromů. Výsledná teplota kulového teploměru (T_g) i teplota vzduchu (T_a) byly během dne na stanicích PL_4 a PL_5 výrazně nižší (průměrně pro PL_5 T_g o $11,9 \text{ }^\circ\text{C}$ a T_a o $3,2 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro PL_4 T_g o $11,2 \text{ }^\circ\text{C}$ a T_a o $3,0 \text{ }^\circ\text{C}$) než na referenční stanici PL_1 . Relativní vlhkost vzduchu (H) byla během dne na stanici PL_5 průměrně o $4,1 \%$ a na stanici PL_4 o $5,0 \%$ vyšší než na referenční stanici PL_1 . Po většinu dne byla pocitová teplota na stanici v blízkosti rozprašovače (PL_5) mírně nižší než na stanici PL_4 (průměrně o $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$), což bylo dáno především nižšími hodnotami výsledné teploty kulového teploměru (T_g) na stanici PL_5 , protože teplota vzduchu (T_a), relativní vlhkost vzduchu (H) i rychlosti větru (V) byly na obou stanicích téměř totožné. Průměrná denní hodnota pocitové teploty na stanici PL_5 činila $32,0 \text{ }^\circ\text{C}$ a na stanici PL_4 $32,5 \text{ }^\circ\text{C}$, zatímco na referenční stanici PL_1 byla tato hodnota $40,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Dle obr. 30 byl maximální denní rozdíl pocitové teploty stanic PL_5 a PL_4 od pocitové teploty na stanici PL_1 zjištěn v 11:15 (pro PL_5 $11,2 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro PL_4 $10,2 \text{ }^\circ\text{C}$). Na referenční stanici PL_1 byl během dne sledován velmi silný teplotní stres o délce trvání 440 minut. Na stanicích PL_4 a PL_5 bylo v dopoledních hodinách dosaženo mírného teplotního stresu a v odpoledních hodinách silného teplotního stresu.



Obr. 29 Průběh hodnot indexu UTCI na výzkumných lokalitách v Plzni dne 25. 07. 2019

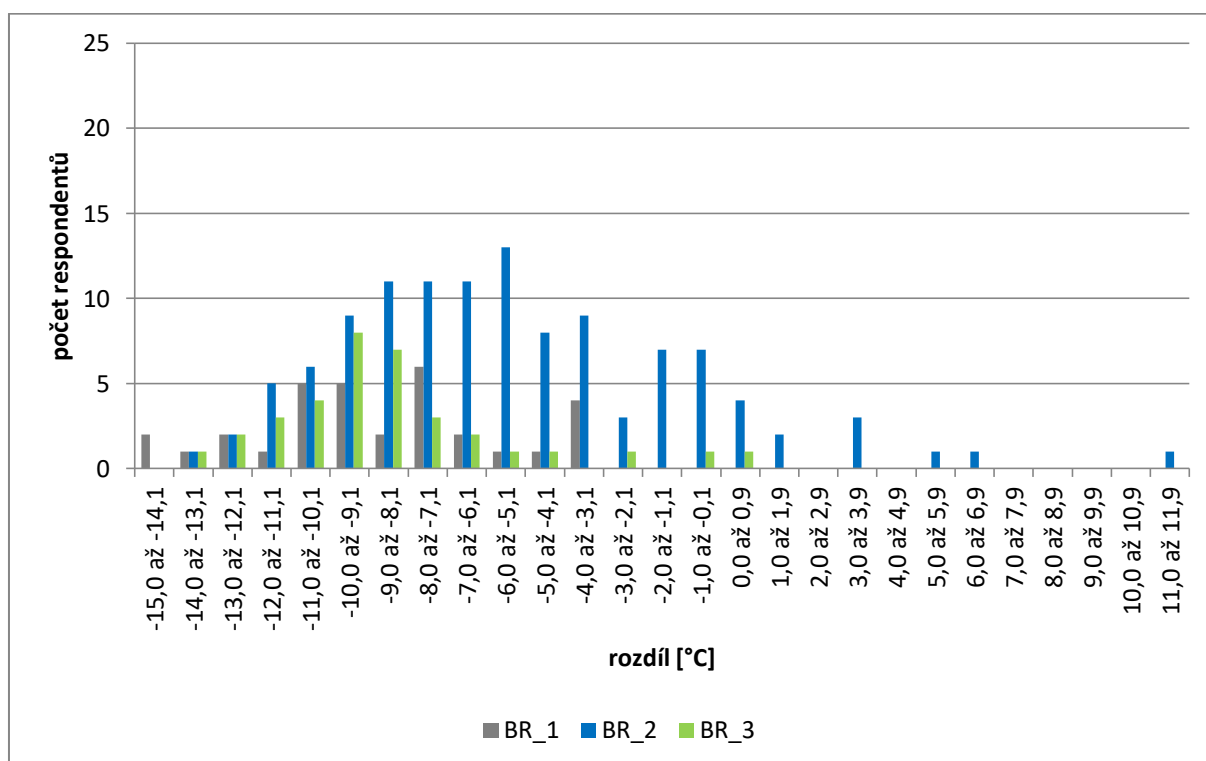


Obr. 30 Rozdíly hodnot indexu UTCI mezi stanicemi PL_4 a PL_5 a referenční stanicí PL_1 na vybraných lokalitách v Plzni dne 25. 07. 2019

7 Výsledky dotazníkového šetření

7.1 Dotazníkové šetření 12. 08. 2019 – Brno

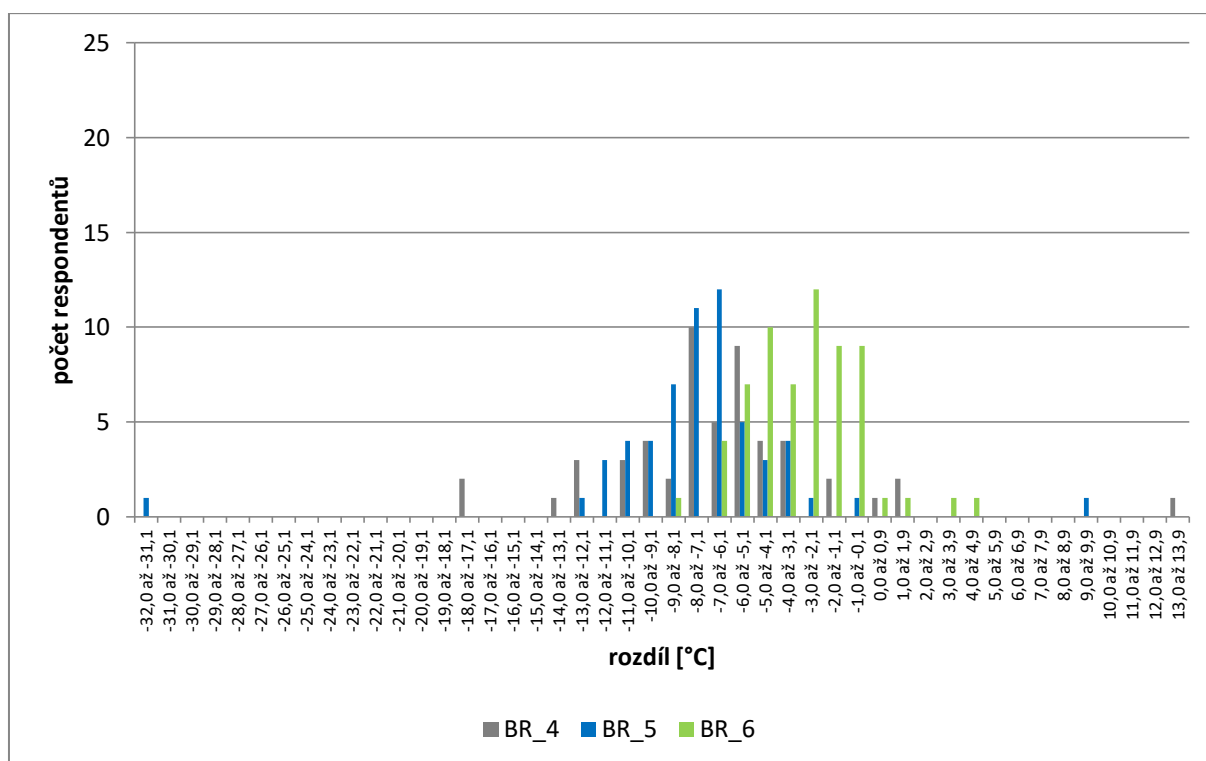
Dne 12. 08. 2019 byly na Moravském náměstí v Brně do výzkumu zahrnuty odpovědi celkem 182 respondentů. Nejvíce respondentů (115) odhadovalo teplotu vzduchu v blízkosti stanice u přízemních vodních trysek *BR_2* a nejméně respondentů (32) na referenční stanici *BR_1*, na stanici na trávníku v parku *BR_3* odhadovalo teplotu vzduchu 35 respondentů. Odhady teploty vzduchu respondenty na jednotlivých lokalitách v čase prezentuje *obr. 1* v *příloze 3*. Z šetření vyplývá, že 92,9 % (pro *BR_1* 100,0 %) dotázaných odhadovalo během dne teplotu vzduchu nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Zatímco na referenční stanici *BR_1* a stanici v parku *BR_3* byl průměrný rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené indexem UTCI téměř totožný (pro *BR_1* $-8,7$ °C a pro *BR_3* $-8,6$ °C), na stanici u fontány *BR_2* činil průměrný rozdíl $-5,4$ °C. Jak je z *obr. 31* patrné, nejvíce respondentů (pro *BR_2* 13, pro *BR_3* 8 a pro *BR_1* 6) odhadovalo teplotu vzduchu na stanici *BR_2* o 5,1 až 6,0 °C nižší, na stanici *BR_3* o 9,1 až 10,0 °C nižší a na stanici *BR_1* o 7,1 až 8,0 °C nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Zatímco v případě stanice *BR_1* byly nejpřesnější odhady teploty vzduchu o 3,1 až 4,0 °C nižší než pocitová teplota stanovená indexem UTCI, na stanicích *BR_2* a *BR_3* se nejpřesnější teplotní odhady lišily jen o 0,1 až 1,0 °C vůči pocitové teplotě stanovené na základě indexu UTCI.



Obr. 31 Rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na vybraných lokalitách Moravského náměstí v Brně dne 12. 08. 2019

7.2 Dotazníkové šetření 28. 08. 2019 – Brno

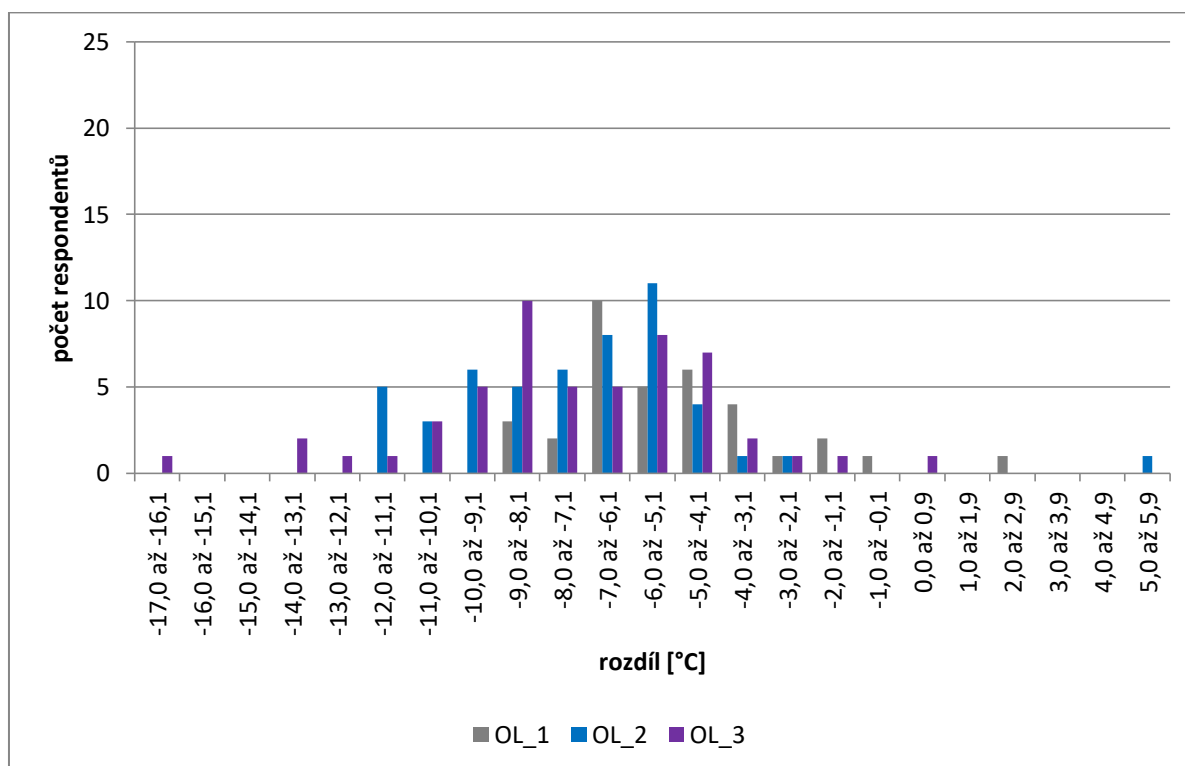
Celkový počet respondentů zapojených do výzkumu tepelného komfortu 28. 08. 2019 na náměstí Svobody v Brně byl 174. Rozložení respondentů mezi jednotlivými lokalitami bylo téměř vyrovnané – na referenční stanici *BR_4* bylo osloveno 53, na stanici u Skácelovy kašny *BR_5* 58 a na stanici pod stromem *BR_6* 63 jedinců. Odhady teploty vzduchu respondenty na jednotlivých lokalitách v čase prezentuje *obr. 2 v příloze 3*. Z výzkumu vyplývá, že 94,8 % dotázaných odhadovalo během dne teplotu vzduchu nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Jak je z *obr. 32* patrné, nejmenší rozdíly odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené indexem UTCI byly většinou zjišťovány na stanici pod stromem *BR_6*. Zatímco téměř tři čtvrtiny respondentů (74,6 %) odhadovaly na stanici *BR_6* teplotu vzduchu o 0,1 až 5,0 °C nižší, než byla pocitová teplota stanovená na základě indexu UTCI, na stanicích *BR_4* a *BR_5* byly naopak více než tři čtvrtiny rozdílů teplot zařazeny mimo tento interval (pro *BR_4* 81,1 % a pro *BR_5* 84,5 %). Průměrný rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI byl na stanici pod stromem *BR_6* -3,0 °C, na referenční stanici *BR_4* však respondenti odhadovali teplotu vzduchu průměrně o 6,6 °C nižší a na stanici u kašny *BR_5* průměrně o 7,5 °C nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Nejvíce dotázaných (pro *BR_5* 12, pro *BR_6* 12 a pro *BR_4* 10) odhadovalo teplotu vzduchu na stanici *BR_5* o 6,1 až 7,0 °C nižší, na stanici *BR_6* o 2,1 až 3,0 °C nižší a na stanici *BR_4* o 7,1 až 8,0 °C nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI.



Obr. 32 Rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na vybraných lokalitách náměstí Svobody v Brně dne 28. 08. 2019

7.3 Dotazníkové šetření 15. 07. 2018 – Olomouc

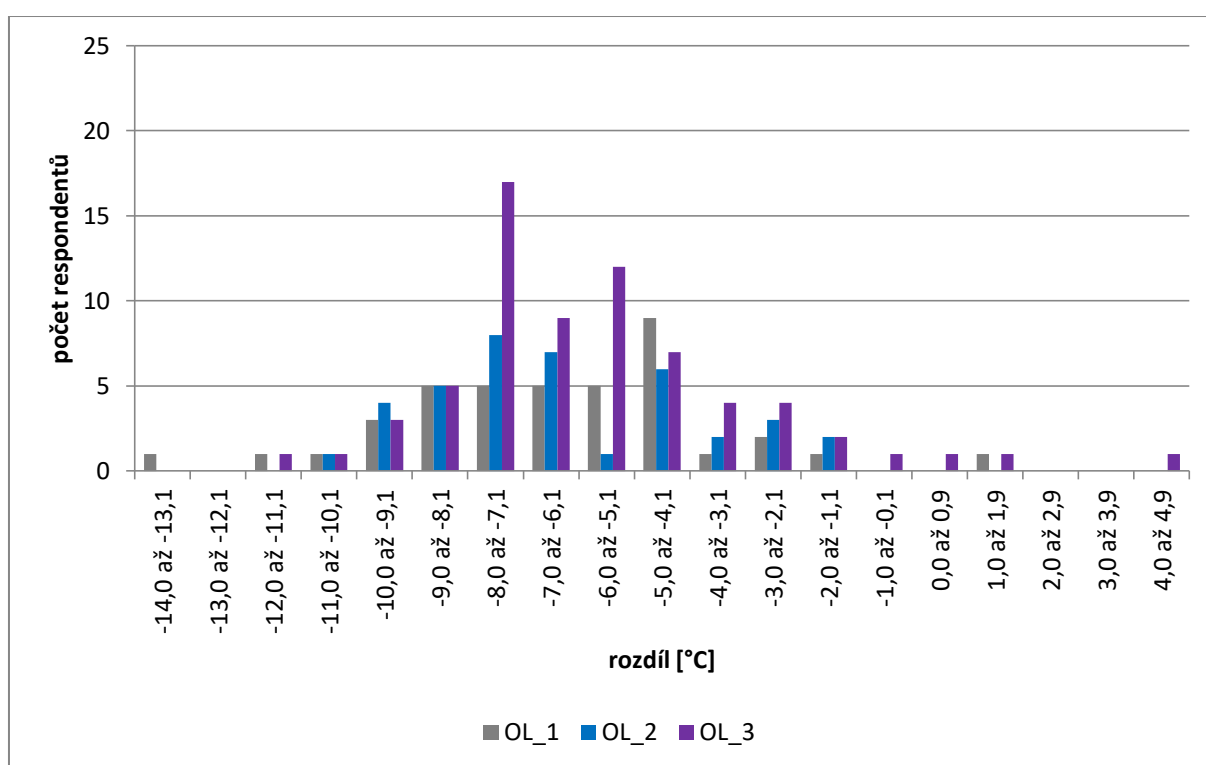
Dne 15. 07. 2018 bylo na Horním náměstí v Olomouci dotázáno celkem 139 respondentů. V blízkosti referenční stanice *OL_1* odhadovalo teplotu vzduchu během dne 35 respondentů, na stanici u Herkulovy kašny *OL_2* pak 51 respondentů a na stanici u Arionovy kašny *OL_3* 53 respondentů. Odhady teploty vzduchu respondenty na jednotlivých lokalitách v čase prezentuje *obr. 3 v příloze 3*. Z šetření vyplývá, že 97,8 % respondentů odhadovalo během dne aktuální teplotu vzduchu nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. V případě referenční stanice *OL_1* byla odhadovaná teplota vzduchu průměrně o 5,2 °C nižší než hodnota pocitové teploty stanovená indexem UTCI, na stanici *OL_2* byl odhad nižší průměrně o 7,2 °C a na stanici *OL_3* průměrně o 7,3 °C. Dle *obr. 33* odhadovalo pocitovou teplotu na stanici *OL_1* nejvíce dotázaných (10) o 7,0 až 6,1 °C nižší, na stanici *OL_2* (11) o 6,0 až 5,1 °C nižší a na stanici *OL_3* (10) o 9,0 až 8,1 °C nižší vůči pocitové teplotě stanovené indexem UTCI. Nejpřesnější odhad aktuální teploty vzduchu byl zaznamenán u respondenta na stanici *OL_3*, který odhadoval hodnotu teploty vzduchu jen o 0,3 °C vyšší, než byla hodnota pocitové teploty stanovená indexem UTCI.



Obr. 33 Rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na vybraných lokalitách Horního náměstí v Olomouci dne 15. 07. 2018

7.4 Dotazníkové šetření 24. 07. 2018 – Olomouc

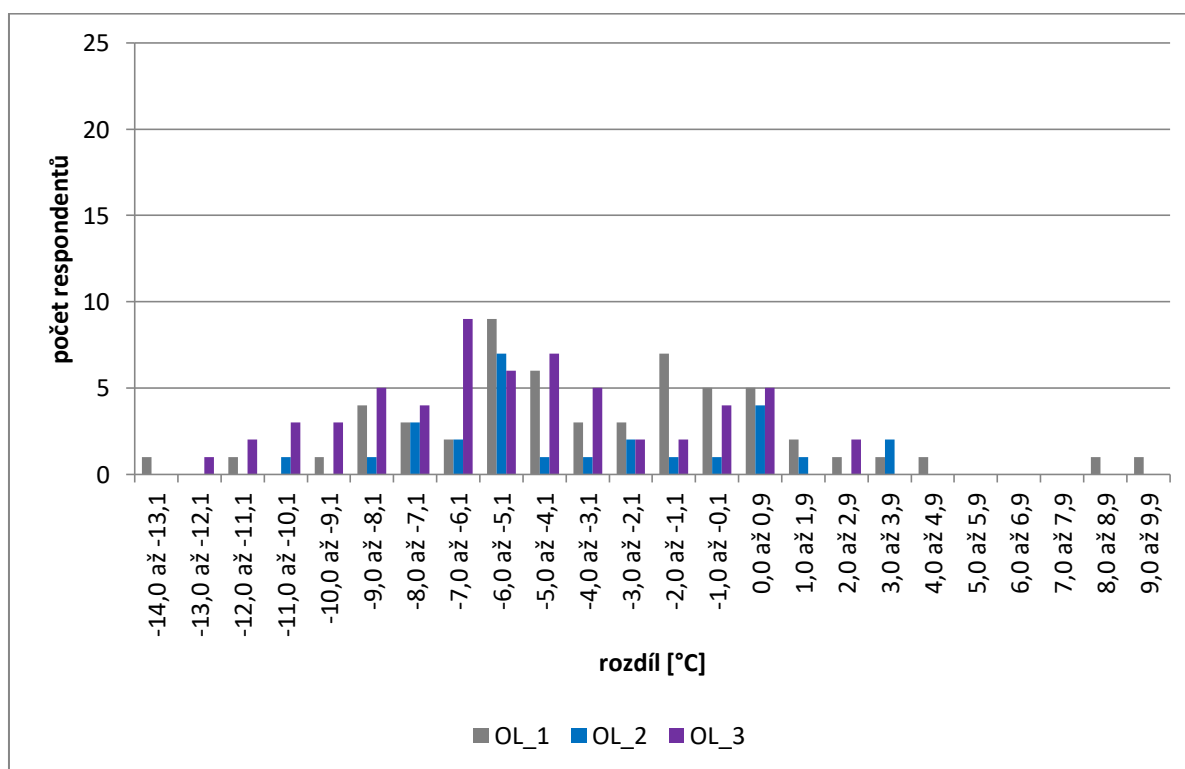
Dne 24. 07. 2018 byly na Horním náměstí v Olomouci do šetření zahrnuty odpovědi celkem 148 respondentů. Na referenční stanici *OL_1* bylo osloveno 40, na stanici u Herkulovy kašny *OL_2* 39 a na stanici u Arionovy kašny *OL_3* 69 jedinců. Odhady teploty vzduchu respondenty na jednotlivých lokalitách v čase prezentuje *obr. 4* v příloze 3. Celkem 97,9 % dotázaných (v případě *OL_2* 100,0 %) odhadovalo teplotu vzduchu během dne nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Na stanicích *OL_1* a *OL_2* byla odhadovaná teplota vzduchu průměrně shodně o 6,4 °C nižší než pocitová teplota stanovená indexem UTCI, na stanici *OL_3* činil průměrný rozdíl odhadované teploty a pocitové teploty stanovené indexem UTCI -5,8 °C. Nejvíce respondentů (pro *OL_3* 17, pro *OL_1* 9 a pro *OL_2* 8) odhadovalo teplotu vzduchu na stanicích u kašen *OL_3* a *OL_2* shodně o 7,1 až 8,0 °C nižší a na stanici *OL_1* o 4,1 až 5,0 °C nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI (*obr. 34*).



Obr. 34 Rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na vybraných lokalitách Horního náměstí v Olomouci dne 24. 07. 2018

7.5 Dotazníkové šetření 01. 08. 2018 – Olomouc

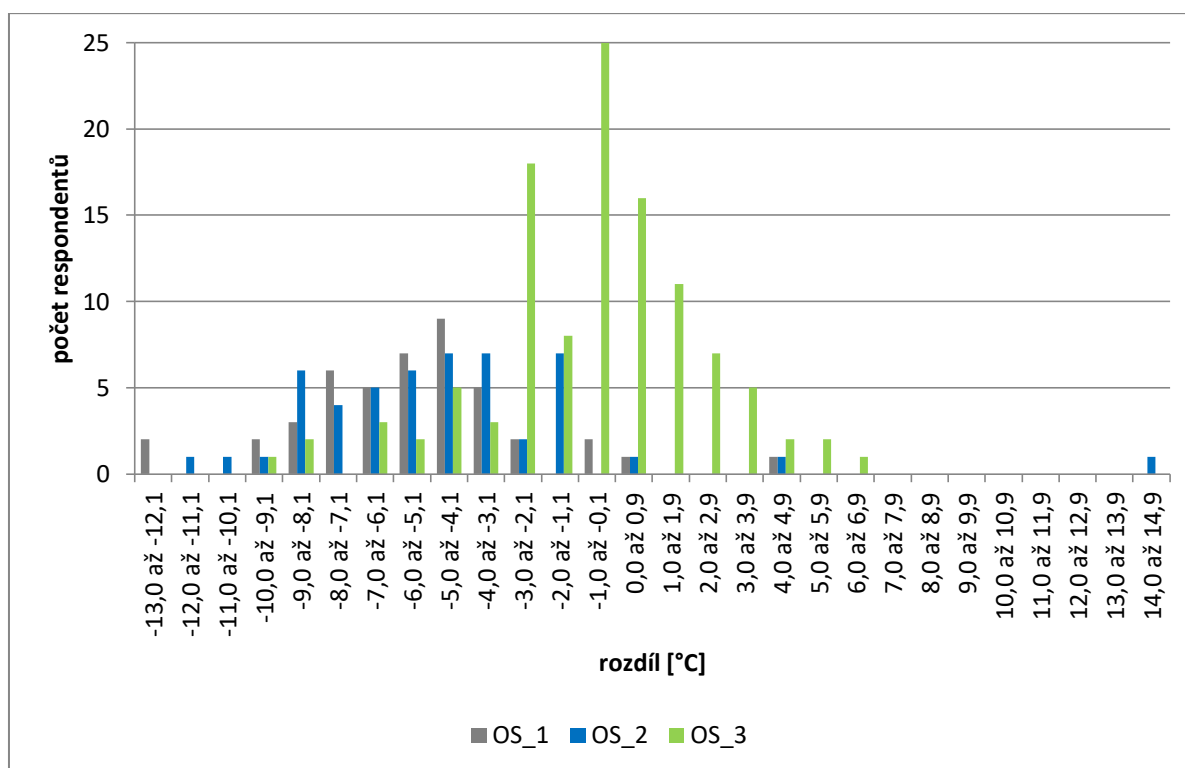
Celkový počet respondentů zapojených do výzkumu tepelného komfortu 01.08.2018 na Horním náměstí v Olomouci byl 144. Zatímco počet oslovených jedinců byl na referenční stanici OL_1 a na stanici u Arionovy kašny OL_3 téměř totožný (pro OL_1 57 a pro OL_3 60), na stanici u Herkulovy kašny OL_2 bylo osloveno jen 27 jedinců. Odhady teploty vzduchu respondenty na jednotlivých lokalitách v čase prezentuje obr. 5 v příloze 3. Z šetření vyplývá, že 81,9 % všech dotázaných odhadovalo teplotu vzduchu nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Hodnotu teploty vzduchu, která se od pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI lišila o 0,1 až 1,0 °C, odhadovalo na referenční stanici OL_1 17,5 %, na stanici u Herkulovy kašny OL_2 18,5 % a na stanici u Arionovy kašny OL_3 15,0 % dotázaných. Jak je z obr. 35 zřejmé, nejvíce respondentů (pro OL_1 a OL_3 shodně 9 a pro OL_2 7) odhadovalo teplotu vzduchu na stanicích OL_1 a OL_2 shodně o 5,1 až 6,0 °C nižší a na stanici OL_3 o 6,1 až 7,0 °C nižší, než byla hodnota pocitové teploty stanovená indexem UTCI. Odhadovaná teplota vzduchu byla na stanici OL_1 průměrně o 3,3 °C nižší, na stanici OL_2 průměrně o 3,7 °C nižší a na stanici OL_3 průměrně o 5,2 °C nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI.



Obr. 35 Rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na vybraných lokalitách Horního náměstí v Olomouci dne 01. 08. 2018

7.6 Dotazníkové šetření 22. 08. 2018 – Ostrava

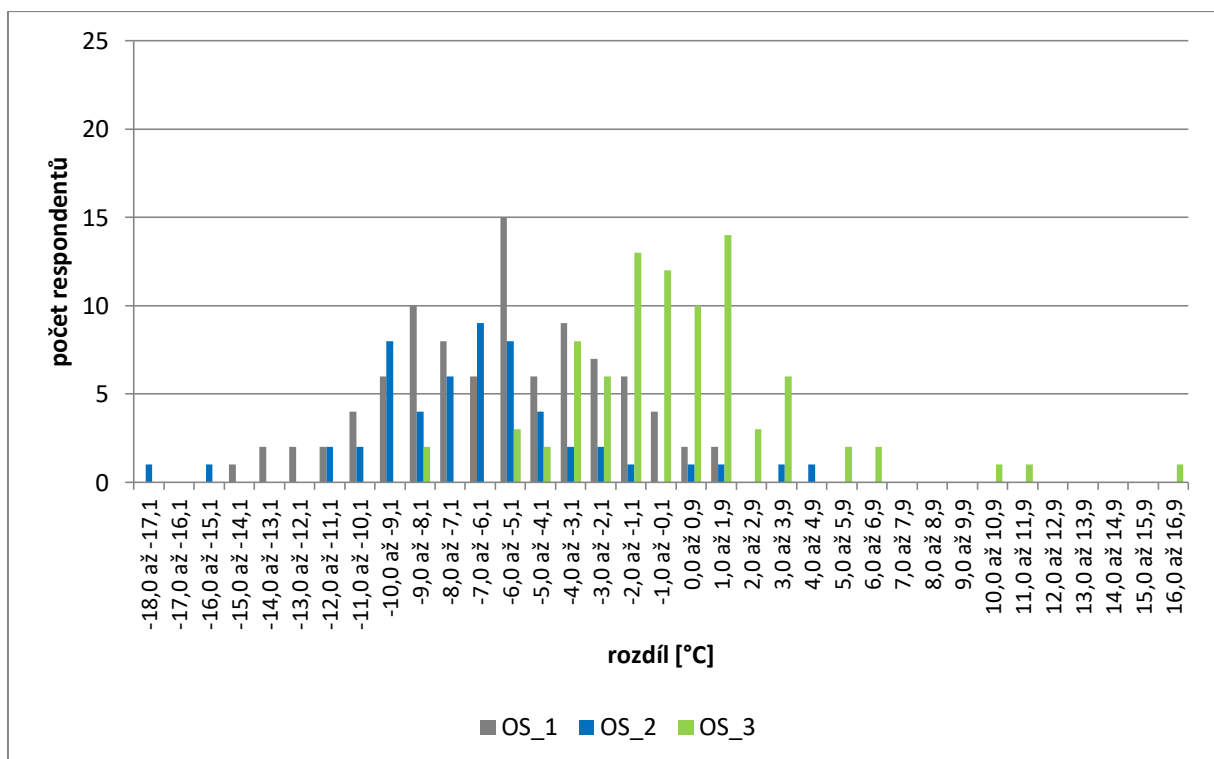
Dne 22. 08. 2018 byly na Masarykově náměstí v Ostravě do výzkumu zahrnuty odpovědi celkem 206 respondentů. Zatímco na referenční stanici OS_1 odhadovalo teplotu vzduchu 45 a na stanici u přízemních vodních trysek OS_2 50 jedinců, na stanici pod stromem OS_3 jich bylo dokonce 111. Odhady teploty vzduchu respondenty na jednotlivých lokalitách v čase prezentuje obr. 6 v příloze 3. Celkem 76,2 % respondentů odhadovalo během dne teplotu vzduchu nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Z výzkumu však vyplývá, že na stanici OS_1 odhadovalo nižší teplotu vzduchu vůči stanovené pocitové teplotě 95,6 % a na stanici OS_2 94,0 % dotázaných, ale v případě stanice OS_3 to bylo jen 60,3 %. Zatímco hodnotu teploty vzduchu, která se od pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI lišila o 0,1 až 1,0 °C, odhadovalo na stanici OS_2 pouze 2,0 % a na stanici OS_1 pouze 6,7 % dotázaných, na stanici OS_3 to bylo 36,9 % respondentů. Odhadovaná hodnota teploty vzduchu byla na stanici OS_1 průměrně o 5,4 °C nižší, na stanici OS_2 průměrně o 4,6 °C nižší a na stanici OS_3 průměrně pouze o 0,6 °C nižší, než byla hodnota pocitové teploty stanovená indexem UTCI. Nejvíce respondentů (25) na stanici OS_3 odhadovalo teplotu vzduchu o 0,1 až 1,0 °C nižší vůči stanovené pocitové teplotě. V případě stanice OS_1 odhadovalo nejvíce dotázaných (9) teplotu vzduchu o 4,1 až 5,0 °C nižší a na stanici OS_2 (7) shodně o 4,1 až 5,0 °C nižší, o 3,1 až 4,0 °C nižší a o 1,1 až 2,0 °C nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI (obr. 36).



Obr. 36 Rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na vybraných lokalitách Masarykova náměstí v Ostravě dne 22. 08. 2018

7.7 Dotazníkové šetření 09. 08. 2019 – Ostrava

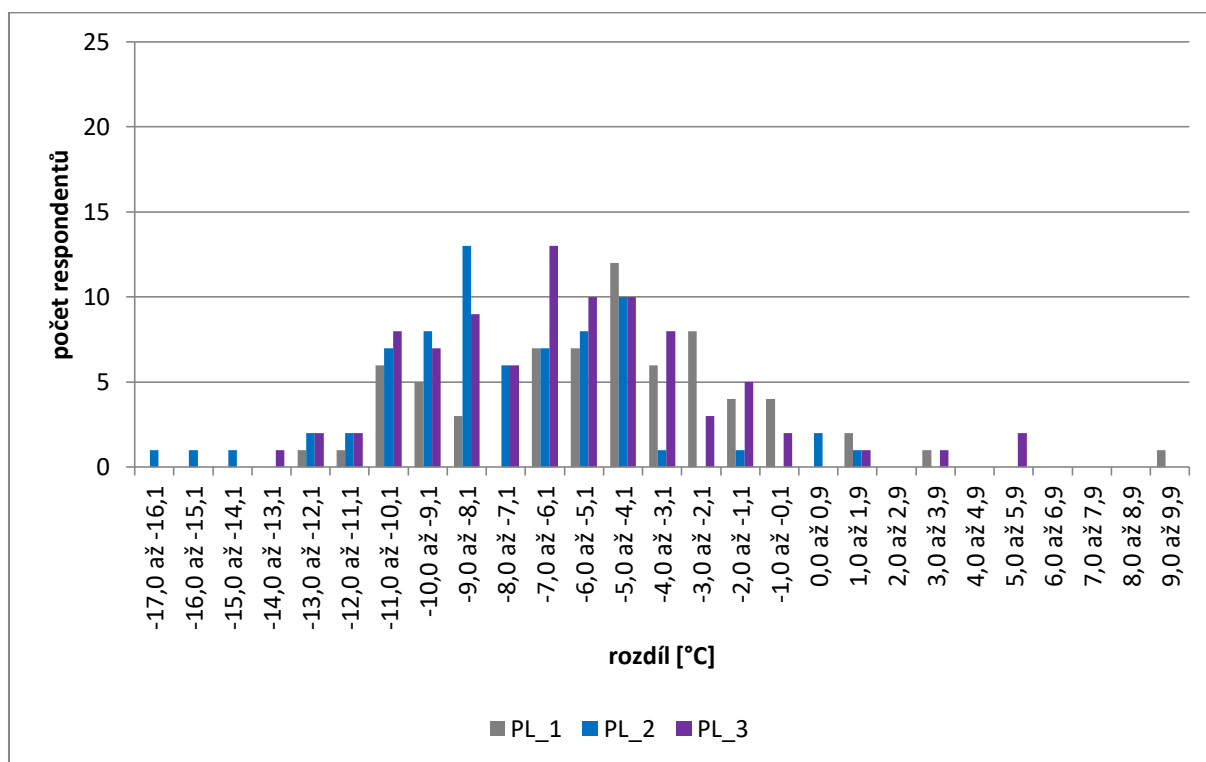
Celkový počet respondentů zapojených do výzkumu tepelného komfortu 09. 08. 2019 na Masarykově náměstí v Ostravě byl 232. Zatímco na referenční stanici OS_1 odhadovalo teplotu vzduchu 92 a na stanici pod stromem OS_3 86 jedinců, na stanici u přízemních vodních trysek OS_2 jich bylo tázáno pouze 54. Odhady teploty vzduchu respondenty na jednotlivých lokalitách v čase prezentuje obr. 7 v příloze 3. Z výzkumu vyplývá, že 79,3 % respondentů odhadovalo během dne teplotu vzduchu nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Zatímco však na stanici OS_1 odhadovalo nižší teplotu vzduchu vůči stanovené pocitové teplotě 95,7 % a na stanici OS_2 92,6 %, na stanici pod stromem OS_3 to bylo pouze 53,5 % dotázaných. Hodnotu teploty vzduchu, která se od pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI lišila o 0,1 až 1,0 °C, odhadovalo na stanici OS_2 pouze 1,9 % a na stanici OS_1 pouze 6,5 % dotázaných, ale na stanici OS_3 to bylo 25,6 % respondentů. Průměrná denní odhadovaná teplota vzduchu byla na stanici pod stromem OS_3 rovna průměrné denní pocitové teplotě stanovené na základě indexu UTCI. Na stanici OS_1 byla odhadovaná teplota vzduchu během dne průměrně o 5,9 °C nižší a na stanici OS_2 průměrně o 6,6 °C nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Jak je z obr. 37 patrné, nejvíce respondentů (pro OS_1 15, pro OS_3 14 a pro OS_2 9) odhadovalo aktuální teplotu vzduchu na stanici OS_1 o 5,1 až 6,0 °C nižší, na stanici OS_3 o 1,0 až 1,9 °C vyšší a na stanici OS_2 o 8,1 až 9,0 °C nižší, než byla pocitová teplota vyjádřená indexem UTCI.



Obr. 37 Rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na vybraných lokalitách Masarykova náměstí v Ostravě dne 09. 08. 2019

7.8 Dotazníkové šetření 24. 07. 2019 – Plzeň

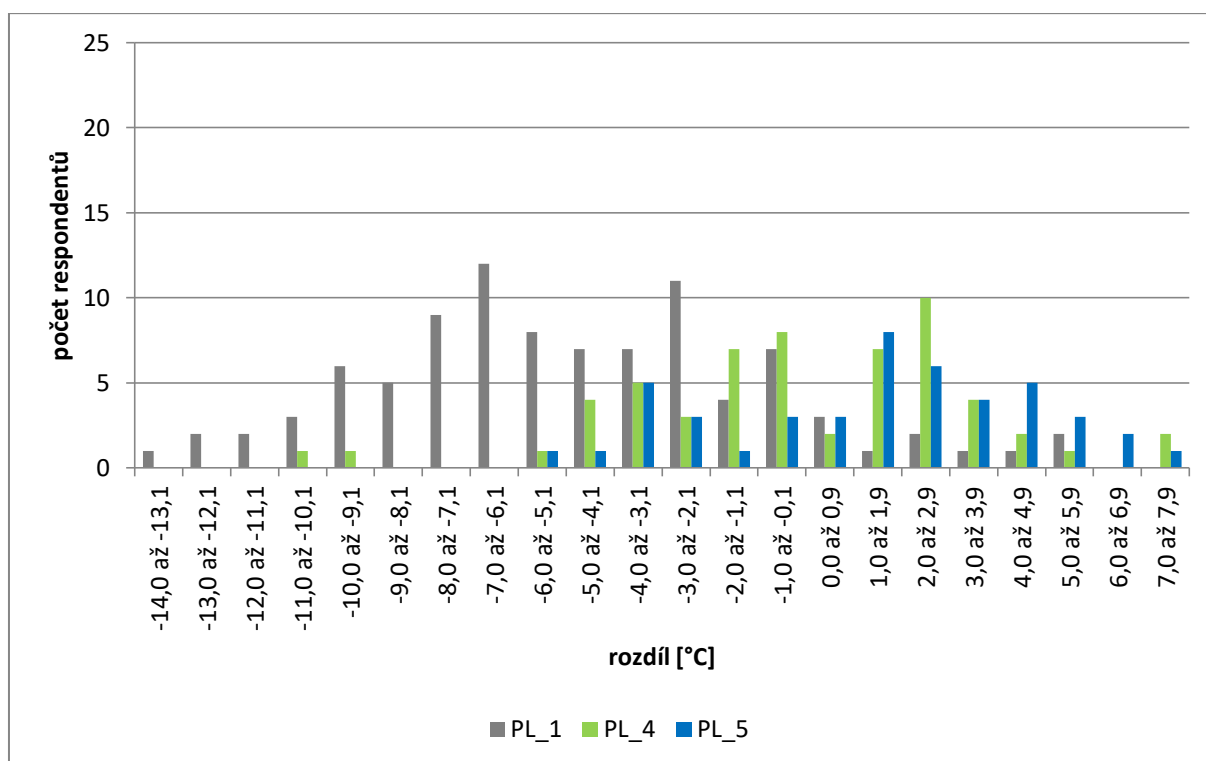
Dne 24. 07. 2019 bylo na náměstí Republiky v Plzni dotázáno celkem 229 respondentů. Nejvíce respondentů (90) odhadovalo teplotu vzduchu v blízkosti stanice u kašny „chrtice“ *PL_3* a nejméně (68) na referenční stanici *PL_1*, na stanici u kašny „velblouda“ *PL_2* odhadovalo teplotu vzduchu 71 jedinců. Odhady teploty vzduchu respondenty na jednotlivých lokalitách v čase prezentuje *obr. 8* v *příloze 3*. Z šetření plyne, že 95,2 % dotázaných během dne odhadovalo teplotu vzduchu nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Hodnota teploty vzduchu, která se od pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI lišila o 0,1 až 1,0 °C, byla nejvíce odhadovaná na referenční stanici *PL_1*, kde ji však odhadovalo pouze 5,9 % dotázaných. Odhadovaná teplota vzduchu byla na stanici *PL_1* průměrně o 5,0 °C nižší, na stanici *PL_2* průměrně o 7,6 °C nižší a na stanici *PL_3* průměrně o 6,1 °C nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Nejvíce dotázaných (pro *PL_2* a *PL_3* shodně 13 a pro *PL_1* 12) odhadovalo aktuální teplotu vzduchu na stanici *PL_2* o 8,1 až 9,0 °C nižší, na stanici *PL_3* o 6,1 až 7,0 °C nižší a na stanici *PL_1* o 4,1 až 5,0 °C nižší, než byla aktuální pocitová teplota stanovená indexem UTCI (*obr. 38*).



Obr. 38 Rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na vybraných lokalitách náměstí Republiky v Plzni dne 24. 07. 2019

7.9 Dotazníkové šetření 25. 07. 2019 – Plzeň

Dne 25. 07. 2019 v Plzni byly do výzkumu tepelného komfortu zahrnuty odpovědi celkem 198 respondentů. Na referenční stanici *PL_1* bylo tázáno 94, na stanici v parku pod stromem *PL_4* 58 a na stanici v parku u rozprašovače pod stromem *PL_5* 46 jedinců. Odhady teploty vzduchu respondenty na jednotlivých lokalitách v čase prezentuje *obr. 9* v příloze 3. Celkem 64,6 % dotázaných odhadovalo během dne teplotu vzduchu nižší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Zatímco však v případě stanice *PL_1* odhadovalo teplotu vzduchu vůči stanovené pocitové teplotě nižší 89,4 % respondentů, v případě stanice *PL_4* to bylo 51,7 % a na stanici *PL_5* dokonce jen 30,4 %. Hodnotu teploty vzduchu, která se od pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI lišila o 0,1 až 1,0 °C, odhadovalo na stanici *PL_1* 10,6 %, na stanici *PL_4* 17,2 % a na stanici *PL_5* 13,0 % respondentů. Zatímco více než polovina dotázaných na referenční stanici *PL_1* (51,1 %) odhadovala teplotu vzduchu o více než 5,0 °C nižší vůči stanovené pocitové teplotě, na stanici *PL_4* to bylo 5,2 % a na stanici *PL_5* pouze 2,2 % respondentů. Odhadovaná teplota vzduchu byla na stanici *PL_1* průměrně o 4,8 °C nižší, na stanici *PL_4* průměrně o 0,1 °C nižší, na stanici *PL_5* však průměrně o 1,3 °C vyšší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCI. Nejvíce dotázaných (pro *PL_1* 12, pro *PL_4* 10 a pro *PL_5* 8) odhadovalo aktuální teplotu vzduchu na stanici *PL_1* o 6,1 až 7,0 °C nižší, na stanici *PL_4* však o 2,0 až 2,9 °C vyšší a na stanici *PL_5* o 1,0 až 1,9 °C vyšší, než byla pocitová teplota stanovená na základě indexu UTCI (*obr. 39*).



Obr. 39 Rozdíl odhadované teploty vzduchu a pocitové teploty stanovené na základě indexu UTCI na vybraných lokalitách v Plzni dne 25. 07. 2019

8 Shrnutí a diskuze výsledků

Výsledky této studie pocitové teploty v městském centru Brna, Olomouce, Ostravy a Plzně v letním období let 2018 a 2019 odpovídají závěrům výzkumů (např. Höppe a Mayer, 1987; Matzarakis a Endler, 2010), které považují centrum města za lokalitu výrazně predisponovanou ke vzniku teplotního stresu. Teplotní stres v městském centru je způsoben především faktory determinujícími vznik městského tepelného ostrova a jeho samotným efektem (Voogt a Oke, 2003), který byl Dobrovolným a Krahulou (2015) identifikován i v případě Brna a Lehnertem a kol. (2018) v případě Olomouce.

V rámci provedeného výzkumu byla pocitová teplota na převážně osluněných plochách náměstí v průměru 33,7 až 39,9 °C UTCl (variabilita v závislosti na konkrétní lokalitě a podmínkách počasí), což odpovídá silnému až velmi silnému teplotnímu stresu (Bröde a kol., 2012). Výsledky této práce tedy potvrzují radiaci (zejména přímé sluneční záření) jako hlavní faktor pro vznik teplotního stresu v městském prostředí. Časoprostorová variabilita radiačních podmínek je v městském prostoru ovlivněna (mimo oblačnost) především okolním prostředím – zástavbou a vegetací (Holst a Mayer, 2011; Kántor a kol., 2018; Takács a kol., 2016). Na základě provedeného výzkumu bylo dále potvrzeno, že nejnižší hodnoty pocitové teploty a zároveň nejmenší intenzita teplotního stresu byla registrována v dopoledních hodinách, nejvyšší hodnoty pocitové teploty a nejvýraznější teplotní stres během dne nastávaly mezi 14:00–17:00, což odpovídá výsledkům dosavadních studií ve středoevropském regionu (Kántor a kol., 2016; Kántor a kol., 2018).

Výsledky této práce současně zdůrazňují, že teplotní stres v centru středoevropského města vzniká i ve dnech, kdy nepřevládá výhradně radiační režim počasí. Je tedy patrné, že v souvislosti s adaptací na klimatickou změnu je nutné zabývat se tepelným komfortem středoevropských měst v kontextu reálného středoevropského klimatu a neomezovat se pouze na dny s výhradně radiačním režimem počasí jako v případě většiny doposud provedených studií (např. Holst a Mayer, 2011; Kántor a kol., 2018). Studie tepelného komfortu v reálném středoevropském klimatu registrují i podmínky vzniku teplotního stresu, které výzkumy omezující se striktně na radiační režim počasí nezohledňují. Proto může být jejich komplexita pro uvažování efektivní mitigace teplotního stresu ve městě nespornou výhodou. Současně je patrné, že pro úvahy efektivního zmírnění teplotního stresu v městských centrech je nutné studovat širší spektrum povětrnostních podmínek.

Výsledky této práce prokázaly pozitivní vliv vysoké vegetace (stromů) na tepelný komfort v městském prostředí. Ve všech výzkumných dnech byla pocitová teplota pod stromy na náměstích v průměru o 5,5 až 7,5 °C UTCl nižší než na osluněné ploše náměstí. Tyto rozdíly zpravidla odpovídají hodnotám dříve zjištěným ve středoevropském regionu – v maďarském městě Pécs byl popsán chladící efekt stromů o průměrné intenzitě 8,2 °C PET (Kántor a kol., 2018), v německém městě Freiburg 4,6 °C PET (Mayer a kol., 2009). Intenzita efektivní mitigace teplotního stresu vzrostlým vegetačním porostem je dle četných studií (Takács a kol., 2016; Lee a kol., 2020) ovlivněna konkrétními parametry vegetace (plocha vegetačního pokryvu, druh stromu, výška stromu apod.). V případě nízké vegetace v podobě trávníku byl výzkumem detekován pouze malý vliv na pocitovou teplotu ve městě – snížení v průměru pouze o 0,7 °C UTCl oproti měření nad nepropustným povrchem. Zjištěný rozdíl však odpovídá výsledkům studií ve střední Evropě (např. Müller a kol., 2014).

Vliv malých vodních prvků na tepelný komfort v centru města je dle výsledků provedeného výzkumu poměrně malý, což však koresponduje s jinými studii (Vanos a kol., 2019). Mírné snížení pocitové teploty bylo identifikováno v případě okolí přízemních trysek, kolem kterých se voda dostávala do kontaktu s nepropustným povrchem betonu nebo kamene, a to průměrně o 0,7 až 1,0 °C UTCl. Podobné výsledky přinesl i experimentální výzkum Wanga a kol. (2018), který popsal snížení pocitové teploty o 0,5 až 2,0 °C WGBT. Vliv periodického kropení nepropustné plochy náměstí kropicím vozem na tepelný komfort je však dle provedeného výzkumu nejednoznačný. Pokud došlo po projetí kropicího vozu plochou náměstí ke snížení pocitové teploty, jednalo se o krátkodobý efekt (asi 15 minut). Pocitová teplota v blízkosti kašen dosahovala srovnatelných hodnot s osluněnou plochou náměstí a jejich vliv na tepelný komfort v městském prostředí detekován nebyl. Celkově nejednoznačný vliv kašen na teplotu vzduchu v okolí v Olomouci shodně konstatoval i Raška (2019).

Při uvažování kombinace prvku vegetace a vodního prvku v podobě rozprašovače na zmírnění teplotního stresu ve městě bylo zjištěno snížení pocitové teploty o 8,0 °C UTCl. Vůči stanici se zkoumaným vlivem stínu stromu to však bylo snížení pocitové teploty jen o 0,5 °C UTCl, a tudíž vliv malého rozprašovače vody na místní klima v okolí nelze považovat za významný. Zjištěný rozdíl je jen nepatrně nižší než rozdíl zjištěný Ulpiani a kol. (2019) v italském Římě – 0,9 °C UTCl a výrazněji nižší než rozdíl zjištěný v italské Anconě – 2,8 °C UTCl. Nevýhodou tohoto porovnání je však realizace výzkumu v odlišné makroklimatické oblasti a vyšší rozdíly zjištěné Ulpiani a kol. (2019) patrně souvisí s expozicí měřících čidel vodní mlze rozprašovače, čidla měřící techniky v rámci tohoto výzkumu do kontaktu s vodou však nepřišla. V případě rozprašovačů dochází k ochlazení jedince především právě při kontaktu s vodními kapkami a tento efekt v této studii nebyl zachycen.

V rámci šetření, které se zaměřovalo na subjektivní vnímání teploty, bylo zjištěno, že zatímco respondenti oslovení na osluněném prostranství odhadovali teplotu vzduchu v jednotlivých dnech na jednotlivých lokalitách zpravidla nižší (v okolí referenčních stanic průměrně o 3,3 až 8,7 °C a v blízkosti vodního prvku průměrně o 3,7 až 7,6 °C), respondenti oslovení ve stínu vzrostlé vegetace odhadovali teplotu vzduchu v jednotlivých dnech na jednotlivých lokalitách průměrně o 3,0 °C nižší až 1,3 °C vyšší, než byla pocitová teplota stanovená indexem UTCl. Toto patrně souvisí s faktem, že nejméně část oslovených respondentů na osluněném prostranství si uvědomovala, že teplota vzduchu bývá udávána ve stínu a tomu přizpůsobila svou odpověď. Porovnání výsledků subjektivního vnímání tepelného komfortu s již provedenými výzkumy ve středoevropském prostoru je v tuto chvíli problematické, jelikož výsledky náročnějších analýz tepelného pocitu, které by umožnily adekvátní porovnání (v případě tohoto výzkumu metoda TSV (*Thermal Sensation Vote*) na devítistupňové škále tepelného pocitu – Matzarakis a Mayer, 1996), budou z důvodu rozsahu analýz a posloupnosti prezentace výsledků tohoto výzkumu publikovány až v navazujících studiích. Současně však jistým limitem, se kterým se navazující studie budou muset vypořádat, zůstává nerovnoměrná distribuce respondentů mezi jednotlivými výzkumnými dny a lokalitami. Vliv tohoto nedostatku na komplexní výsledky šetření subjektivního vnímání tepelného komfortu v městských centrech by však neměl výrazněji ovlivnit validitu výsledků, což dokládají i provedené studie, které se rovněž potýkaly s nerovnoměrnou distribucí respondentů v čase (Kántor a kol., 2016; Lindner-Cendrowska, 2013).

9 Závěr

Výzkum tepelného komfortu v městském centru Brna, Olomouce, Ostravy a Plzně v letním období let 2018 a 2019 potvrdil, že středoevropská města jsou v letním období výrazně predisponována ke vzniku teplotního stresu, jehož intenzita je ovlivněna především radiačními podmínkami počasí. Výsledky studie však poukázaly na značnou časoprostorovou variabilitu pocitové teploty – klíčového prekursoru vzniku teplotního stresu v městském centru, a to i v kontextu variability počasí během letních dní, čemuž dosud provedené studie ve středoevropském prostoru nevěnovaly dostatečnou pozornost. Dále bylo potvrzeno, že vysoká vegetace přispívá ke snížení pocitové teploty v městském prostředí výrazněji než vodní prvky, a proto nelze tyto prvky automaticky uvažovat jako ekvivalentní adaptace na teplotní změny v městském prostředí (Müller a kol., 2014; Vanos a kol., 2019). V případě travnatého povrchu a přízemních vodních trysek, v jejichž okolí se voda dostávala do kontaktu s nepropustným povrchem, byl zjištěn pouze malý vliv na snížení pocitové teploty ve městě, naopak vliv kašen na pocitovou teplotu ve městě nebyl prokazatelný.

Na základě šetření zaměřující se na subjektivní vnímání tepla bylo zjištěno, že většina respondentů odhadovala aktuální teplotu vzduchu nižší, než byla aktuální pocitová teplota stanovená na základě indexu UTCI. Velká část respondentů si při odhadu teploty vzduchu pravděpodobně uvědomovala udávání hodnoty teploty vzduchu ve stínu, a proto respondenti oslovení na osluněné ploše náměstí odhadovali zpravidla teplotu vzduchu výrazně nižší vůči stanovené pocitové teplotě indexem UTCI než respondenti oslovení ve stínu vzrostlé vegetace. Velmi očekávanými jsou výsledky podrobnějších analýz subjektivního vnímání tepelného komfortu, které zohlední psychologickou a behaviorální složku vnímání tepelného komfortu a podrobněji ozřejmí lidskou adaptaci na teplotní změny v městském prostředí. Tyto výsledky budou prezentovány v navazujících studiích.

10 Summary

The aim of this study was to evaluate the outdoor thermal comfort in public areas in city centres of Brno, Olomouc, Ostrava and Pilsen in the summer of 2018 and 2019. Another task of this study was the evaluation of the influence of water elements and vegetation on perceived temperature in urban environment. Accordingly to similar studies this research analyzed thermal comfort using two methods: a) in situ measurement and empirical data collection by temporary meteorological stations resulting in calculation of UTCI values and b) questionnaire survey of random passers focusing on perceived thermal stress on a nine-point thermal sensation vote and on estimation of actual air temperature. Due to wide range, the results of detailed analyzes of human thermal perception will be presented in follow-up studies. These results will be taken into account the psychological and behavioural components of perception of thermal comfort and will be explained in detail human adaptation to thermal changes in urban environment.

The research confirmed that cities in Central Europe in the summer are significantly predisposed to formation of heat stress and that its intensity is mainly influenced by radiation conditions (especially solar radiation). However, the results of the study showed a significant spatio-temporal variability of perceived temperature in the urban environment, even in the context of weather conditions variability during the summer days, which has not been given sufficient attention by previous studies in Central Europe. This study found, that high vegetation contributes more significantly to reducing perceived temperature in the urban environment than water elements and therefore cannot be considered as an equivalent adaptation to thermal changes in urban environment. In the case of grassy surface and water jets, around which the water came into contact with the impermeable surface, was found only a small cooling effect. The cooling effect of fountains in the urban environment was not detected.

Investigation of human thermal perception found that most respondents estimated the actual air temperature lower than was the actual perceived temperature determined by the UTCI. A significant number of respondents realized, that the air temperature is given in the shade, therefore respondents addressed in the sunny area of the square usually estimated the air temperature significantly lower, than was the perceived temperature determined by the UTCI, than respondents addressed in the shade of grown vegetation.

Overall, this study has contributed knowledge about outdoor thermal comfort in urban environment and its results can contribute to consideration of effective mitigation of heat stress in city centres.

11 Seznam literatury

- ALI-TOUDERT, F. a H. MAYER (2006): *Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate*. Building and Environment, 41, s. 94-108, doi: 10.1016/j.buildenv.2005.01.013.
- ARSENOVIĆ, D., LEHNERT, M., FIEDOR, D., ŠIMÁČEK, P., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T. a S. SAVIĆ (2019): *Heat-waves and Mortality in Czech Cities: A Case Study for the Summers of 2015 and 2016*. Geographica Pannonica, 23, s. 162-172, doi: 10.5937/gp23-22853.
- ASHRAE (1966): *ASHRAE Standard 55 – Thermal Comfort Conditions*. ASHRAE, New York.
- BAKER, N. (1993): *Comfort in passive buildings*. Proceedings of Solar Energy and Buildings, Academy of Athens.
- BERANOVÁ, R. a R. HUTH (2005): *Long-term changes in the heat island of Prague under different synoptic conditions*. Theoretical and Applied Climatology, 82, s. 113-118, doi: 10.1007/s00704-004-0115-y.
- BOSELTMANN, P., DAKE, K., FOUNTAIN, M., KRAUS, L., LIN, K. a A. HARRIS (1988): *Sun, Wind and Comfort: A Field Study of Thermal Comfort in San Francisco*. Center for Environmental Design Research, University of California Berkeley.
- BRÖDE, P., FIALA, D., BŁAŻEJCZYK, K., EPSTEIN, Y., HOLMÉR, I., JENDRITZKY, G., KAMPMANN, B., RICHARDS, M., RINTAMÄKI, H., SHITZER, A. a G. HAVENITH (2009): *Calculating UTCI Equivalent Temperature*. In: Environmental Ergonomics XIII, University of Wollongong, Wollongong, s. 49-53.
- BRÖDE, P., FIALA, D., BŁAŻEJCZYK, K., HOLMÉR, I., JENDRITZKY, G., KAMPMANN, B., TINZ, B. a G. HAVENITH (2012): *Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)*. International Journal of Biometeorology, 56, s. 481-494, doi: 10.1007/s00484-011-0454-1.
- COHEN, P., POTCHTER, O. a A. MATZARAKIS (2013): *Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments*. Applied Geography, 37, s. 1-10, doi: 10.1016/j.apgeog.2012.11.001.
- COLLINS, K. J. a E. HOINVILLE (1980): *Temperature requirements in old age*. Building Services Engineering Research and Technology, 1, s. 165-172, doi: 10.1177/014362448000100401.
- ČEPLOVÁ, N., KALUSOVÁ, V. a Z. LOSOSOVÁ (2017): *Effects of settlement size, urban heat island and habitat type on urban plant biodiversity*. Landscape and Urban Planning, 159, s. 15-22, doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.11.004.
- ČESKÁ METEOROLOGICKÁ SPOLEČNOST (2020) [online]: *Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS)* [cit 21. 01. 2020]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>.
- ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD (2019): *Statistická ročenka České republiky – 2019*. Český statistický úřad, 832 s., ISBN: 978-80-250-2955-8.
- DOBROVOLNÝ, P. a L. KRAHULA (2015): *The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic*. Moravian Geographical Reports, 23, s. 8–16, doi: 10.1515/mgr-2015-0013.
- DUNJIĆ, J. (2019): *Outdoor thermal comfort research in urban areas of Central and Southeast Europe: A review*. Geographica Pannonica, 23, s. 359-373.
- EMMANUEL, R., ROSENLUND, H. a E. JOHANSSON (2007): *Urban shading – A design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka*. International Journal of Climatology, 27, s. 1995-2004, doi: 10.1002/joc.1609.
- FANGER, P. O. (1972): *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Danish Technical Press, Copenhagen, 244 s.

- FIALA, D., HAVENITH, G., BRÖDE, P., KAMPMANN, B. a G. JENDRITZKY (2012): *UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation*. International Journal of Biometeorology, 56, s. 429-441, doi: 10.1007/s00484-011-0424-7.
- FITZPATRICK, T. B. (1975): *Sun and skin*. Journal de Médecine Esthétique, 2, s. 33-34.
- GAGGE, A. P., FOBELETS, A. P. a L. G. BERGLUND (1986): *A standard predictive index of human response to the thermal environment*. ASHRAE Transactions, 92, s. 709-731.
- GEIGER, R., ARON, R. H. a P. TODHUNTER (2003): *The Climate Near the Ground*. Rowman & Littlefield publishers, Inc., Lanham, 584 s., ISBN: 978-3-322-86584-7.
- GELETIČ, J. a M. VYSOUDIL (2012): *Analysis of surface temperatures in urban and suburban landscapes from satellite thermal images: a case study of Olomouc and its environs, Czech Republic*. Moravian Geographical Reports 20, s. 2-15.
- GIVONI, B. (1976): *Man, Climate & Architecture*. Applied Science Publishers, London, 483 s.
- GRIMMOND, C. S. B. (2006): *Progress in measuring and observing the urban atmosphere*. Theoretical and Applied Climatology, 84, s. 3-22.
- HAWKES, D. a H. WILLEY (1977): *User response in the environmental control system*. University of Auckland.
- HEIJS, W. (1994): *The dependent variable in thermal comfort research: some psychological considerations*. In: Thermal Comfort: Past, Present and Future. Building Research Establishment, Watford, s. 40-51.
- HOLST, J. a H. MAYER (2011): *Impacts of street design parameters on human-biometeorological variables*. Meteorologische Zeitschrift, 20, s. 541-552, doi: 10.1127/0941-2948/2011/0254.
- HONJO, T. (2009): *Thermal Comfort in Outdoor Environment*. Global Environmental Research, 13, s. 43-47.
- HÖPPE, P. (1993): *Heat balance modelling*. Experientia, 49, s. 741-746.
- HÖPPE, P. (1999): *The physiological equivalent temperature – A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment*. International Journal of Biometeorology, 43, s. 71-75.
- HÖPPE, P. (2002): *Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort*. Energy and Buildings, 34, s. 661-665, doi: 10.1016/s0378-7788(02)00017-8.
- HÖPPE, P. a H. MAYER (1987): *Thermal comfort of man in different urban environments*. Theoretical and Applied Climatology, 38, s. 43-49.
- CHEN, L. a E. NG (2012): *Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade*. Cities, 29, s. 118-125, doi: 10.1016/j.cities.2011.08.006.
- JENDRITZKY, G. a W. NÜBLER (1981): *A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms*. Theoretical and Applied Climatology, 29, s. 313-326.
- KÁNTOR, N., CHEN, L. a C. V. GÁL (2018): *Human-biometeorological significance of shading in urban public spaces – Summertime measurements in Pécs, Hungary*. Landscape and Urban Planning, 170, s. 241-255, doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.09.030.
- KÁNTOR, N., KOVÁCS, A. a Á. TAKÁCS (2016): *Seasonal differences in the subjective assessment of outdoor thermal conditions and the impact of analysis techniques on the obtained results*. International Journal of Biometeorology, 60, s. 1615-1635, doi: 10.1007/s00484-016-1151-x.
- KOC, C. B., OSMOND, P. a A. PETERS (2018): *Evaluating the cooling effects of green infrastructure: A systematic review of methods, indicators and data sources*. Solar Energy, 166, s. 486-508, doi: 10.1016/j.solener.2018.03.008.

- KOVÁCS, A., UNGER, J., GÁL, C. V. a N. KÁNTOR (2016): *Adjustment of the thermal component of two tourism climatological assessment tools using thermal perception and preference surveys from Hungary*. Theoretical and Applied Climatology, 125, s. 113-130, doi: 10.1007/s00704-015-1488-9.
- KRÜGER, E. L. a F. A. ROSSI (2011): *Effect of personal and microclimatic variables on observed thermal sensation from field study in southern Brazil*. Building and Environment, 46, s. 690-697, doi: 10.1016/j.buildenv.2010.09.013.
- KYSELÝ, J. a R. HUTH (2004): *Heat-related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and 'traditional' approaches*. Climate Research, 25, s. 265-274.
- LAKATOS, L. a Á. GULYÁS (2003): *Connection between phenological phases and urban heat island in Debrecen and Szeged, Hungary*. Acta Climatologica et Chorologica, Universitatis Szegediensis, 36-37, s. 79-83.
- LASCHEWSKI, G. a G. JENDRITZKY (2002): *Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany*. Climate Research, 21, s. 91-103, doi: 10.3354/cr021091.
- LEE, H., HOLST, J. a H. MAYER (2013): *Modification of human-biometeorologically significant radiant flux densities by shading as local method to mitigate heat stress in summer within urban street canyons*. Advances in Meteorology, 2013, s. 1-13, doi: 10.1155/2013/312572.
- LEE, H., MAYER, H. a W. KUTTLER (2020): *Impact of the spacing between tree crowns on the mitigation of daytime heat stress for pedestrians inside EW urban street canyons under Central European conditions*. Urban Forestry & Urban Greening, 48, 126558.8, s. 37-50, doi: 10.1016/j.ufug.2019.126558.
- LEHNERT, M., GELETIČ, J., DOBROVOLNÝ, P. a M. JUREK (2018): *Temperature differences among local climate zones established by mobile measurements in two central European cities*. Climate Research, 75, s. 53-64, doi: 10.3354/cr01508.
- LEITHEAD, C. S. a A. R. LIND (1964): *Heat Stress and Heat Disorders*. Cassell & Co. Ltd., London, 304 s.
- LINDNER-CENDROWSKA, K. (2013): *Assessment of bioclimatic conditions in cities for tourism and recreational purposes (a Warsaw case study)*. Geographia Polonica, 86, s. 55-66, doi: 10.7163/GPol.2013.7.
- MATZARAKIS, A. a H. MAYER (1996): *Another kind of environmental stress: thermal stress*. WHO Newsletter, s. 7-10.
- MATZARAKIS, A. a CH. ENDLER (2010): *Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany*. International Journal of Biometeorology, 54, s. 479-483, doi: 10.1007/s00484-009-0296-2.
- MATZARAKIS, A., MAYER, H. a M. G. IZIOMON (1999): *Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature*. International Journal of Biometeorology, 43, s. 76-84, ISSN: 0020-7128.
- MAYER, H., KUPPE, S., HOLST, J., IMBERY, F. a A. MATZARAKIS (2009): *Human thermal comfort below the canopy of street trees on a typical Central European summer day*. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg, 18, s. 211-219.
- MCINTYRE, D. A. (1980): *Indoor Climate*. Applied Science, London.
- MCMICHAEL, A. J., CAMPBELL-LENDRUM, D. H., CORVALÁN, C. F., EBI, K. L., GITHEKO, A. K., SCHERAGA, J. D. a A. WOODWARD (1996): *Climate Change and Human Health: Risk and Responses*. World Health Organization, Geneva, 322 s., ISBN: 92 4 156248 X.
- MIDDEL, A., SELOVER, N., HAGEN, B. a N. CHHETRI (2016): *Impact of shade on outdoor thermal comfort – a seasonal field study in Tempe, Arizona*. International Journal of Biometeorology, 60, s. 1849-1861.
- MÜLLER, N., KUTTLER, W. a A.-B. BARLAG (2014): *Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort*. Theoretical and Applied Climatology, 115, s. 243-257.

- NIKOLOPOULOU, M. (2011): *Outdoor thermal comfort*. *Frontiers in Bioscience*, 3, s. 1552-1568, doi: 10.2741/245.
- NIKOLOPOULOU, M., BAKER, N. a K. STEEMERS (1999): *Thermal comfort in urban spaces: different forms of adaptation*. REBUILD International Conference: The Cities of Tomorrow, Barcelona.
- NIKOLOPOULOU, M., BAKER, N. a K. STEEMERS (2001): *Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter*. *Solar Energy*, 70, s. 227-235, doi: 10.1016/s0038-092x(00)00093-1.
- OKE, T. R. (1987): *Boundary Layer Climates*. 2nd edition, Routledge, London, 435 s.
- OKE, T. R. (1997): *Urban climates and global environmental change*. In: *Applied Climatology*, Routledge, London – New York, s. 273-287.
- PARSONS, K. C. (2003): *Human thermal environment. The effects of hot, moderate and cold temperatures on human health, comfort and performance*. 2nd edition, Taylor & Francis Group, New York, 635 s., ISBN: 0-203-34618-1.
- PARSONS, K. C. a L. H. WEBB (1999): *Thermal comfort design conditions for indoor environments occupied by people with physical disabilities*. Final report to EPSRC research grant GR/K71295, Loughborough University.
- PEEL, M. C. (2007): *Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification*. Copernicus Publications, 1644 s.
- POTCHTER, O., COHEN, P., LIN, T. P. a A. MATZARAKIS (2018): *Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification*. *Science of The Total Environment*, 631, s. 390-406, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.276.
- QUITT, E. (1971): *Klimatické oblasti Československa*. Geografický ústav ČSAV, Brno, 73 s.
- RAŠKA, D. (2019): *Vliv malých vodních ploch na teplotu vzduchu v městském prostředí*. Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 101 s.
- ROHLES, F. H. (1969): *Preference for the Thermal Environment by the Elderly*. *Human Factors*, 1, s. 37-41, doi: 10.1177/001872086901100106.
- RUTTY, M. a D. SCOTT (2015): *Bioclimatic comfort and the thermal perceptions and preferences of beach tourists*. *International Journal of Biometeorology*, 59, s. 37-45, doi: 10.1007/s00484-014-0820-x.
- STŘEDOVÁ, H., BOKWA, A., DOBROVOLNÝ, P., KRÉDL, Z., KRAHULA, L., LITSCHMANN, T., POKORNÝ, R., ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDA, T. a M. VYSOUDIL (2011): *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 120 s., ISBN: 978-80-86690-90-2.
- SUN, R. a L. CHEN (2012): *How can urban water bodies be designed for climate adaptation?*. *Landscape and Urban Planning*, 105, s. 27-33, doi: 10.1016/j.landurbplan.2011.11.018.
- TAKÁCS, Á., KISS, M., HOF, A., TANÁCS, E., GULYÁS, Á. a N. KÁNTOR (2016): *Microclimate modification by urban shade trees – an integrated approach to aid ecosystem service based decision-making*. *Procedia Environmental Sciences*, 32, s. 97-109, doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.015.
- ULPIANI, G., DI GIUSEPPE, E., DI PERNA, C., D'ORAZIO, M. a M. ZINZI (2019): *Thermal comfort improvement in urban spaces with water spray systems: Field measurements and survey*. *Building and Environment*, 156, s. 46-61, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.04.007.
- URBAN, A., DAVÍDKOVOVÁ, H. a J. KYSELÝ (2013): *Heat- and cold-stress effects on cardiovascular mortality and morbidity among urban and rural populations in the Czech Republic*. *International Journal of Biometeorology*, 58, s. 1057-1068, doi: 10.1007/s00484-013-0693-4.

VANOS, J., HONDULA, D., MIDDEL, A., AMBROSE, H., KAISER, A. a M. WRIGHT (2019): *Motivations to use water for thermal comfort: the influence of evaporative mister systems on thermal comfort in outdoor eateries*. Příspěvek na konferenci: https://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/konferencje/UTCI/Book_of_Abstracts.pdf

VÍT, V. a J. KOPP (2019). *Typology of Outdoor Seating Areas of Restaurants Based on Factors Influencing Their Thermal Comfort. A Case Study of Pilsen City Centre, Czechia*. Journal of Settlements and Spatial Planning, 10, s. 131-142 doi: 10.24193/jssp.2019.2.06.

VOOGT, J. A. a T. R. OKE (2003): *Thermal Remote Sensing of Urban Climates*. Remote Sensing of Environment, 86, s. 370-384, doi: 10.1016/S0034-4257(03)00079-8.

VYSOUDIL, M., GELETIČ, J., FRAJER, J., PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R., LEHNERT, M., LIPINA, P. a M. ŘEPKA (2012): *Podnebí Olomouce*. 1. vydání, Univerzita Palackého v Olomouci, 212 s., ISBN: 978-80-244-3285-4.

VYSOUDIL, M., LEHNERT, M. a P. KLADIVO (2016): *Heat Stress in the Urban and Suburban Landscape and its Spatial Differentiation Through the Example of a Medium-Sized City*. Dela, 46, s. 163-182, doi: 10.4312/dela.46.7.163-182.

WANG, J., MENG, Q., TAN, K., ZHANG, L. a Y. ZHANG (2018): *Experimental investigation on the influence of evaporative cooling of permeable pavements on outdoor thermal environment*. Building and Environment, 140, s. 184-193, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.05.033.

XU, J., WEI, Q., HUANG, X., ZHU, X. a G. LI (2010): *Evaluation of human thermal comfort near urban waterbody during summer*. Building and environment, 45, s. 1072-1080, doi: 10.1016/j.buildenv.2009.10.025.

YOSHIDA, J. A., BANHIDI, L., POLINSZKY, T., KINTSES, G., HACHISU, H., IMAI, H., SATO, K. a M. NONAKA (1993): *A study of on thermal environment for physically handicapped persons. Results from Japanese-Hungarian joint experiment in 1990*. Journal of Thermal Biology, 18, s. 363-375, doi: 10.1016/0306-4565(93)90060-7.

YOSHIDA, J. A., NOMURA, M., MIKAMI, K. a H. HACHISU (2000): *Thermal Comfort of Severely Disabled Children in Nursery Schools in Japan*. Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, 44, s. 712-715, doi: 10.1177/154193120004402884.

ZHOU, X., LIAN, Z. a L. LAN (2013): *An individualized human thermoregulation model for Chinese adults*. Building and Environment, 70, s. 257-265, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.08.031.

Citované normy:

ISO 7726 (1998): *Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities*. 51 s.

ISO 7730 (2006): *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. 63 s.

Kalkulátor UTCI:

UTCI.ORG – B. WOJTACH (2019) [online]: *Universal Thermal Comfort Index – Calculator*. [cit. 11. 11. 2019], dostupné z: <http://www.utci.org/utcineu/utcineu.php>.

Mapové podklady:

NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE (2019a) [online]: *Klimatické členění ČR*. Cenia, [cit. 03. 03. 2020], dostupné z: http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia_klima/MapServer/WMServer?service=WMS&request=GetCapabilities&version=1.3.0.

NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE (2019b) [online]: *CORINE Land Cover 2018*. Cenia, [cit. 03. 03. 2020], dostupné z: http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia_corine_2018/MapServer/WMServer?service=WMS&request=GetCapabilities&version=1.3.0.

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ (2019) [online]: *Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)*. [cit. 03. 03. 2020], dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/dmr>.

12 Přílohy

- 1 Vzorový dotazník subjektivního vnímání tepla**
- 2 Chod měřených meteorologických prvků ve všech výzkumných dnech 2018 a 2019 na jednotlivých výzkumných lokalitách**
- 3 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty ve všech výzkumných dnech 2018 a 2019 na jednotlivých výzkumných lokalitách**

Příloha 1 – Vzorový dotazník subjektivního vnímání tepla

T A Identifikace lokalit ohrožených teplotním stresem – nástroj pro udržitelné plánování měst
 Č R 01/2018 – 12/2019

DOTAZNÍK – SUBJEKTIVNÍ VNÍMÁNÍ TEPLA

Datum: Lokalita: Olomouc, Horní náměstí Číslo dotazníku:

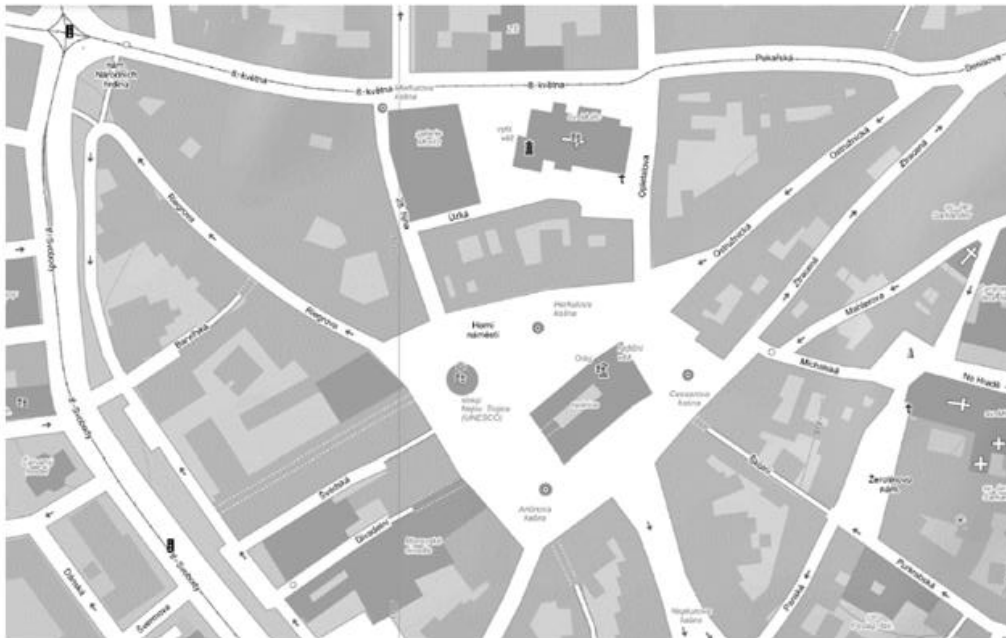
Čas: Tazatel:

1. Vaše aktivita v poslední čtvrthodině: *chůze sport stání sezení*

2. Zhodnoťte prosím své aktuální subjektivní vnímání tepla:

-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
velká zima	zima	chladno	mírně chladno	neutrální	mírně teplo	teplo	horko	velmi horko

3. Pokud by Vám zde a nyní přišla zpráva, že máte na někoho 10–15 minut počkat, kde byste čekal/a?



4. Odhadněte prosím aktuální teplotu vzduchu (°C):

5. Stát narození: *ČR jiný –*

6. Jak dlouho už žijete v ČR? *od narození dodnes souvisle od roku*

7. Věková skupina: *6–17 18–30 31–45 46–60 61 a více let*

Obr. 1 Vzorový dotazník subjektivního vnímání tepla pro výzkum tepelného komfortu v městských centrech v letech 2018 a 2019, verze Olomouc – strana 1

8. Pohlaví: *muž* *žena*

9. Postava: *hubená* *střední* *silnější*

10. Fitzpatrickův fototyp:

I	Nápadně světlá pleť, blond či rezavé vlasy, mnoho pih, modré oči.	Na slunci se prakticky vždy spálí, kůže zčervená, ale nezhnědne.
II	Světlá pleť, světlé vlasy, pihy řídké, modré, zelené či šedé oči.	Opalují se do červena, často se spálí.
III	Světle hnědá pleť, hnědé až tmavé vlasy, hnědé oči	Dobře se opalují, málokdy se spálí, spálení mírné.
IV	Tmavá pleť, velmi tmavé vlasy i oči.	Prakticky nikdy se nespálí.
V	Velmi tmavá kůže, tmavé až černé vlasy (Indiáni, Arabové, Indové, mulati).	Nikdy se nespálí.
VI	Nejtmavší typ (černoši).	Nikdy se nespálí.

11. Oděv:

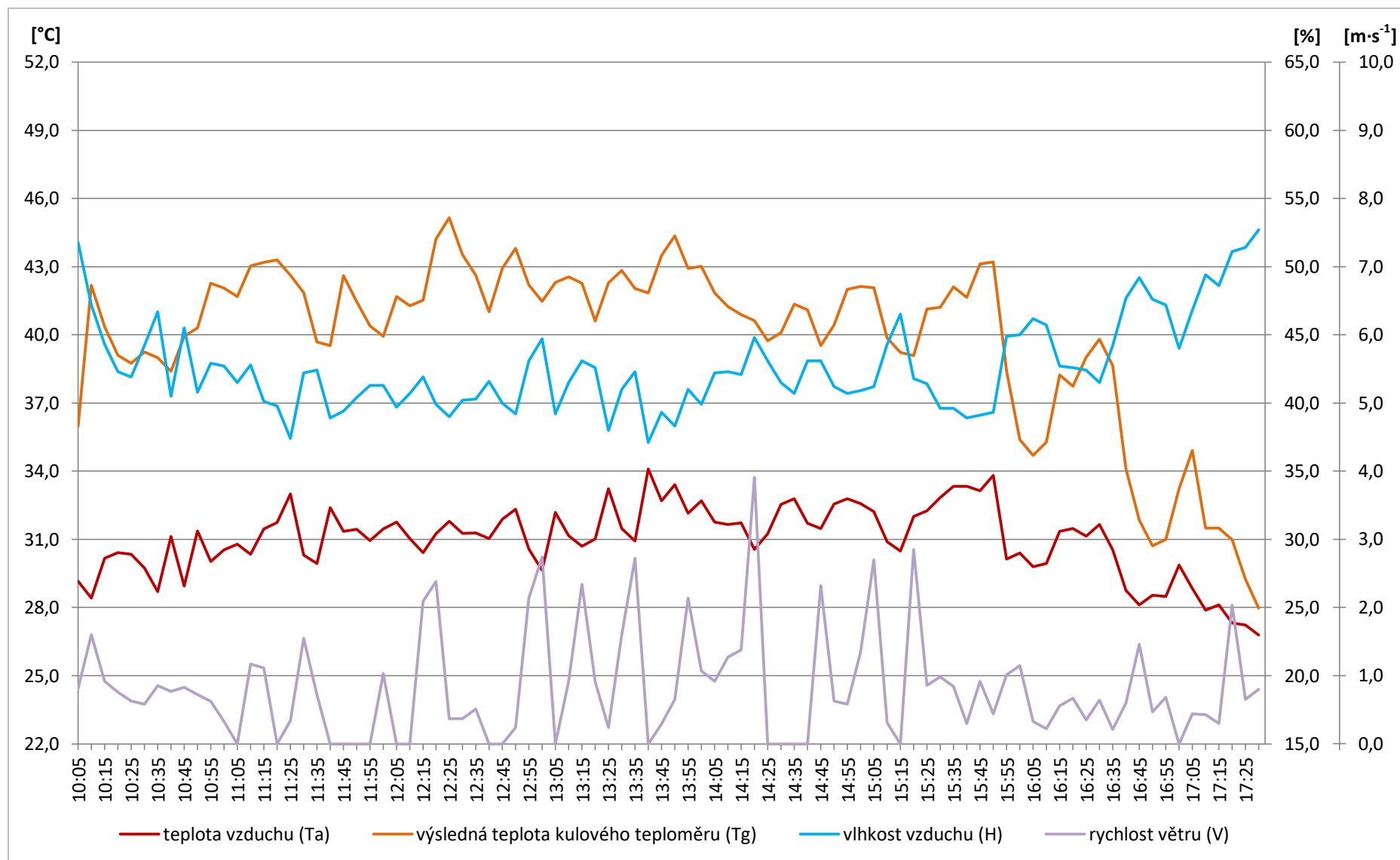
CL	Popis oděvu	Barva oděvu
0,3	Velmi lehký letní (šortky + tričko/košile krátký rukáv)	světlá / tmavá
0,5	Lehký letní (dlouhé kalhoty + krátký rukáv)	
0,8	Lehký (Dlouhé kalhoty, košile/halenka s dlouhým rukávem)	
1,0	Pánský oblek či kalhotový kostým/Dlouhá sportovní souprava	
1,5	Totéž co výše, plus svetr/mikina nebo lehká bunda/kabát	
2,0	Běžný zimní oděv + zimní bunda/kabát	
2,5	Totéž co výše, plus rukavice, šála a čepice/klobouk	
3,0	Velmi teplé zimní (zimní overal/lyžařský oděv)	

12. Oslunění lokality během rozhovoru:

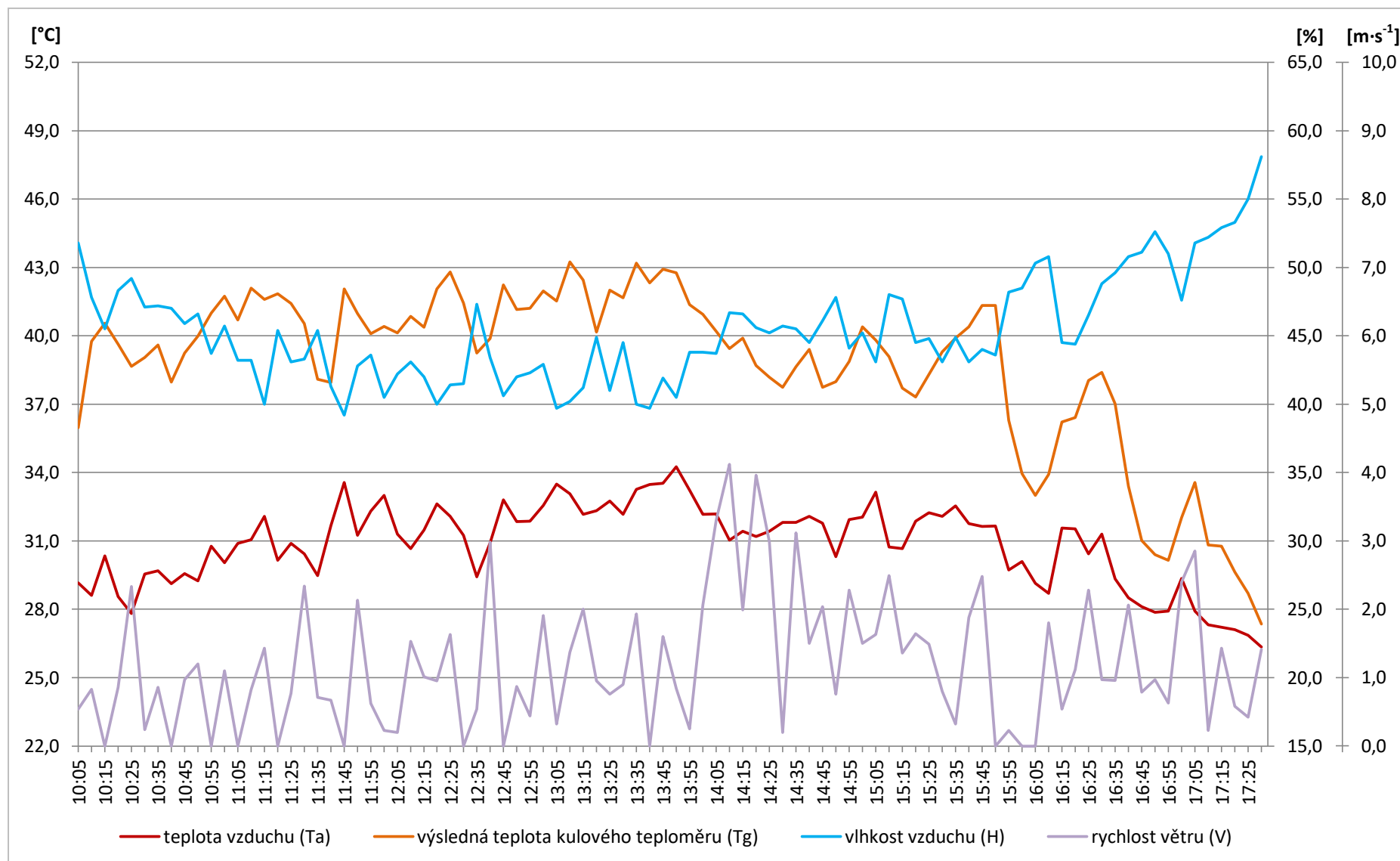
osluněno *částečný stín* *plný stín* *soumrak nebo tma*

Obr. 2 Vzorový dotazník subjektivního vnímání tepla pro výzkum tepelného komfortu v městských centrech v letech 2018 a 2019, verze Olomouc – strana 2

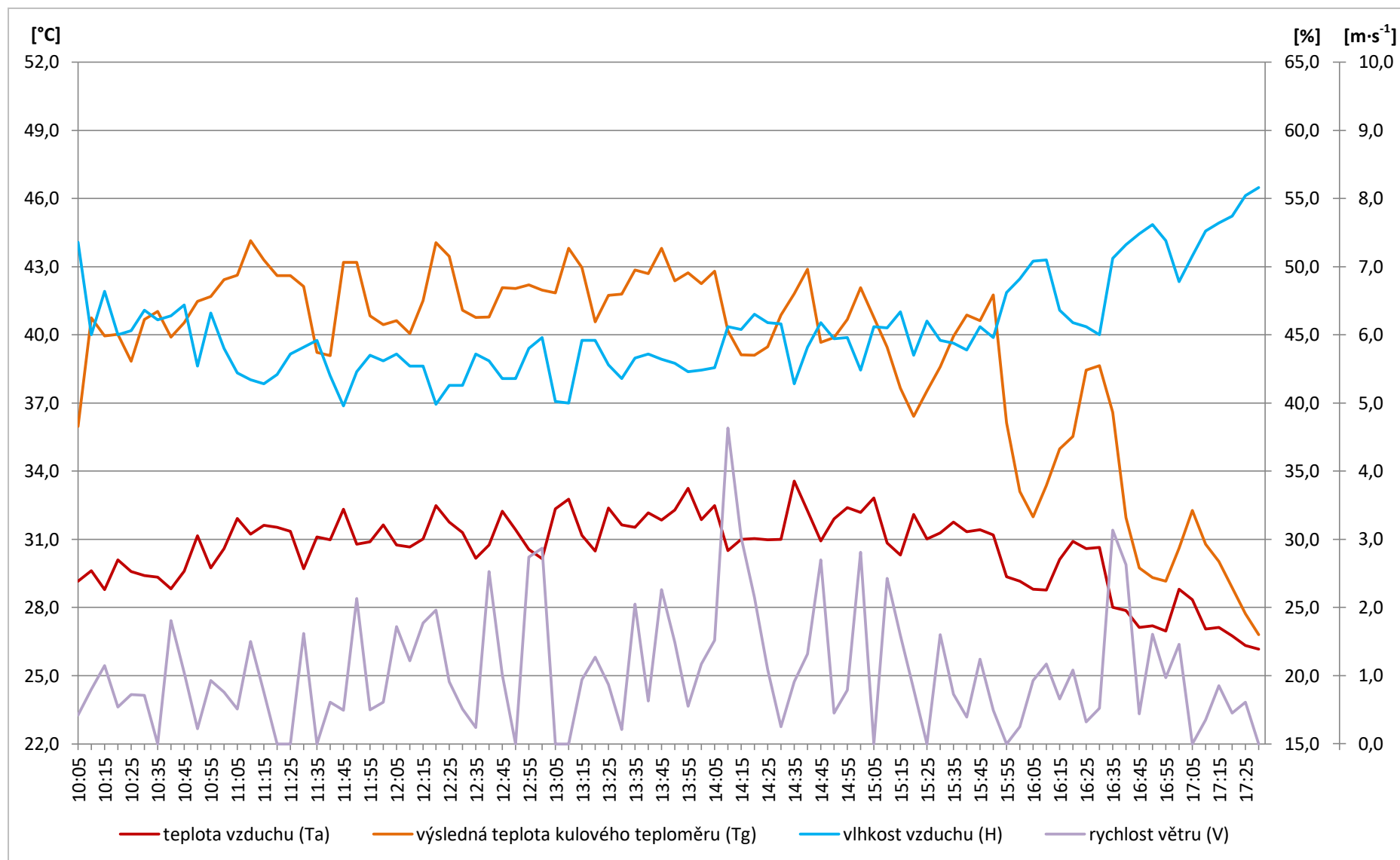
Příloha 2 – Chod měřených meteorologických prvků ve všech výzkumných dnech 2018 a 2019 na jednotlivých výzkumných lokalitách



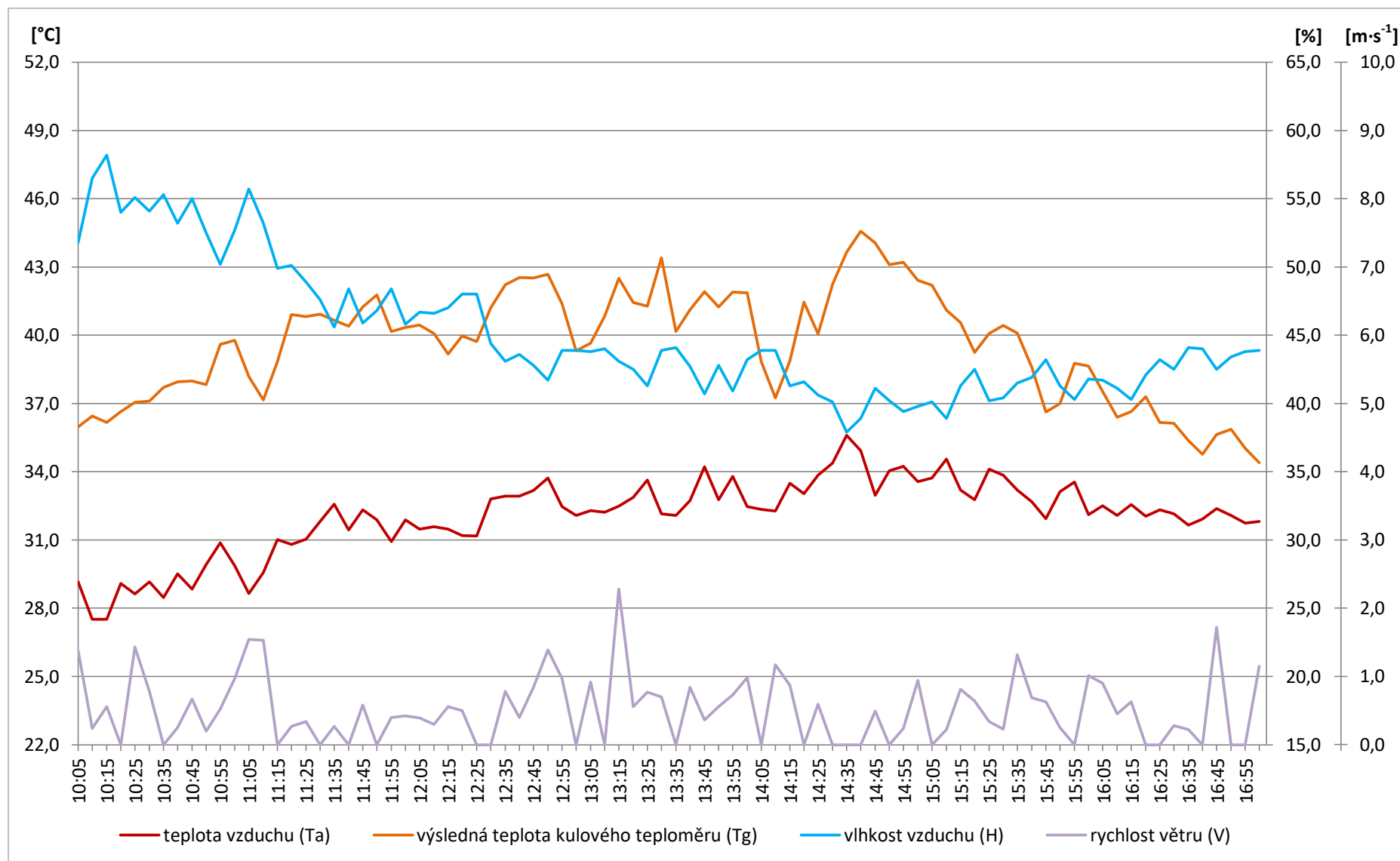
Obr. 1 Chod měřených meteorologických prvků na stanici BR_1 na Moravském náměstí v Brně dne 12. 08. 2019



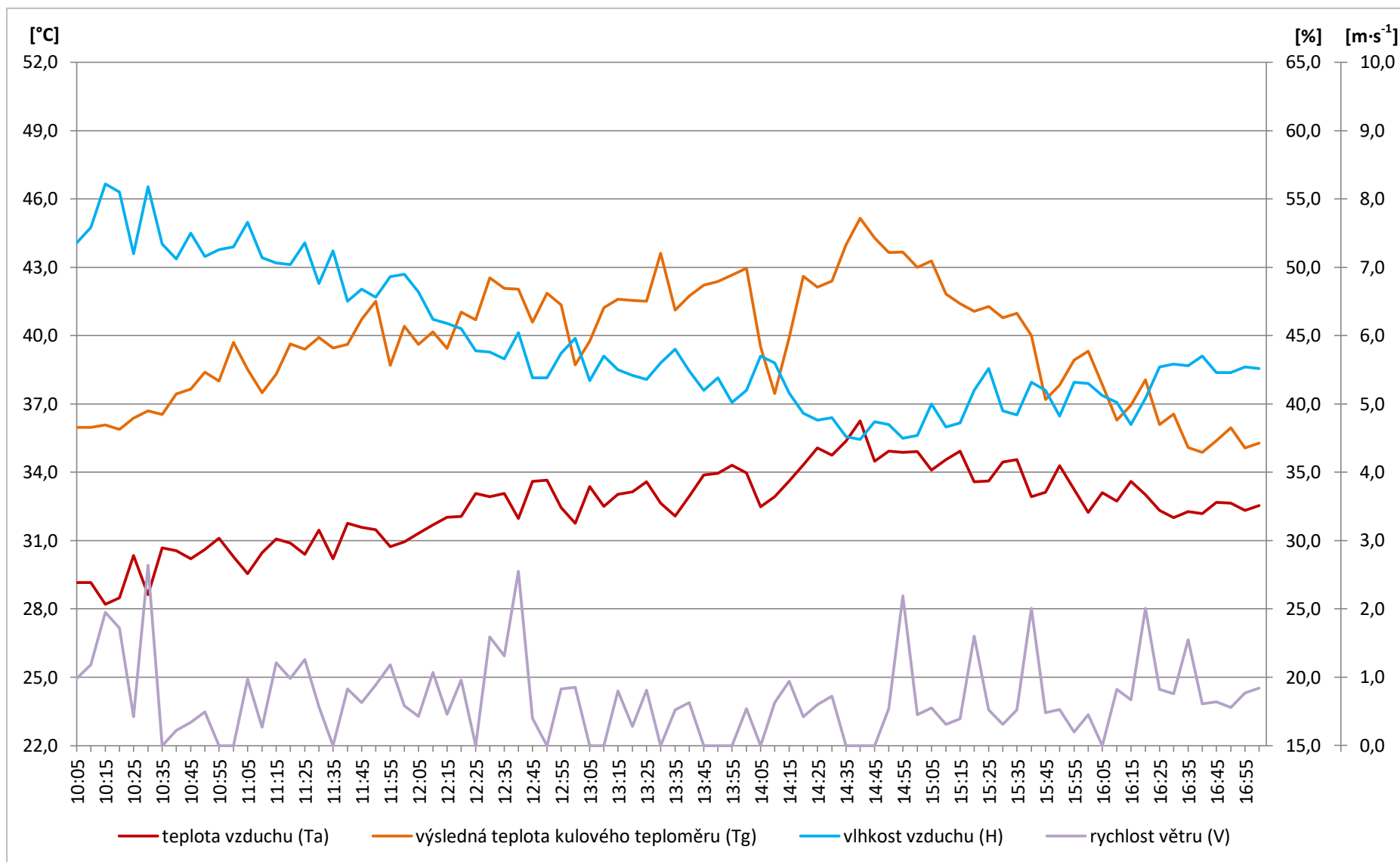
Obr. 2 Chod měřených meteorologických prvků na stanici BR_2 na Moravském náměstí v Brně dne 12. 08. 2019



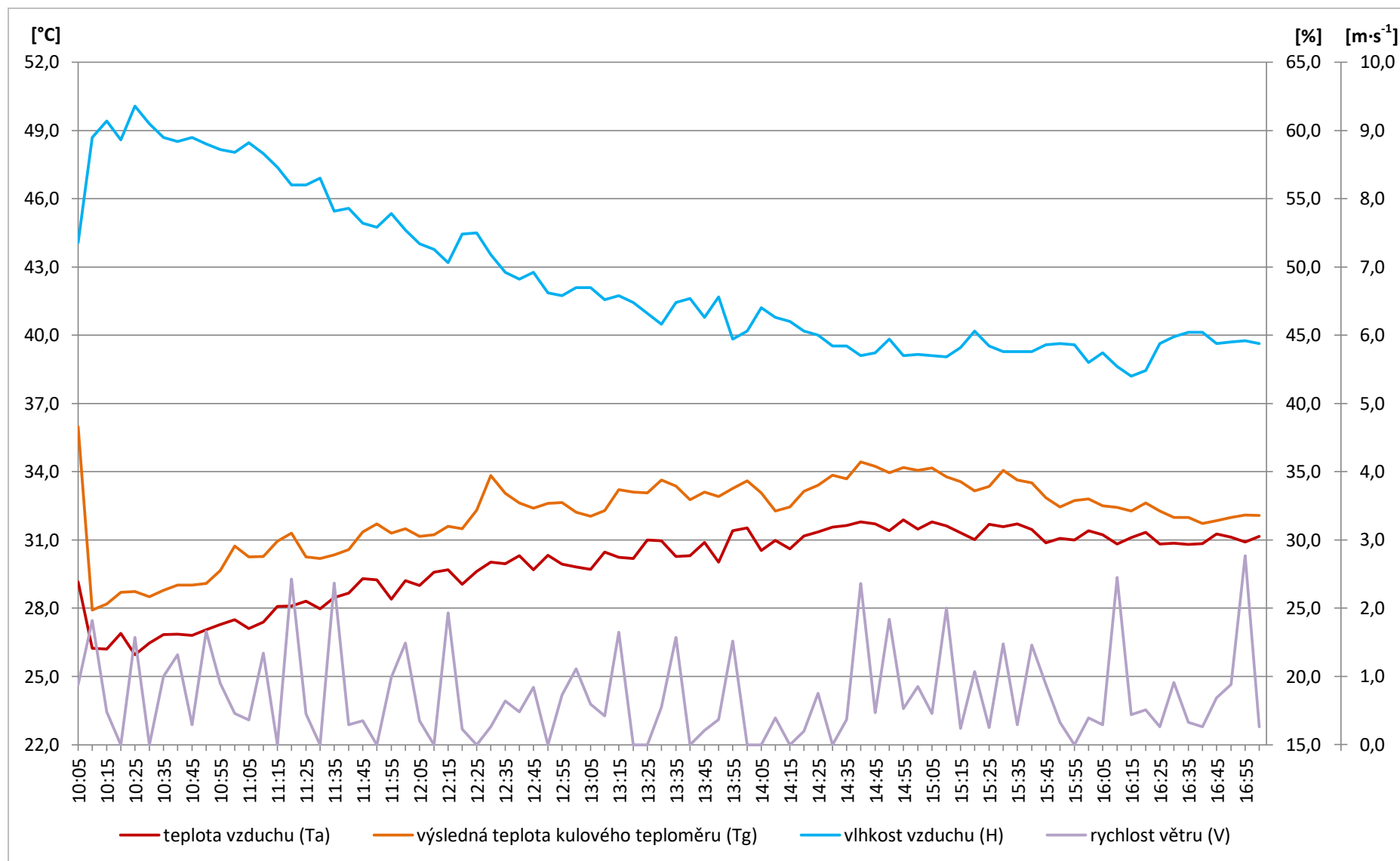
Obr. 3 Chod měřených meteorologických prvků na stanici BR_3 na Moravském náměstí v Brně dne 12. 08. 2019



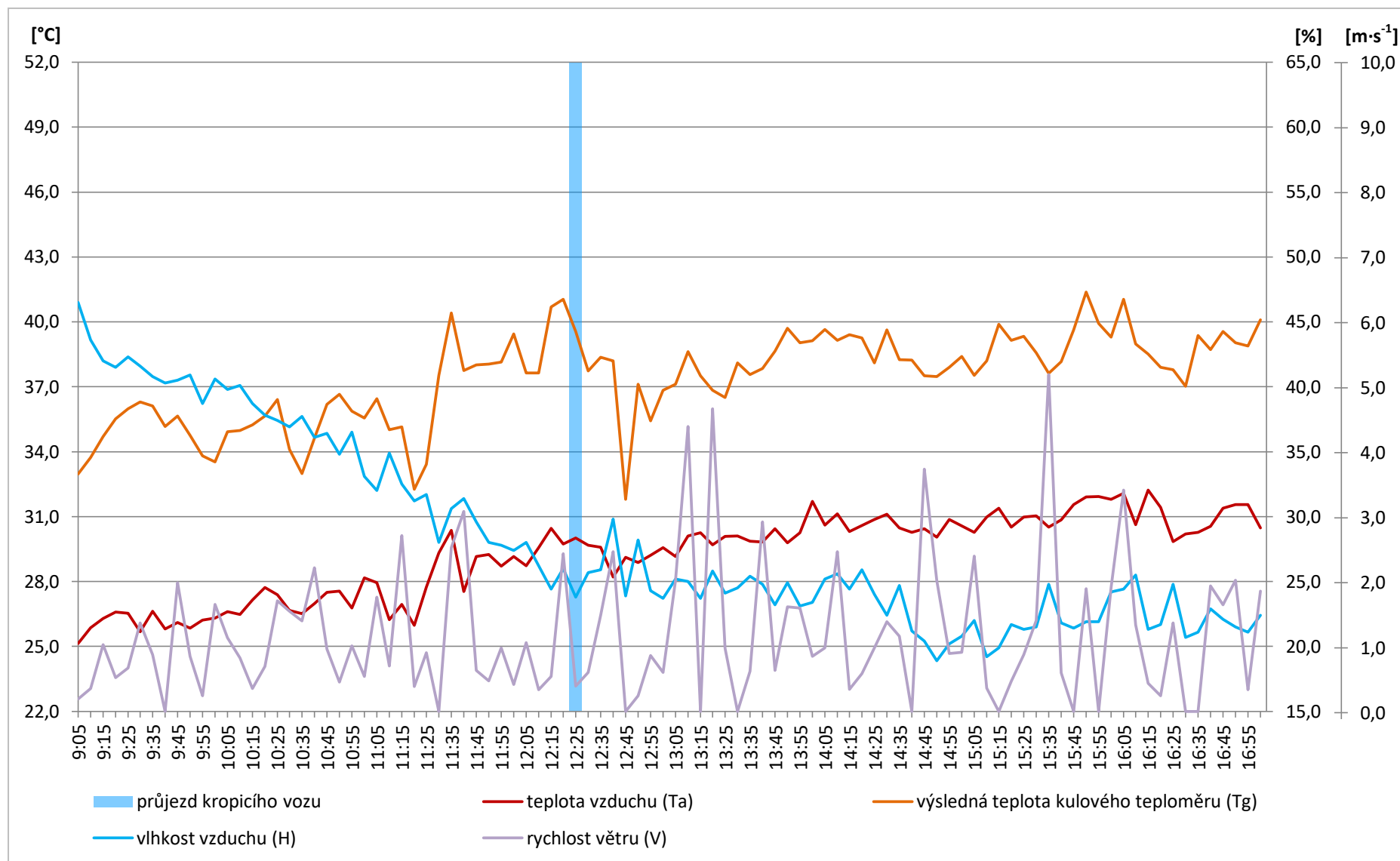
Obr. 4 Chod měřených meteorologických prvků na stanici BR_4 na náměstí Svobody v Brně dne 28. 08. 2019



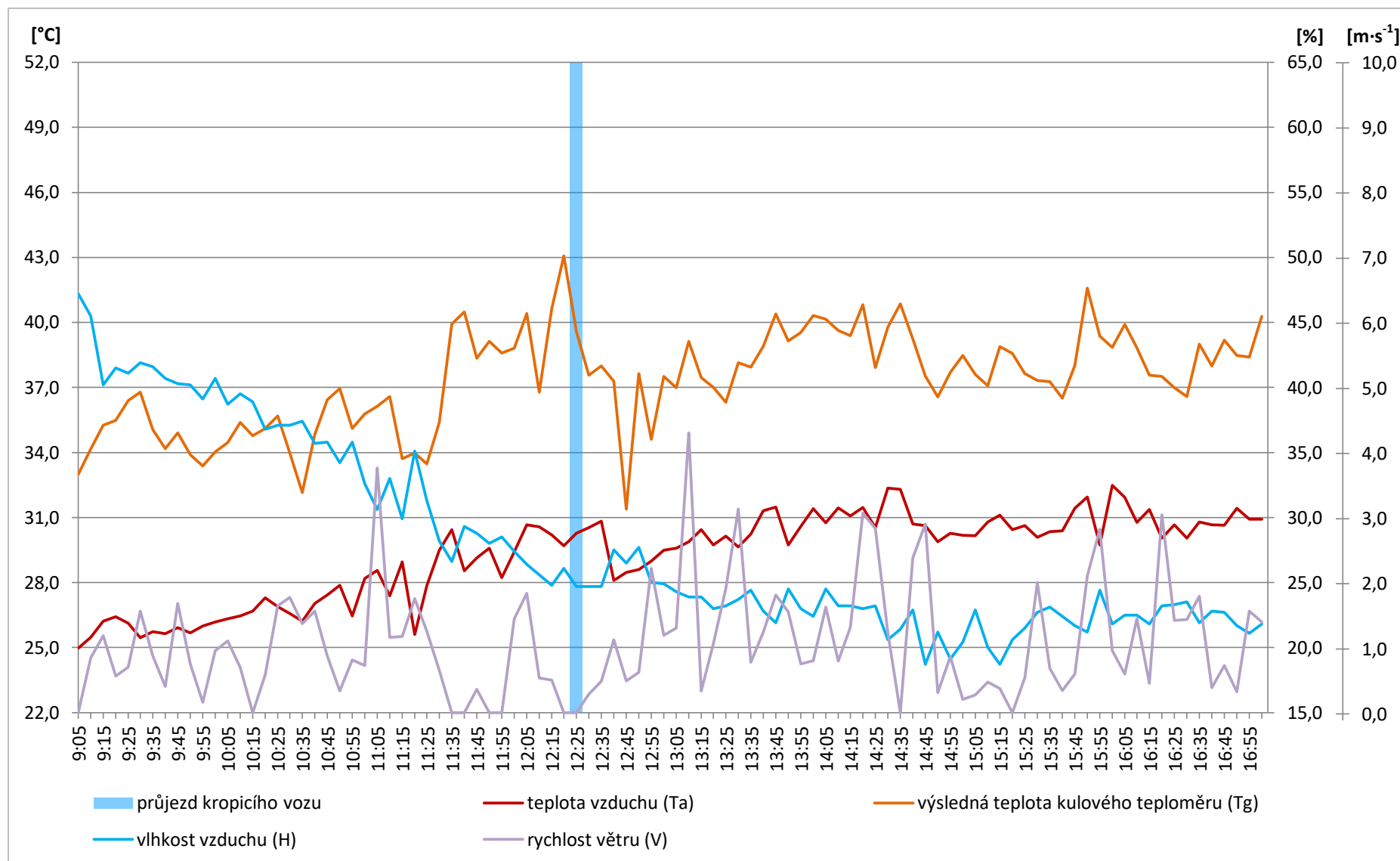
Obr. 5 Chod měřených meteorologických prvků na stanici BR_5 na náměstí Svobody v Brně dne 28. 08. 2019



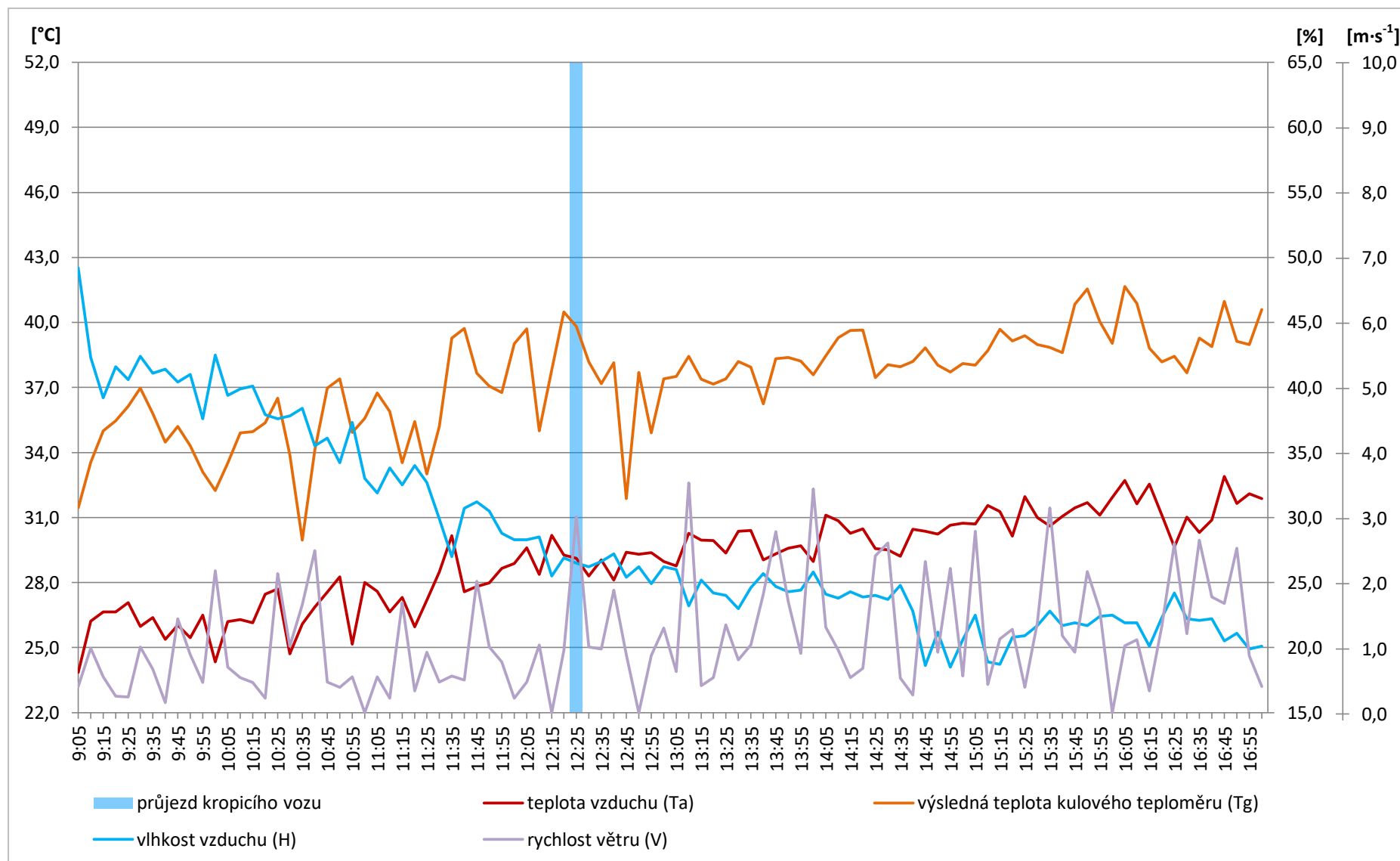
Obr. 6 Chod měřených meteorologických prvků na stanici BR_6 na náměstí Svobody v Brně dne 28. 08. 2019



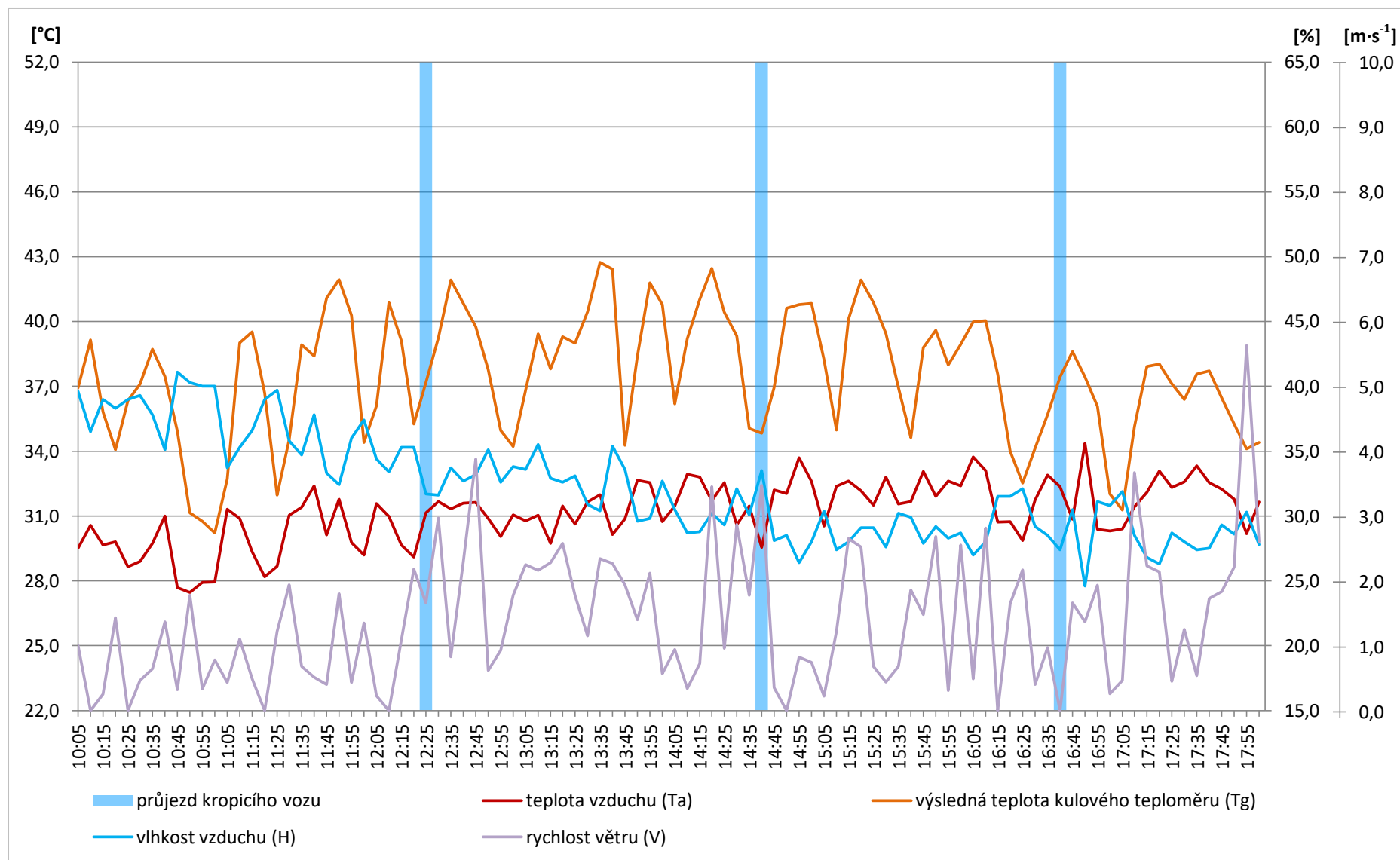
Obr. 7 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OL_1 na Horním náměstí v Olomouci dne 15. 07. 2018



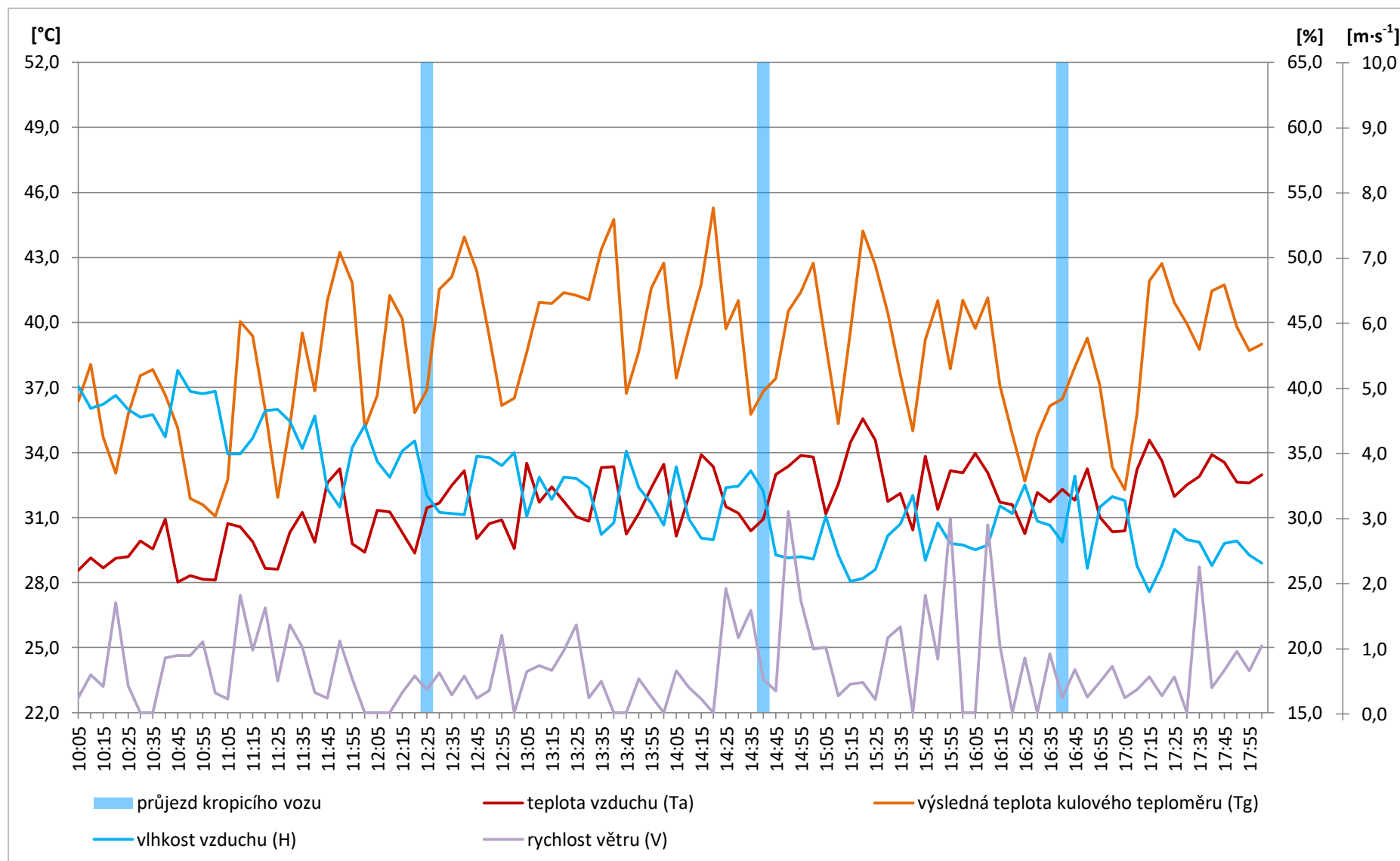
Obr. 8 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OL_2 na Horním náměstí v Olomouci dne 15. 07. 2018



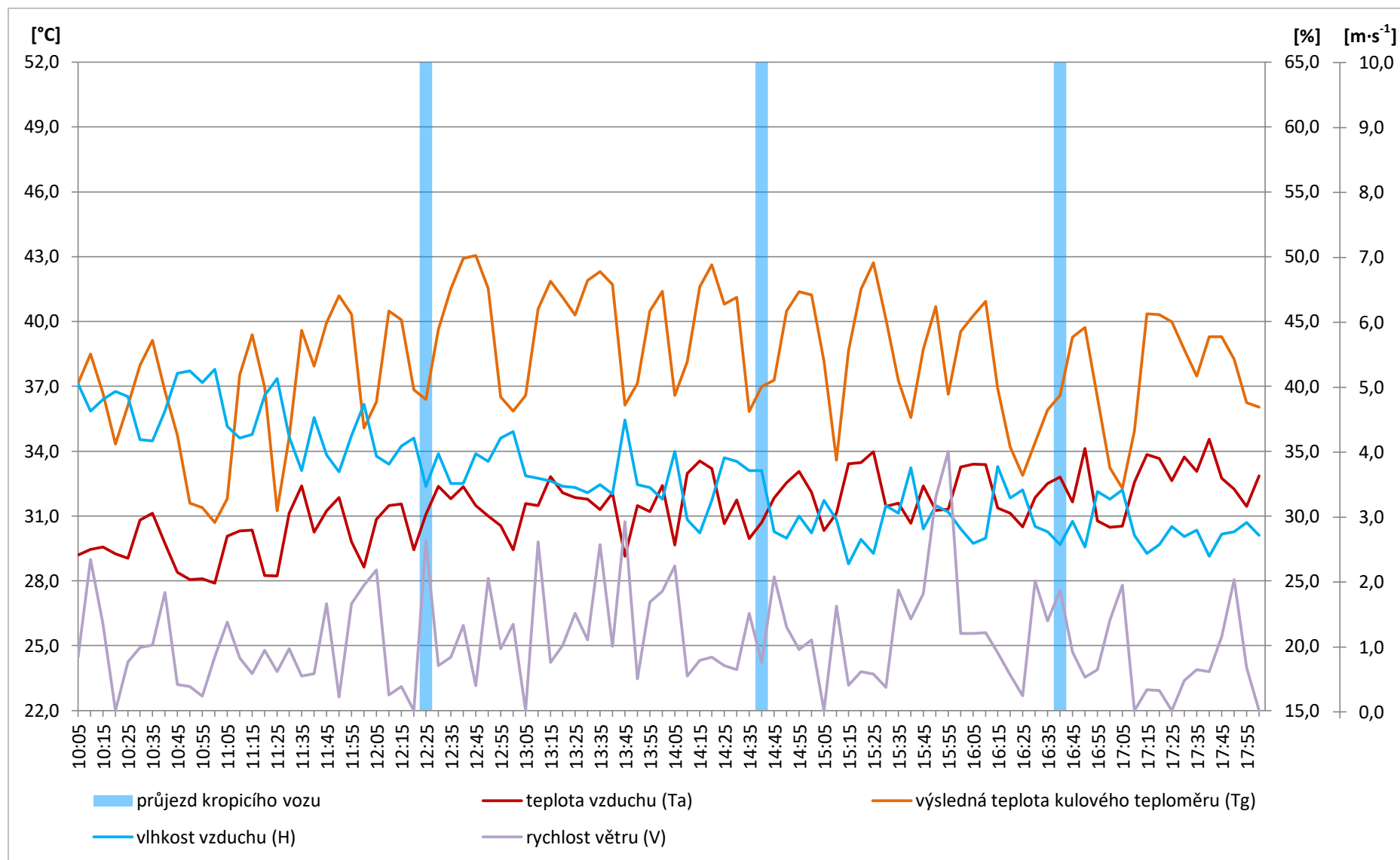
Obr. 9 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OL_3 na Horním náměstí v Olomouci dne 15. 07. 2018



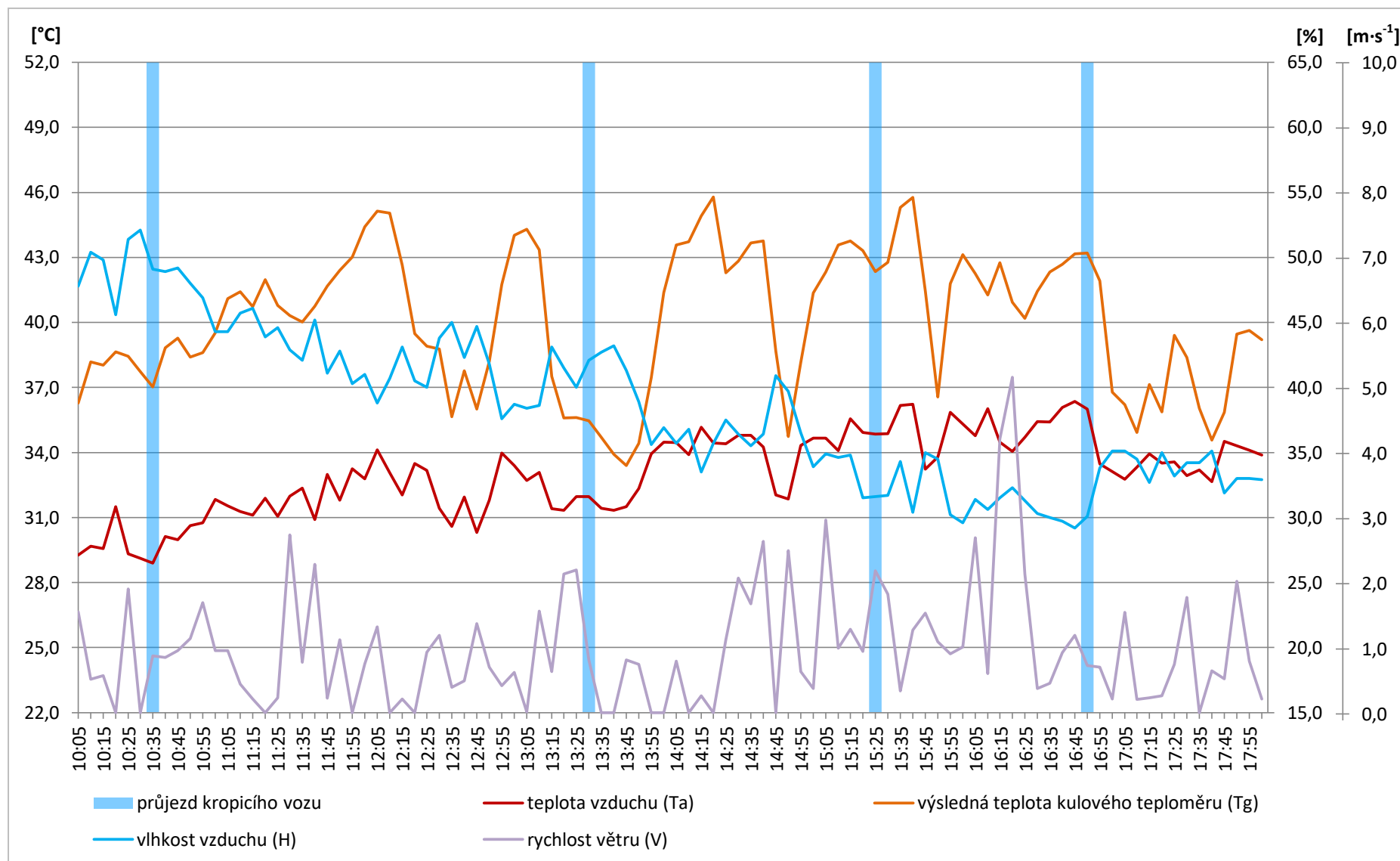
Obr. 10 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OL_1 na Horním náměstí v Olomouci dne 24. 07. 2018



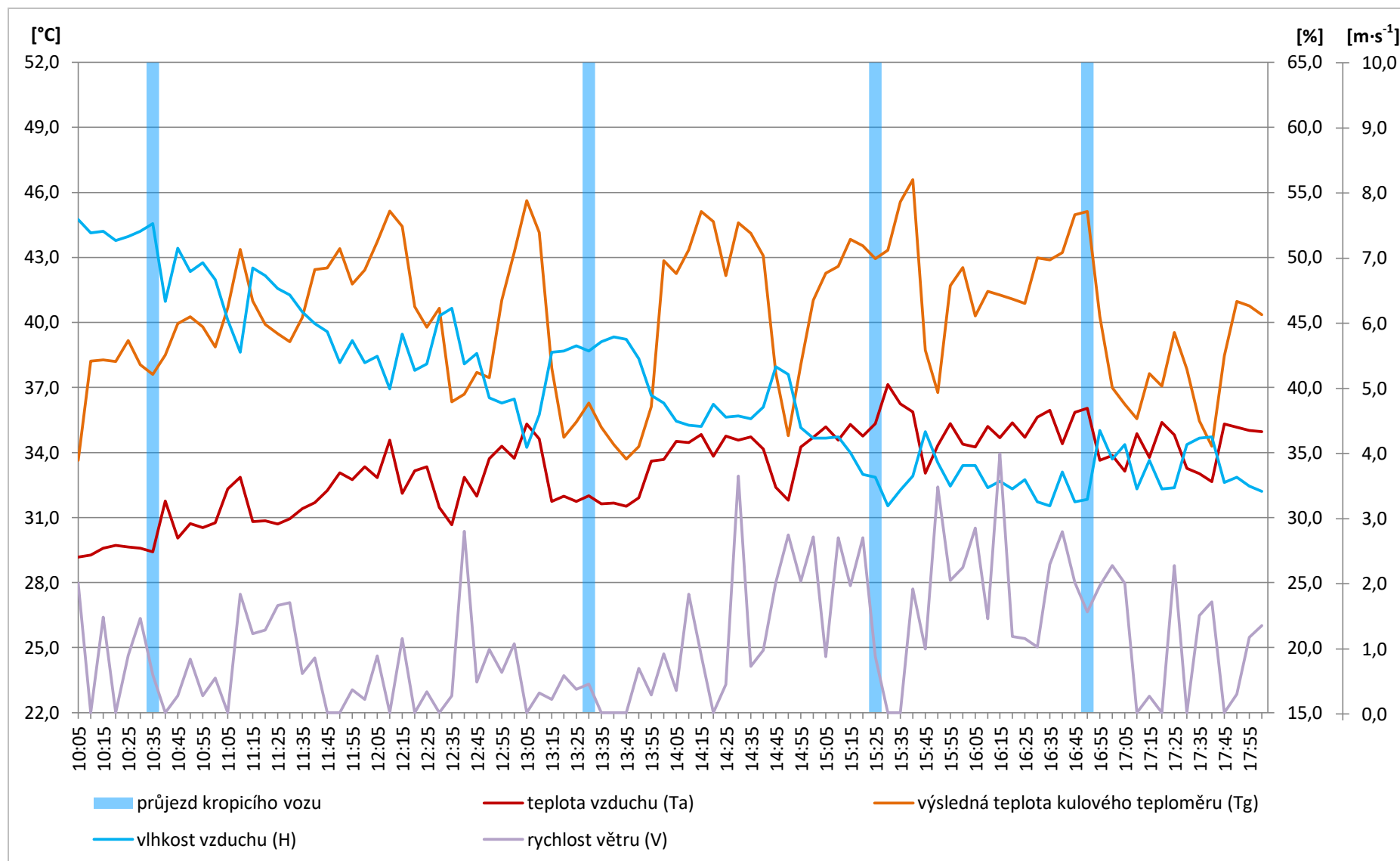
Obr. 11 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OL_2 na Horním náměstí v Olomouci dne 24. 07. 2018



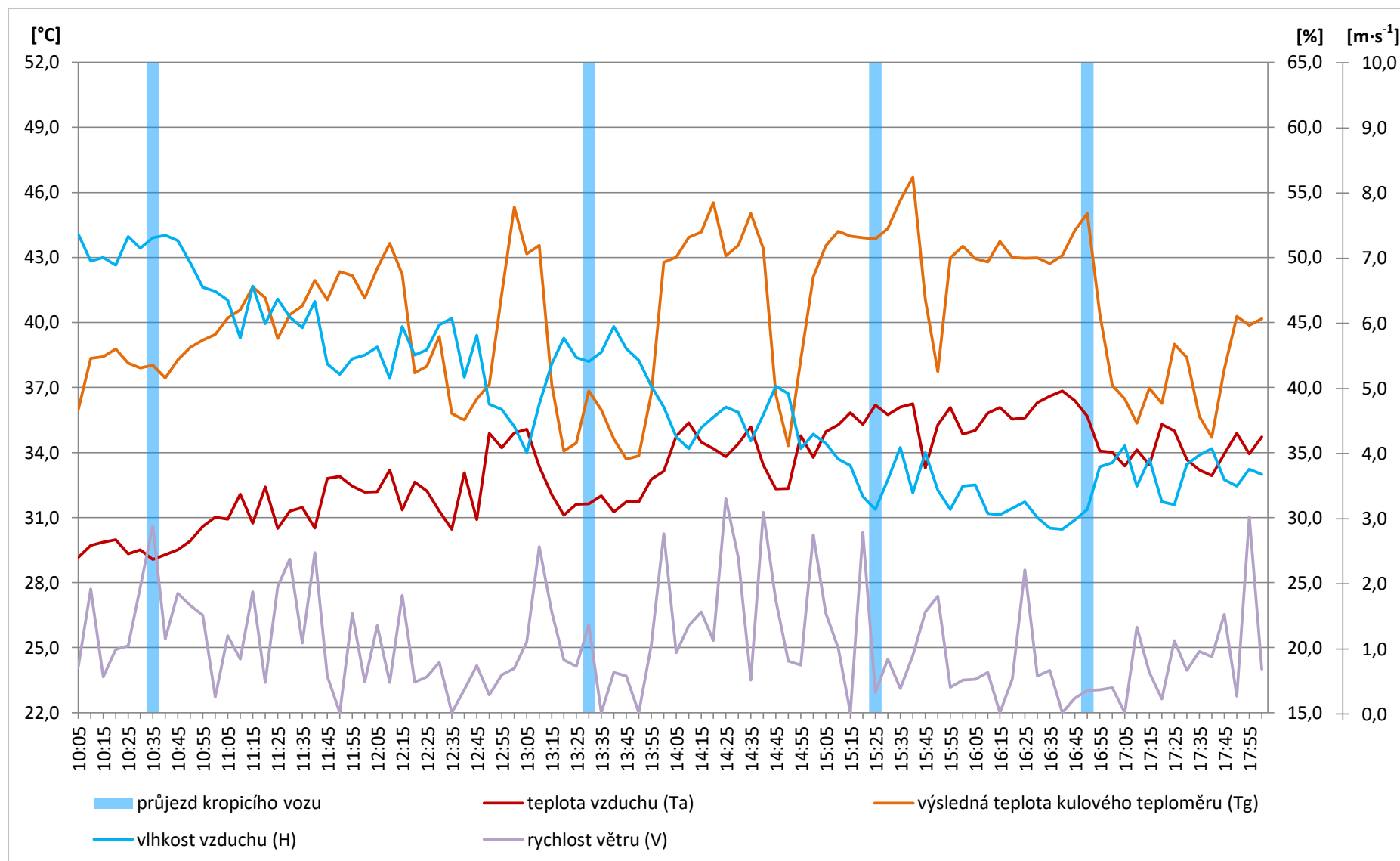
Obr. 12 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OL_3 na Horním náměstí v Olomouci dne 24. 07. 2018



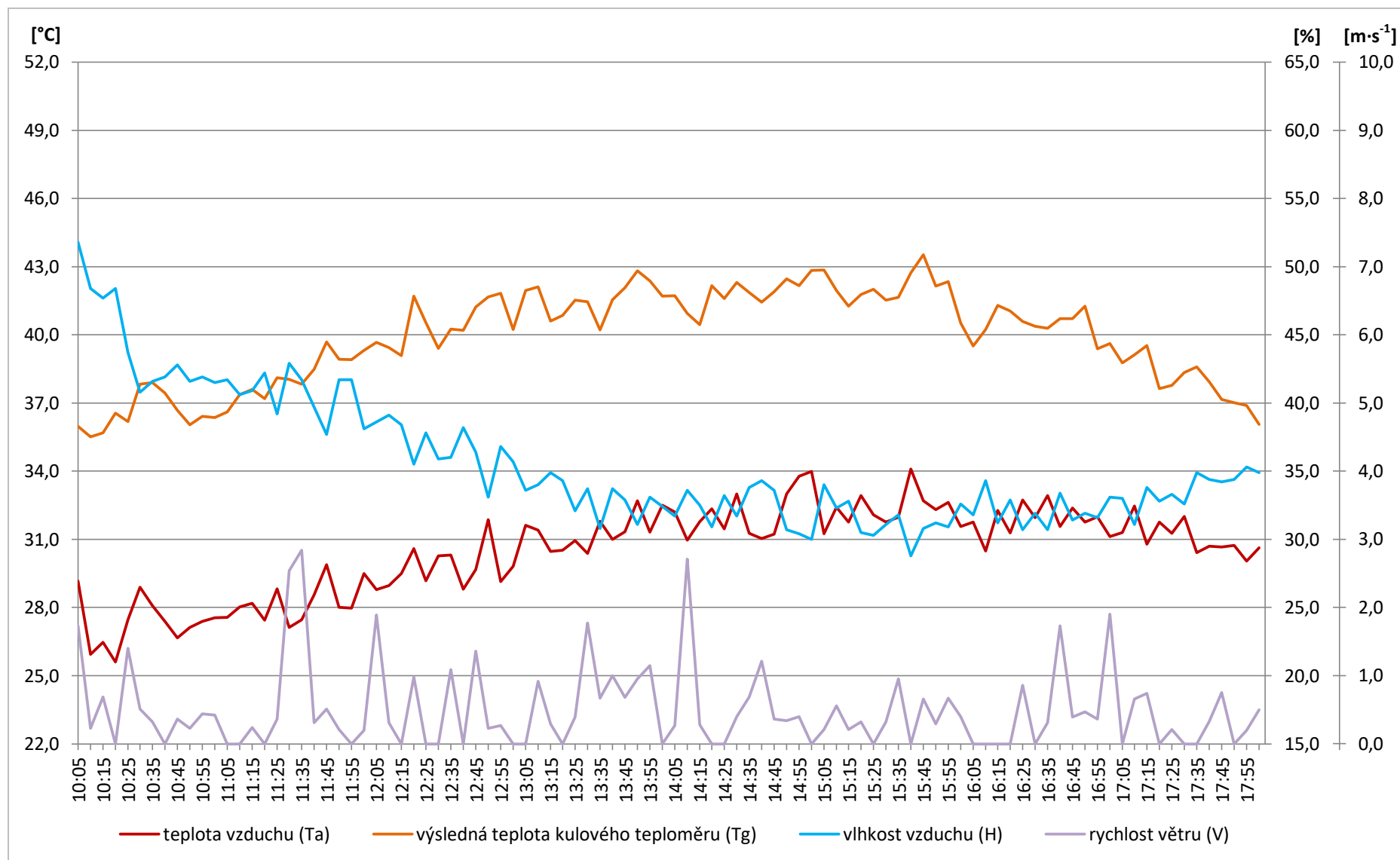
Obr. 13 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OL_1 na Horním náměstí v Olomouci dne 01. 08. 2018



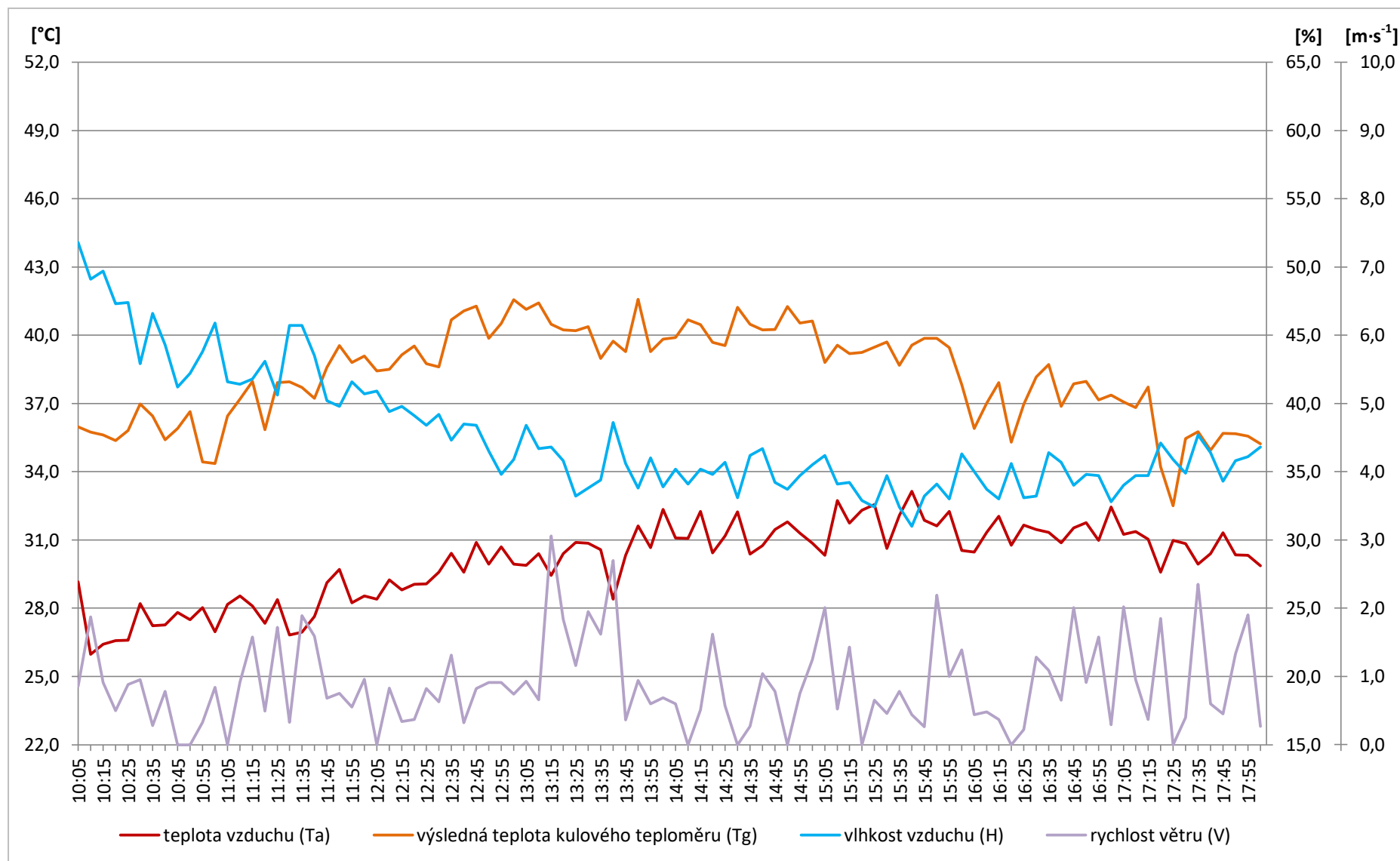
Obr. 14 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OL_2 na Horním náměstí v Olomouci dne 01. 08. 2018



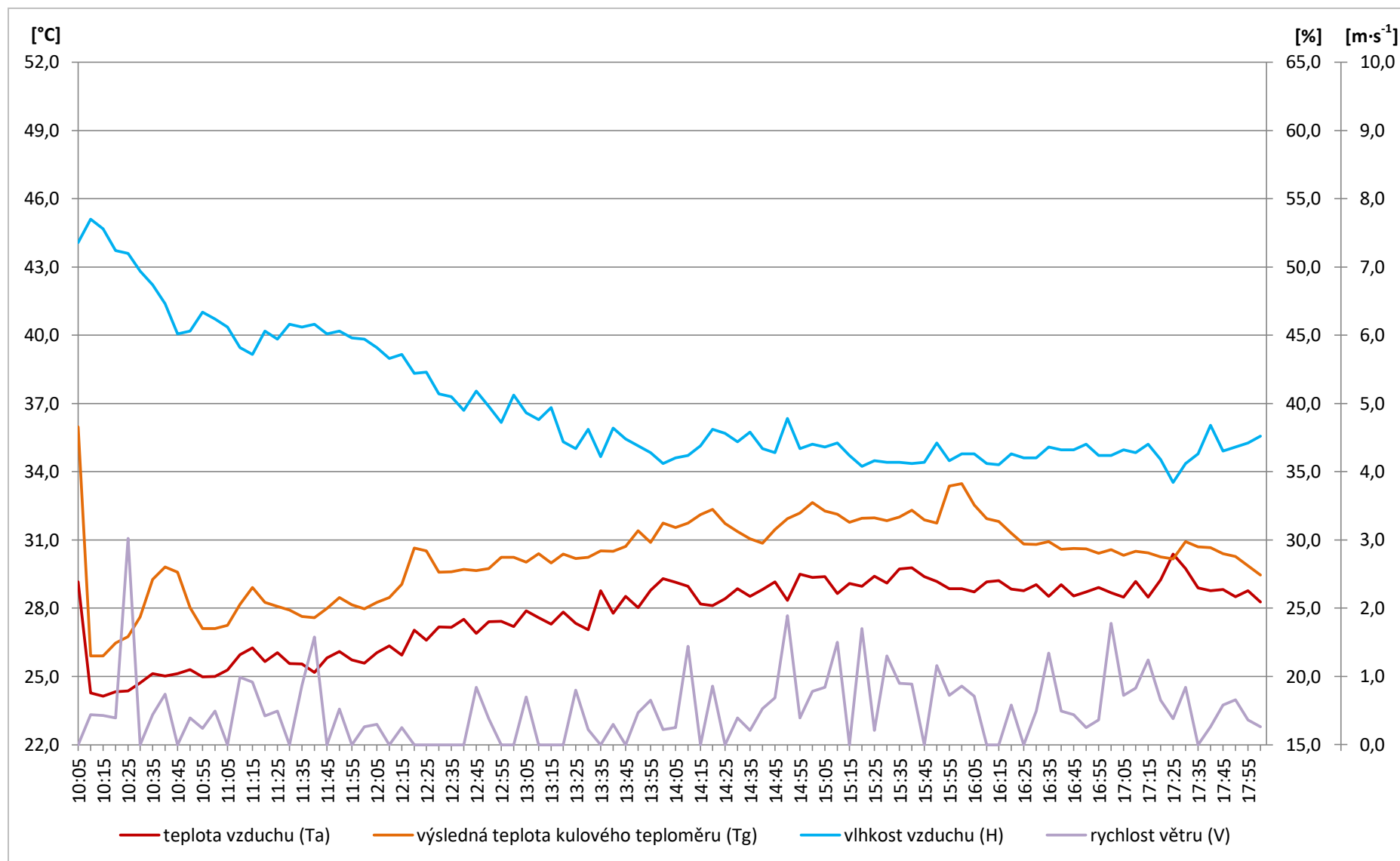
Obr. 15 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OL_3 na Horním náměstí v Olomouci dne 01. 08. 2018



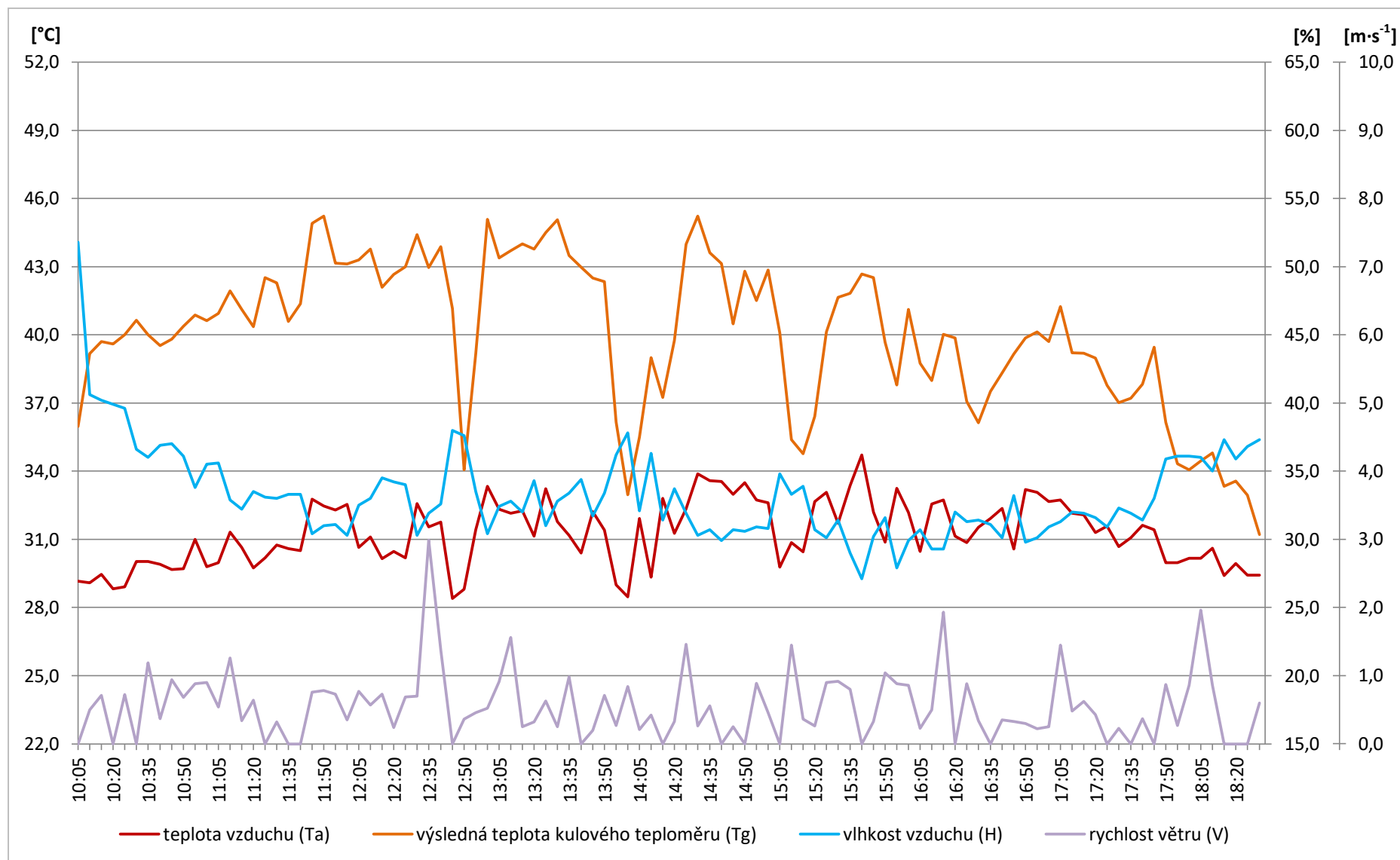
Obr. 16 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OS_1 na Masarykově náměstí v Ostravě dne 22. 08. 2018



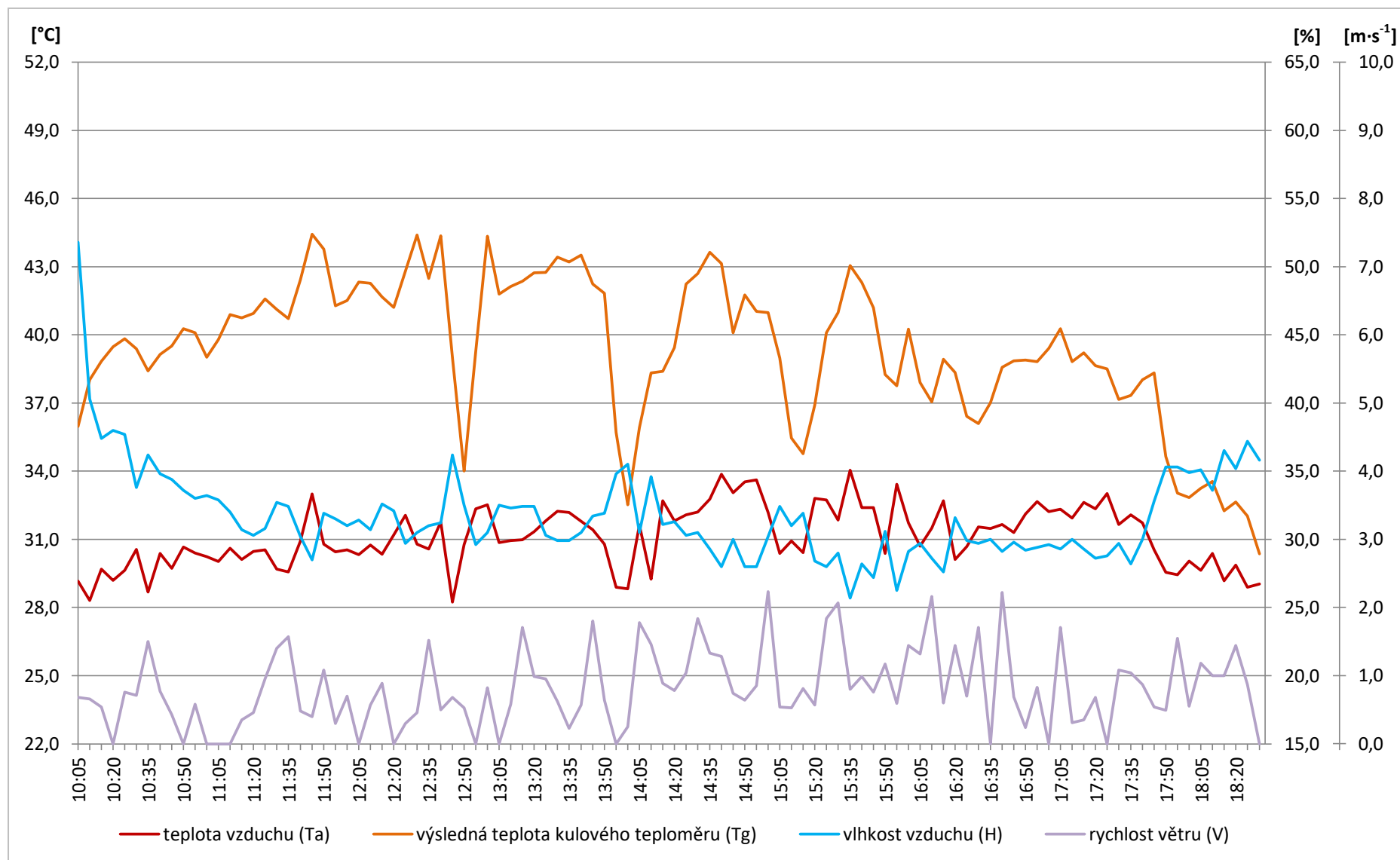
Obr. 17 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OS_2 na Masarykově náměstí v Ostravě dne 22. 08. 2018



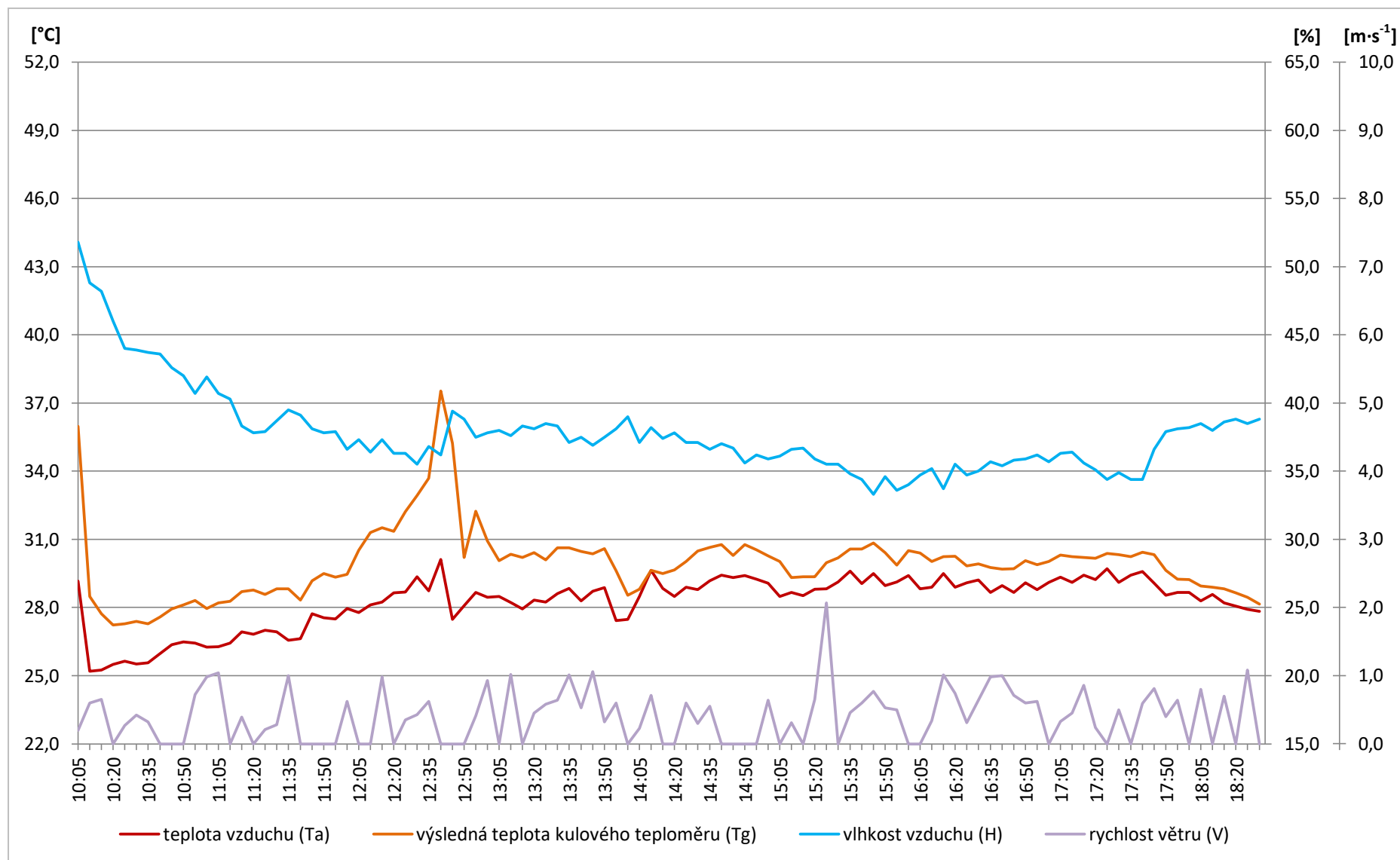
Obr. 18 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OS_3 na Masarykově náměstí v Ostravě dne 22. 08. 2018



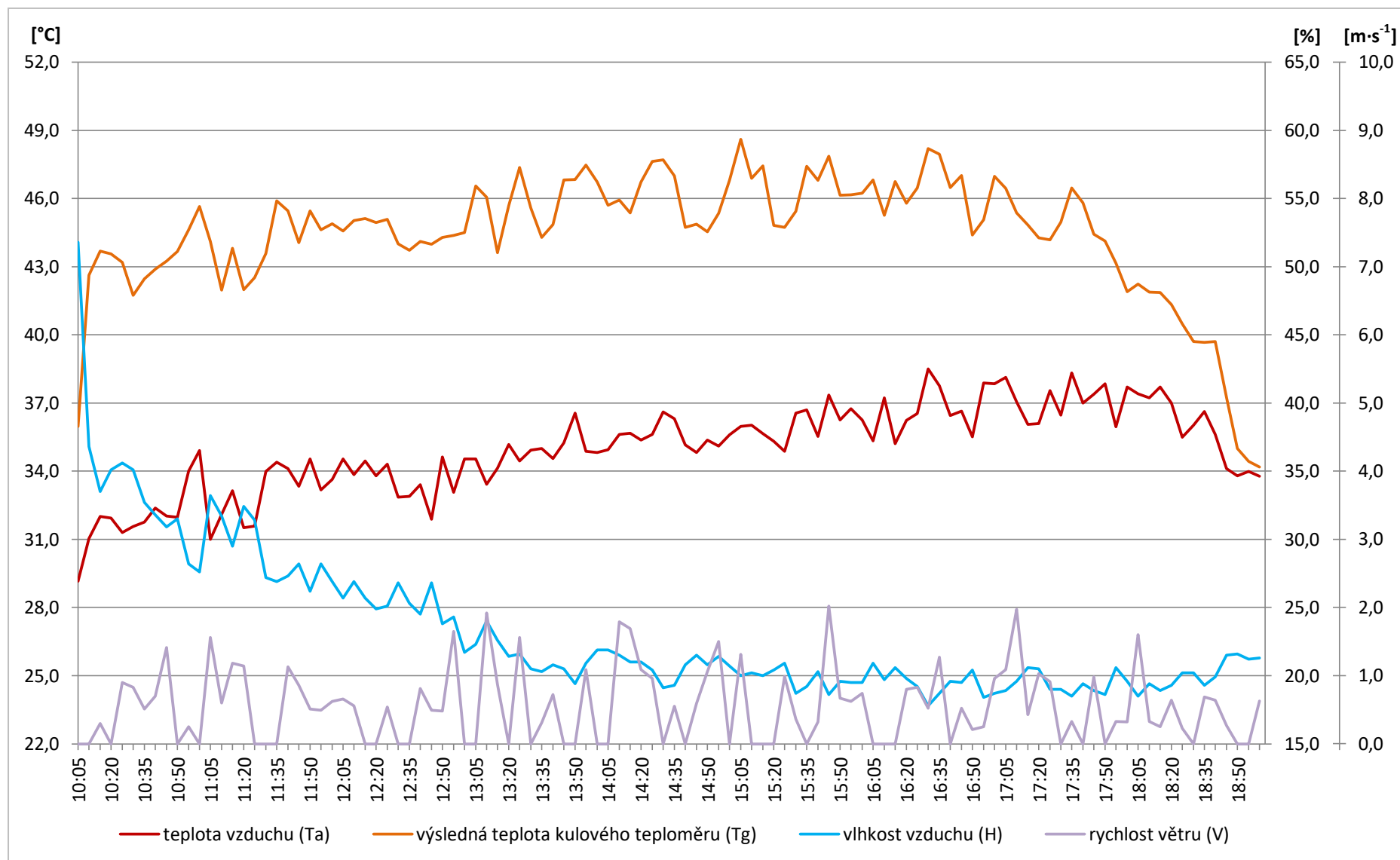
Obr. 19 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OS_1 na Masarykově náměstí v Ostravě dne 09. 08. 2019



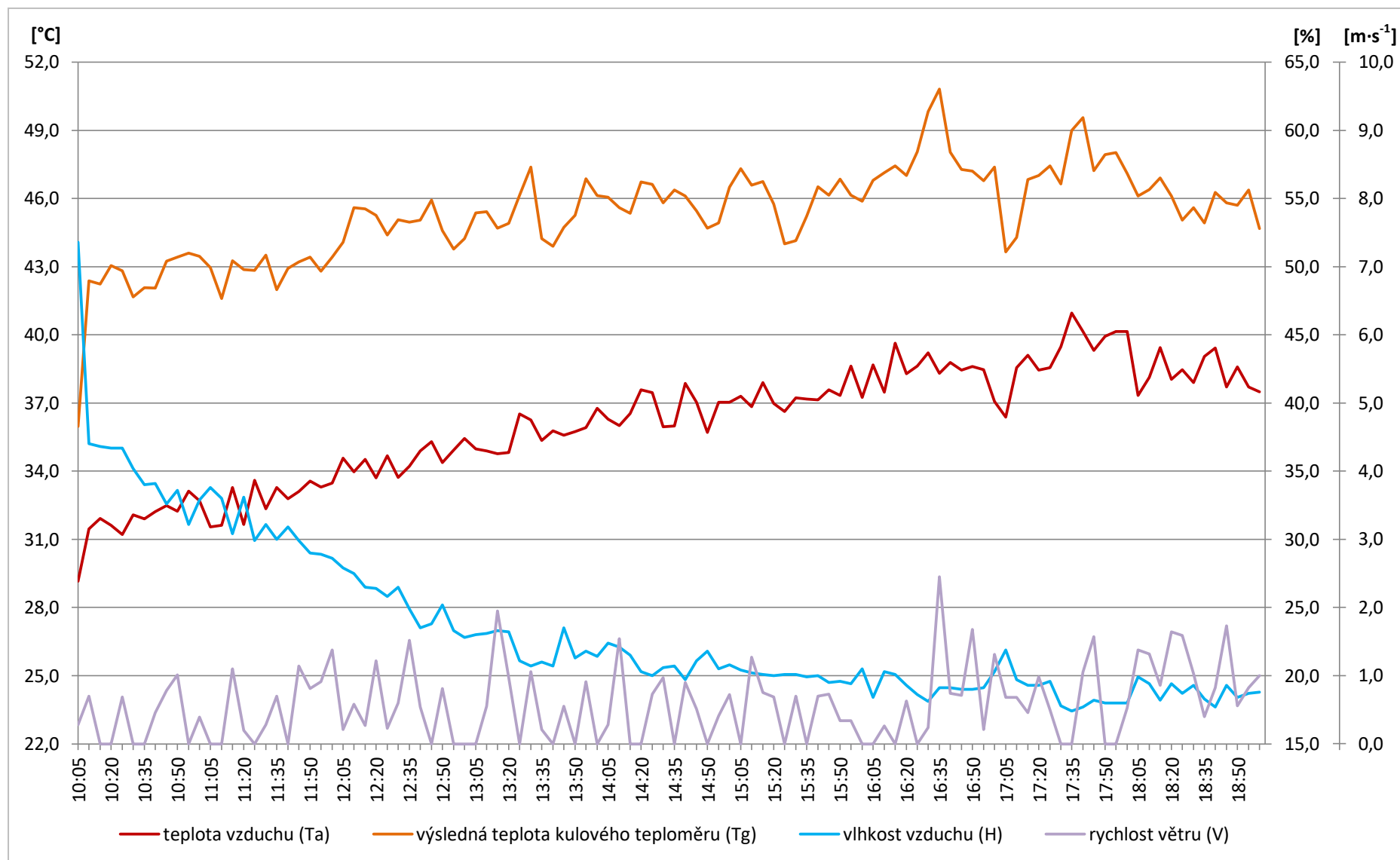
Obr. 20 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OS_2 na Masarykově náměstí v Ostravě dne 09. 08. 2019



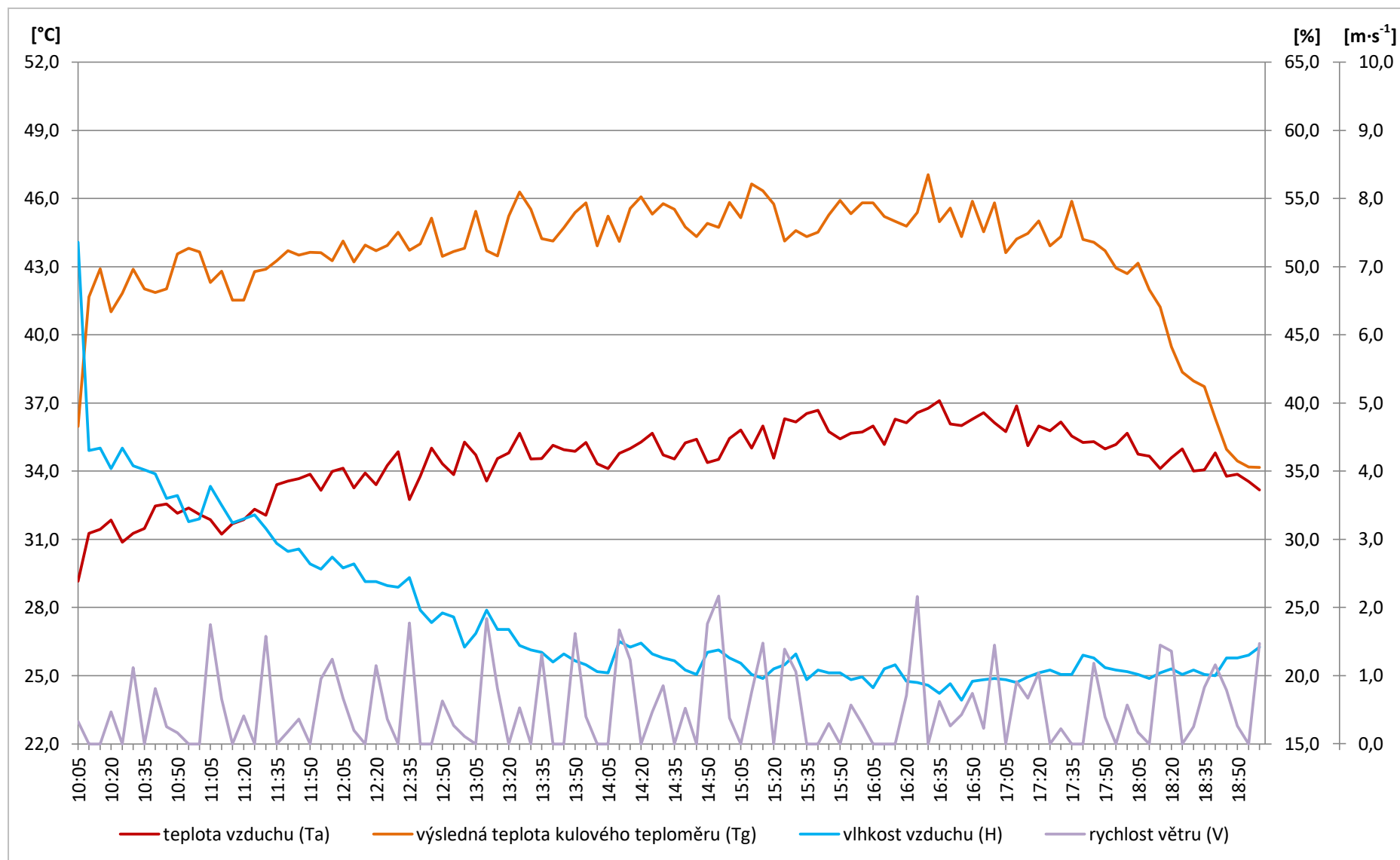
Obr. 21 Chod měřených meteorologických prvků na stanici OS_3 na Masarykově náměstí v Ostravě dne 09. 08. 2019



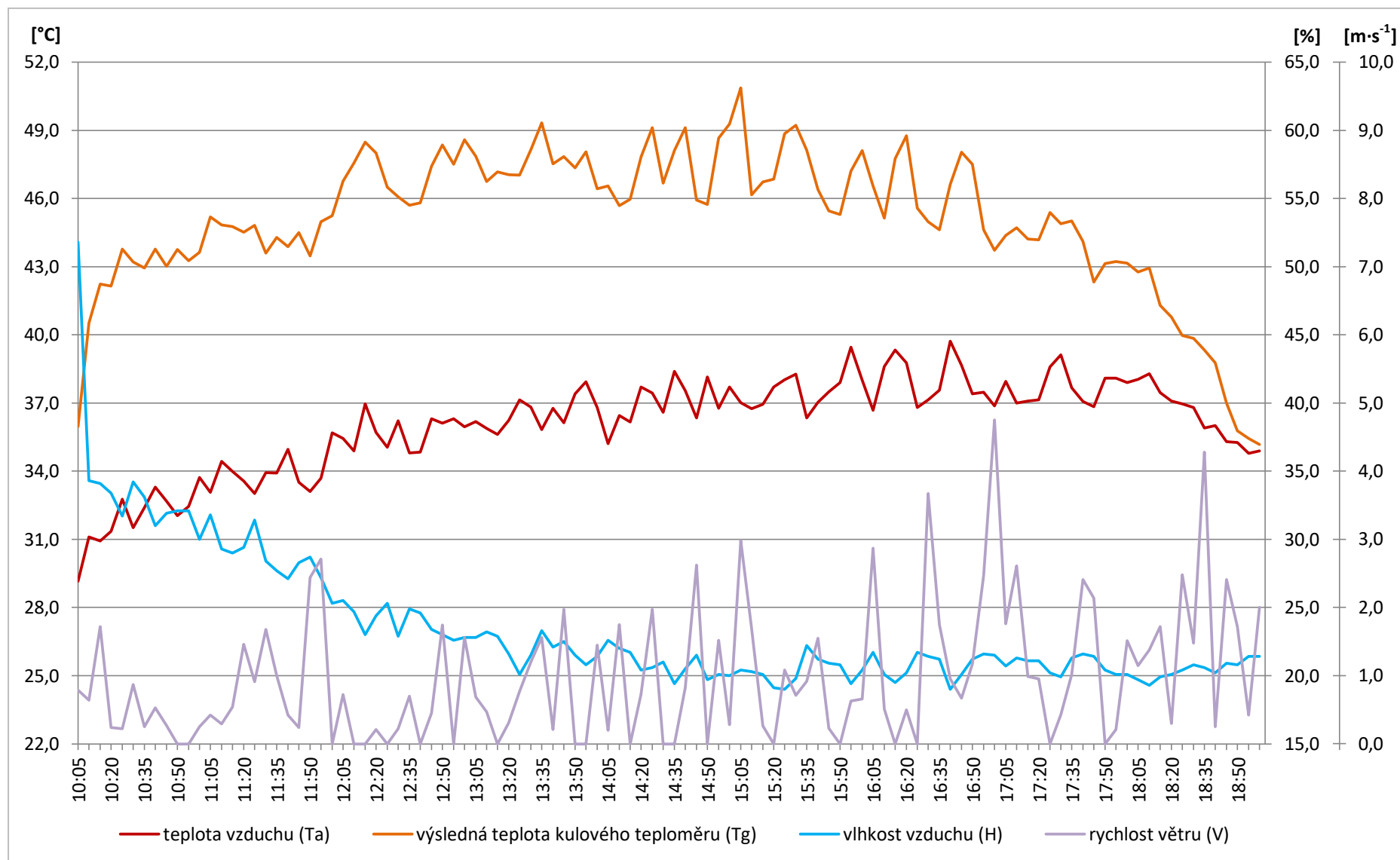
Obr. 22 Chod měřených meteorologických prvků na stanici PL_1 na náměstí Republiky v Plzni dne 24. 07. 2019



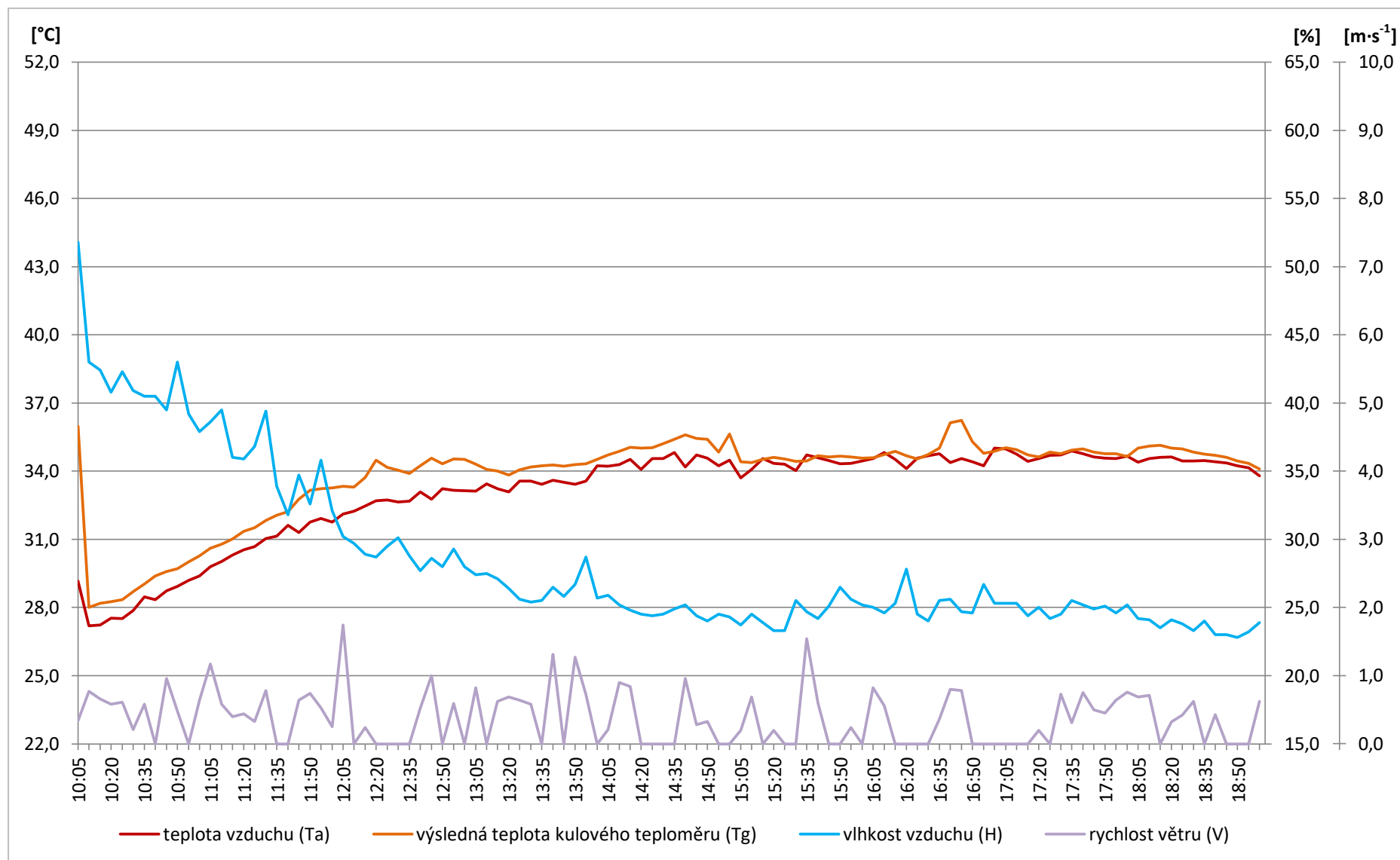
Obr. 23 Chod měřených meteorologických prvků na stanici PL_2 na náměstí Republiky v Plzni dne 24. 07. 2019



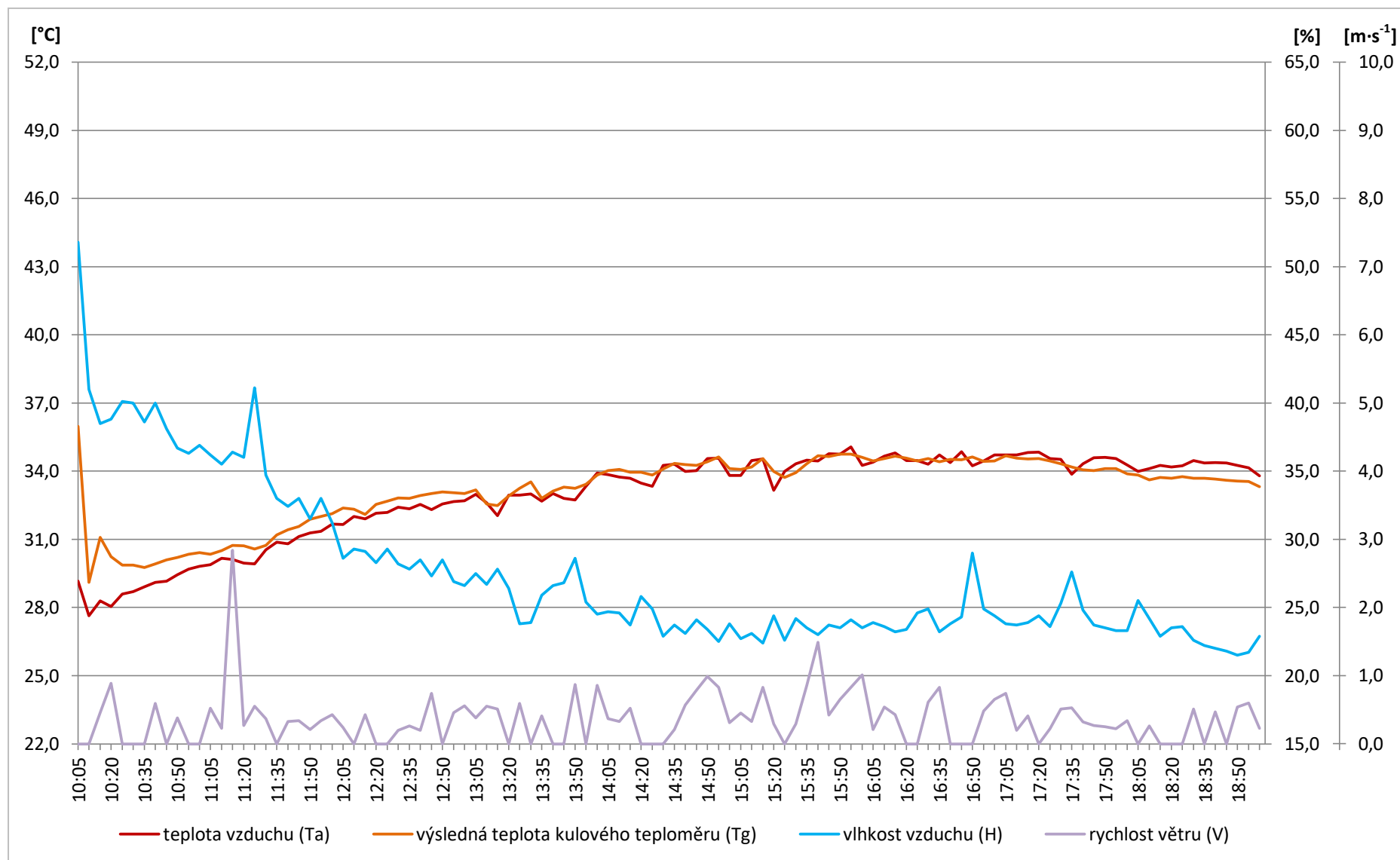
Obr. 24 Chod měřených meteorologických prvků na stanici PL_3 na náměstí Republiky v Plzni dne 24. 07. 2019



Obr. 25 Chod měřených meteorologických prvků na stanici *PL_1* na náměstí Republiky v Plzni dne 25. 07. 2019

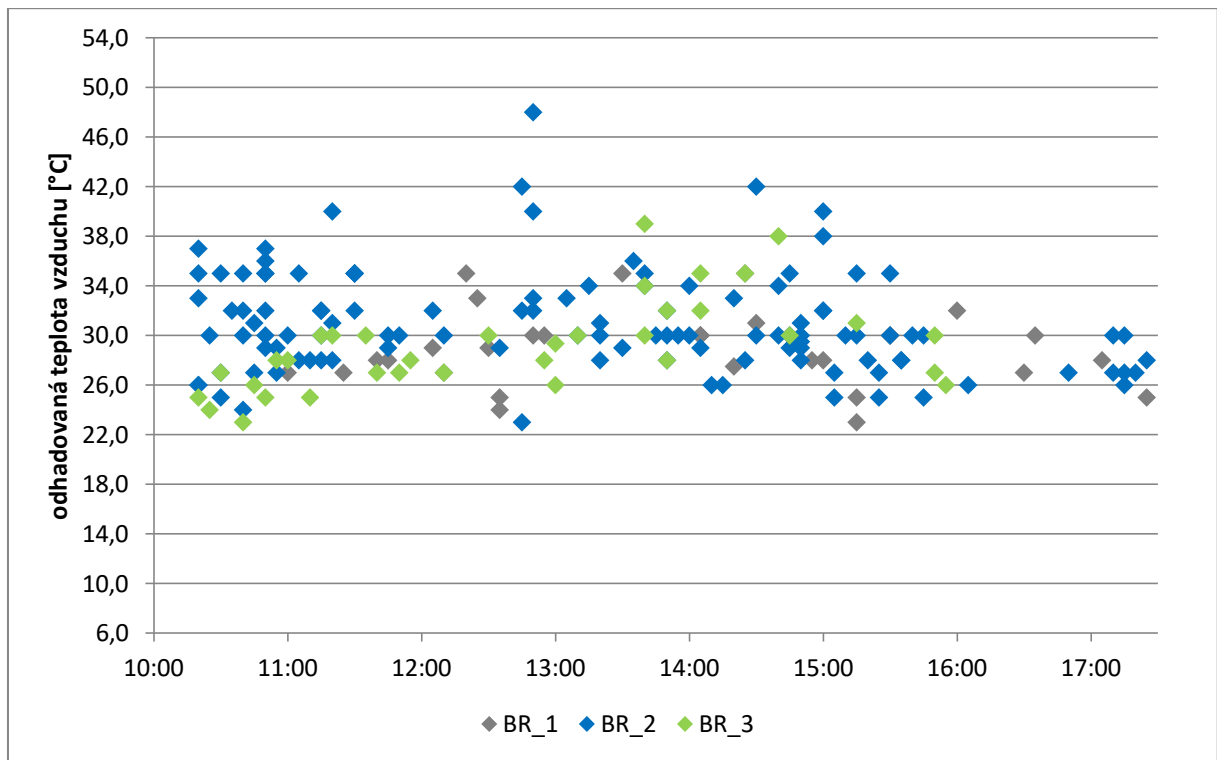


Obr. 26 Chod měřených meteorologických prvků na stanici PL_4 ve Smetanových sadech v Plzni dne 25. 07. 2019

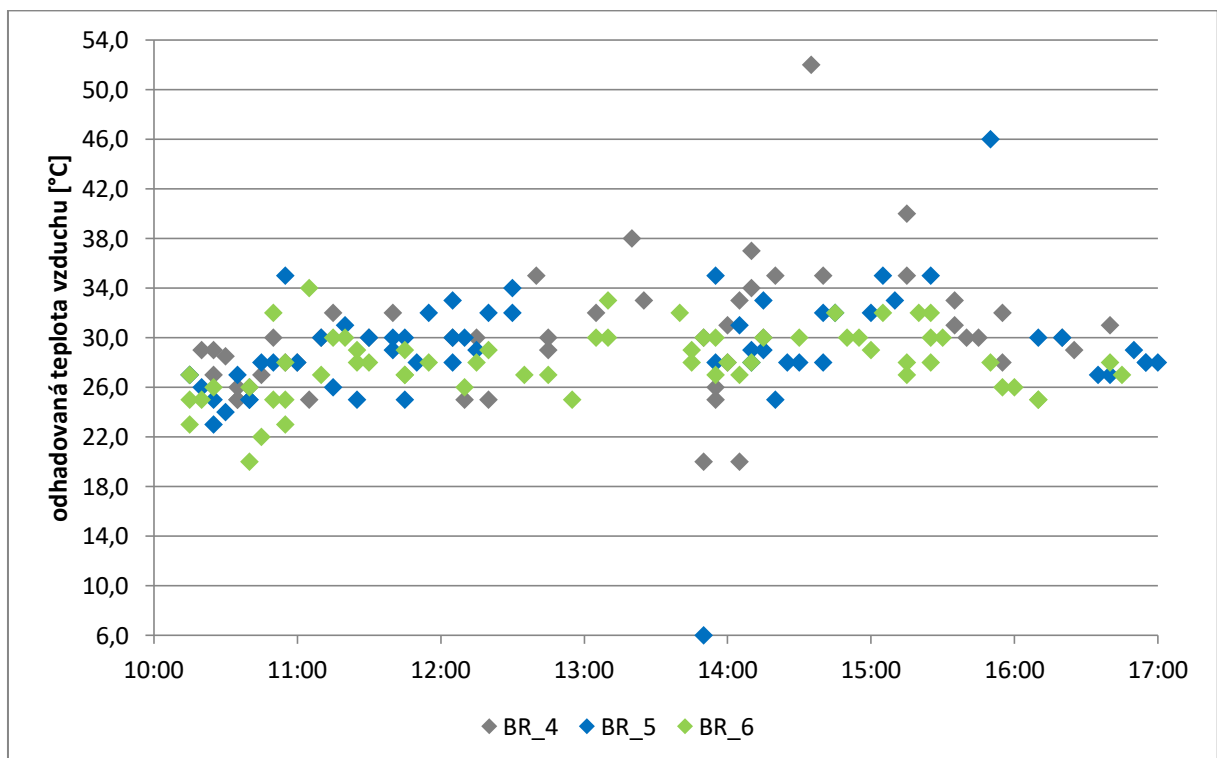


Obr. 27 Chod měřených meteorologických prvků na stanici PL_5 ve Smetanových sadech v Plzni dne 25. 07. 2019

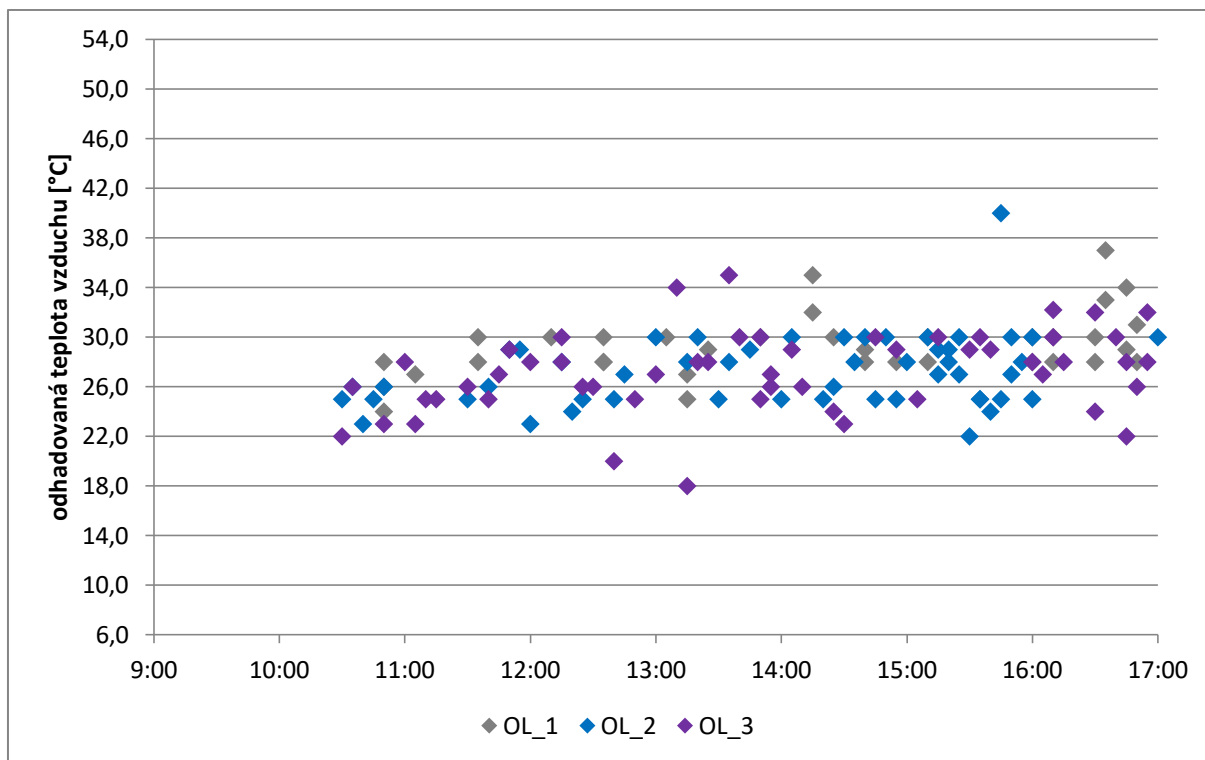
Příloha 3 – Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty ve všech výzkumných dnech 2018 a 2019 na jednotlivých výzkumných lokalitách



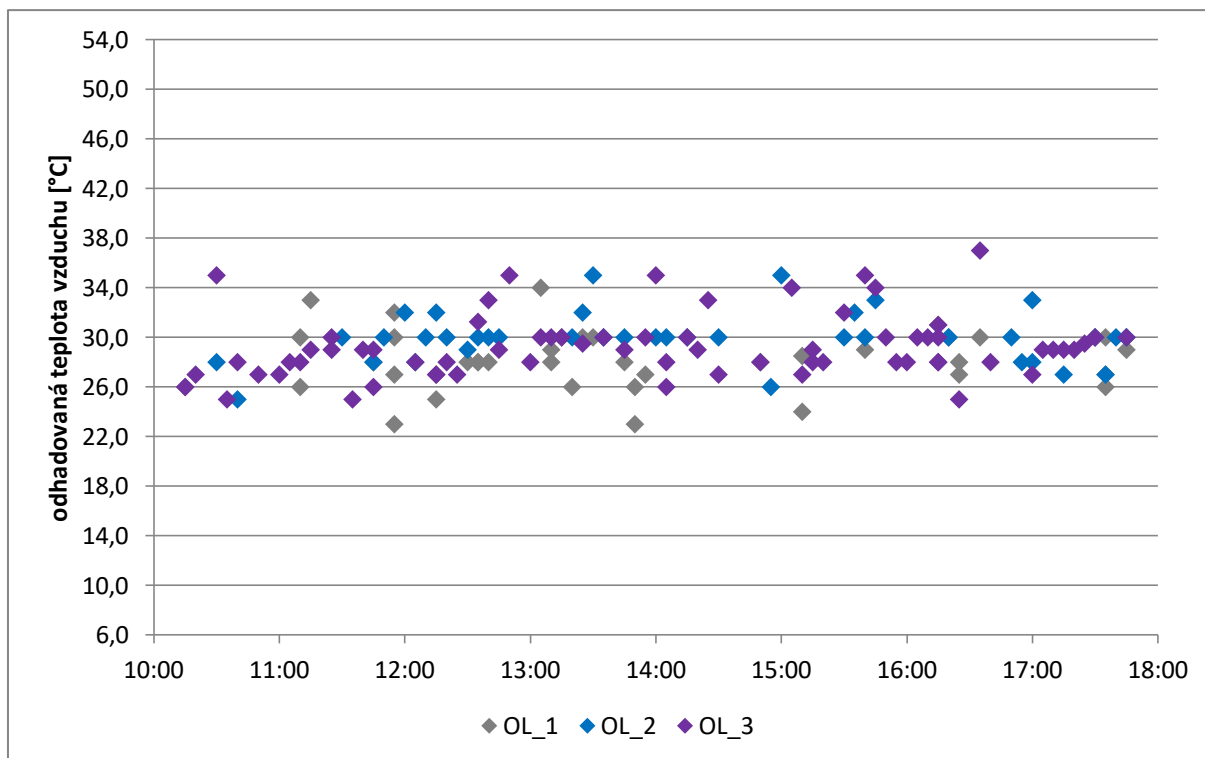
Obr. 1 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty na Moravském náměstí v Brně dne 12. 08. 2019



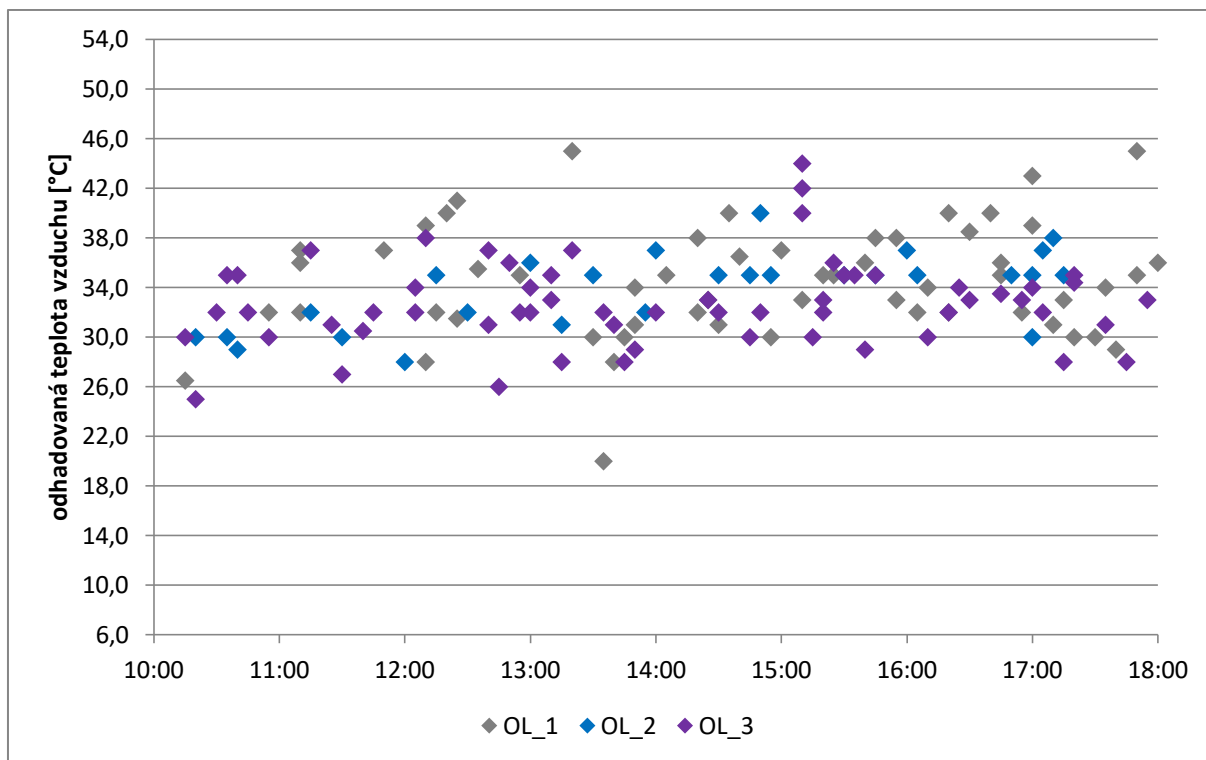
Obr. 2 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty na náměstí Svobody v Brně dne 28. 08. 2019



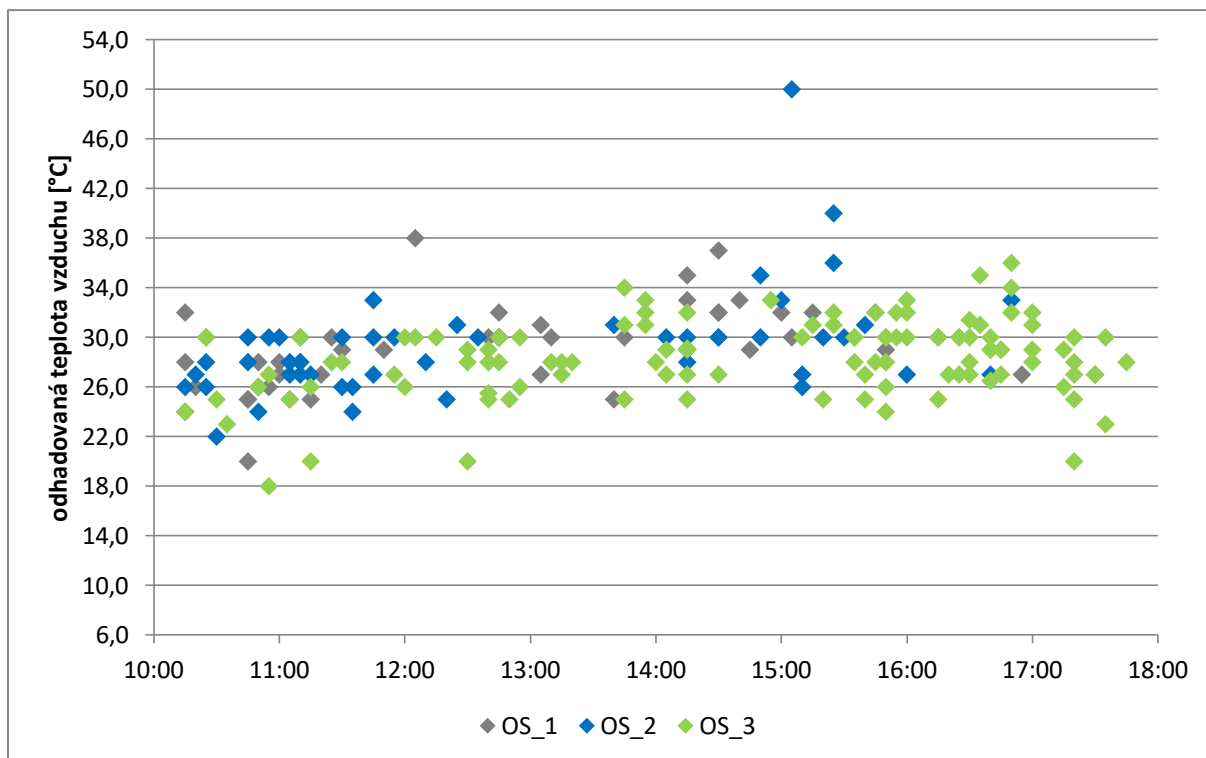
Obr. 3 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty na Horním náměstí v Olomouci dne 15. 07. 2018



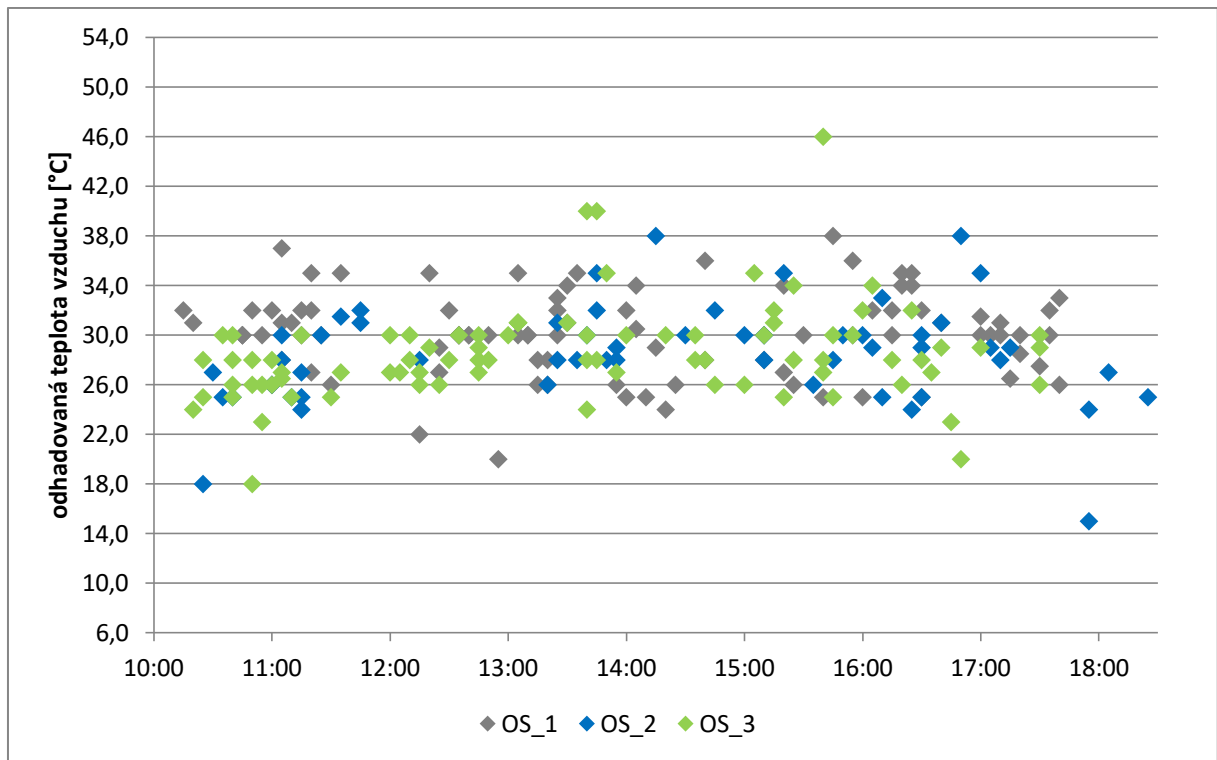
Obr. 4 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty na Horním náměstí v Olomouci dne 24. 07. 2018



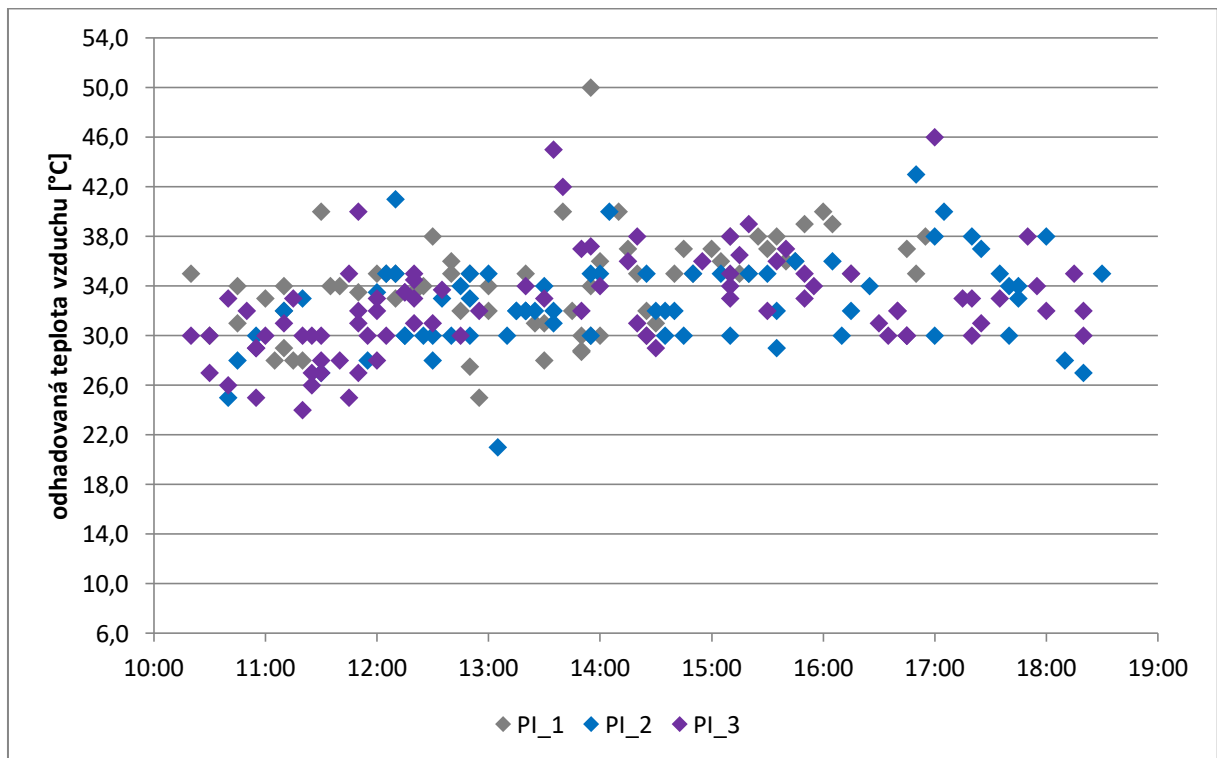
Obr. 5 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty na Horním náměstí v Olomouci dne 01. 08. 2018



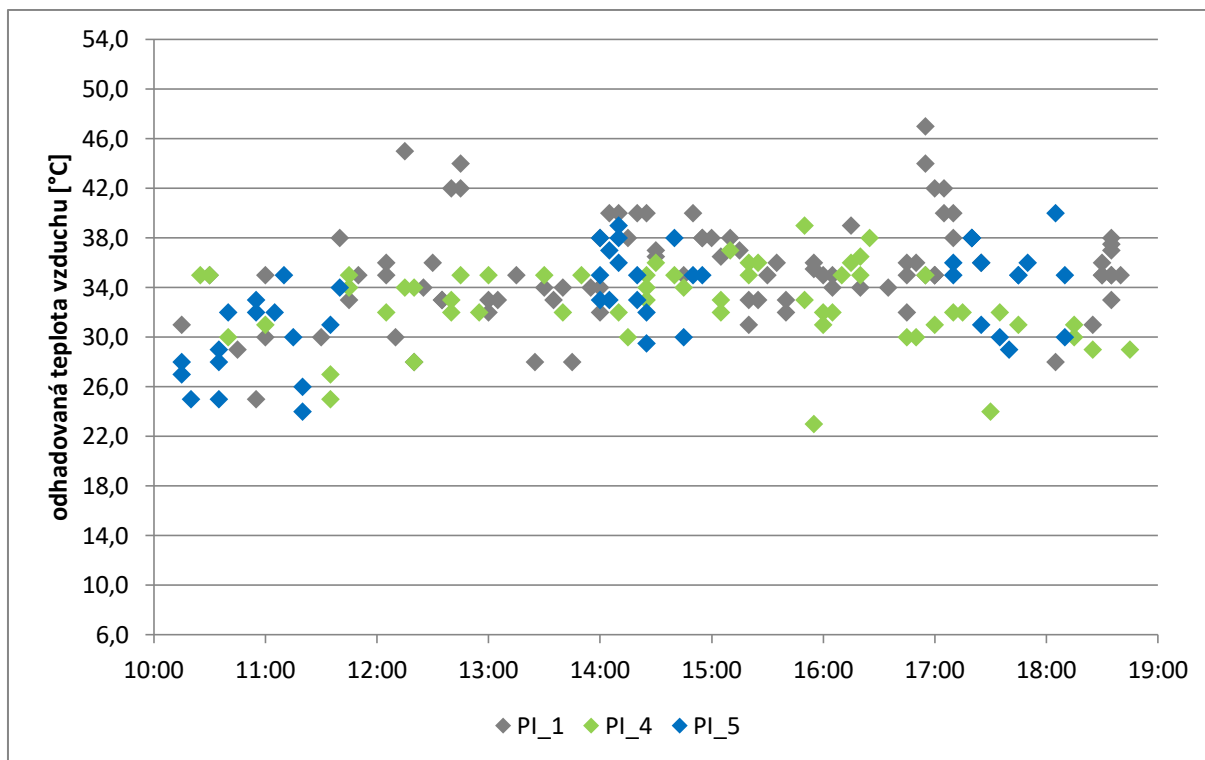
Obr. 6 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty na Masarykově náměstí v Ostravě dne 22. 08. 2018



Obr. 7 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty na Masarykově náměstí v Ostravě dne 09. 08. 2019



Obr. 8 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty na náměstí Republiky v Plzni dne 24. 07. 2019



Obr. 9 Odhady aktuální teploty vzduchu respondenty v Plzni dne 25. 07. 2019