

## Podivné chování UTCI při extrémně větrném počasí

Novák Martin<sup>1,2</sup>

<sup>1)</sup> ČHMÚ Praha, pobočka Ústí nad Labem, Kočkovská 18, 400 11 Ústí nad Labem

<sup>2)</sup> KFGG PrF UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2

### Abstract

The tests of the new index UTCI describing the thermal comfort of the human body conducted in 2010. These tests have focused on the UTCI behaviour during extreme weather conditions – the maximum and minimum temperatures, windy situations – between 2007 and 2010. There was possible to test of the UTCI behaviour on the real data in these years, because it took place in two significant episodes – hurricanes Kyrill and Emma in the Central Europe.

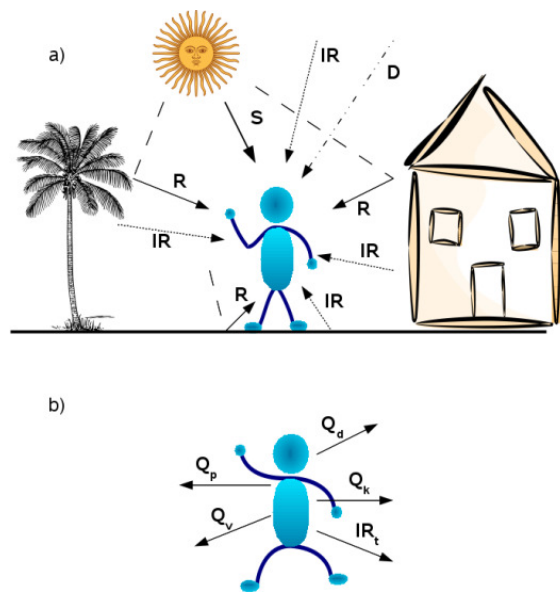
The UTCI was developed for use in the bioclimatology and biometeorology (including biometeorological forecasts). But there was found that the extreme wind speeds induce the non-regular UTCI values by these tests.

**Key words:** biometeorology, physiology, thermal comfort, UTCI

**Klíčová slova:** biometeorologie, fyziologie, tepelný komfort, UTCI

### Úvod

Tepelný komfort, resp. diskomfort, jsou jedněmi z hlavních faktorů vnějšího prostředí, které ovlivňují organismus člověka. Zatímco zdravý organismus se se změnami radiační a tepelné bilance povrchu těla dokáže s určitou přijatelnou setrvačností vyrovnat a obnova rovnováhy ho nestojí tolik energie, aby výrazněji narušila pohodu, organismus nemocných lidí reaguje na změny už mnohem obtížněji. Narušený termoregulační systém organismu nestíhá vyrovnávat změny vnějšího prostředí, zvyšuje se výdej energie k tepelné regulaci organismu



#### Členy radiační a tepelné bilance povrchu těla:

##### Příjmy:

- S ... přímé sluneční záření
- R ... odražené sluneční záření
- D ... rozptýlené sluneční záření
- IR ... souhrn přijímaného tepelného záření

##### Výdaje:

- IR<sub>t</sub> ... tepelné záření vyzařované povrchem těla
- Q<sub>d</sub> ... výměna tepla ventilací (dýcháním)
- Q<sub>k</sub> ... odvod tepla konvekcí
- Q<sub>v</sub> ... latentní teplo (dotace výparu)
- Q<sub>p</sub> ... pocení

vynakládány. Lidský organismus se přetěžuje – vzniká tepelný diskomfort.

*Obr. 1: Členy radiační a tepelné bilance povrchu těla rozdělené na příjmové (a) a ztrátové (b) složky.*

O tepelném komfortu, resp. diskomfortu rozhoduje – nebudeme-li počítat s procesy uvnitř lidského těla – zejména radiační a tepelná bilance povrchu těla. Ten je v bezprostředním kontaktu s vnějším prostředím, před kterým je chráněn jen na části plochy prostřednictvím oblečení. Volný povrch je pak bezprostředně ovlivňován teplotou okolního vzduchu, jeho vlhkostí, prouděním vzduchu (rychlostí proudění) a také radiačními poměry. Je přitom nutné brát v úvahu nejen krátkovlnné přímé sluneční záření, ale také souhrn přijímaného a vyzařovaného dlouhovlnného záření. Právě v dlouhovlnném oboru se přitom vytrácí dominantní postavení slunečního záření.

Tepelné záření totiž vydávají všechna tělesa

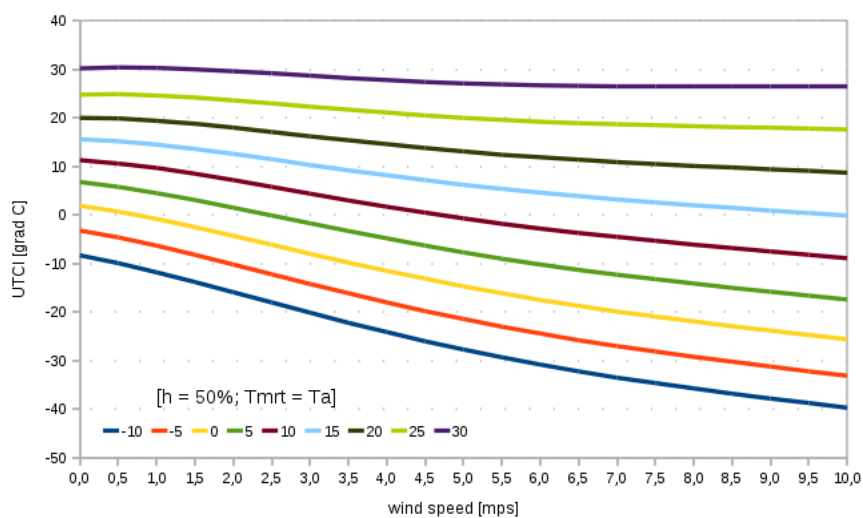
(přesněji všechna s teplotou vyšší než 0 K). Množství vyzážené energie je přitom výrazně závislé na teplotě povrchu objektu (pro absolutně černá tělesa je množství energie přímo úměrné čtvrté mocnině teploty, u těles s albedem  $A > 0$  se hodnota exponentu snižuje).

Vliv vnějšího prostředí na jednotlivé součásti radiační a tepelné bilance povrchu těla je už dlouhá desetiletí zkoumán. Jedním z výstupů těchto výzkumů jsou desítky a stovky různých biometeorologických indexů, které se

snaží komplexní vliv okolí popsat. Většina z těchto indexů počítá jen s některými ze jmenovaných faktorů, často dokonce jen s dvojicí teplota a vlhkost vzduchu nebo teplota a proudění vzduchu. Nedostatkem pro operativní použití podrobněji koncipovaných indexů je pak vstup údajů, které nejsou běžně k dispozici. To se týká hlavně informací o osobě, která je vnějšímu prostředí právě vystavena (oblečení, práce metabolismu, momentální fyzický výkon apod.).

### Materiál a metody

Snaha vyvinout široce respektovaný index, který by bylo možné používat v biometeorologii (operativní použití, včetně předpovědí) i v bioklimatologii (režimové použití, typicky bioklimatologické hodnocení lokality nebo mapování v mikro-, mezo- i makroměřítku, vedla k aktivitě Mezinárodní biometeorologické společnosti (ISB), která pro tyto účely založila v roce 1999 svou Komisi 6. V roce 2003 byla činnost skupiny převedena pod projekt COST 730, kolektiv vedl respektovaný Prof. Gerd Jendritzky. Výsledkem byl v roce 2009 uvolněný Universal Thermal Climate Index (UTCI), který zahrnoval všechny zmíněné faktory (teplotu, vlhkost i proudění vzduchu, a také záření). Hodnoty tohoto indexu (jeho vzorec je komplikovaným polynomem 6. řádu) je možné získat prostřednictvím kalkulátoru na <http://www.utci.org/>, možnou alternativou (a vhodnější variantou pro větší rozsah výpočtů) je užití SW Bioklima, v současnosti ve verzi 2.6.



Obr. 2: Závislost UTCI na rychlosti větru (pro  $v$  do  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) při konstantní vlhkosti vzduchu a při střední radiční teplotě rovné teplotě vzduchu.

Ze strany ISB je avizována snaha o standardizaci (v rámci norem ISO) indexu UTCI pro popis právě tepelného komfortu/diskomfortu. Proto je třeba v současné době provádět testy, zda je možné (a přínosné) používat tento index i pro praxi v České republice, konkrétně jako jeden ze vstupů pro biometeorologické předpovědi ČHMÚ. V minulosti už byly provedeny počáteční testy pro nejteplejší, resp. nejchladnější dny posledních let, tedy pro situace s extrémními teplotami. Do výpočtu vstupuje ale také rychlost proudění vzduchu. Proto se další testy orientovaly na epizody s maximálními rychlostmi větru.

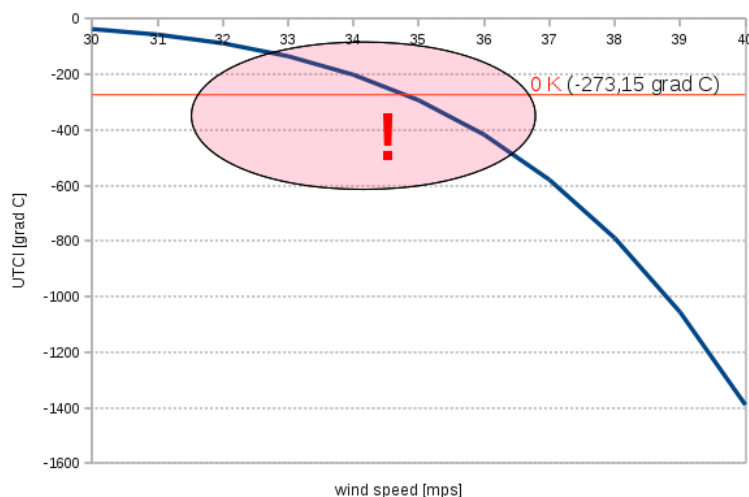
V lednu 2007 zasáhla celou střední Evropu mimotropická bouře, známá jako „orkán Kyrill“. Při ní byly dosahovány extrémní hodnoty rychlostí větru, a to nejen v nárazech, ale i v krátkodobých průměrech. Proto byla právě tato epizoda vybrána pro testování UTCI. Už na Obr. 2 je znát, že se se zrychlujícím prouděním významně snižuje hodnota UTCI, tedy že je výrazně zastoupen faktor zchlazování povrchu těla větrem. V případě „Kyrilla“ ale dosahoval vítr podstatně vyšších rychlostí než  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , což je horní hranice na uvedeném grafu. Proto byly přidány teoretické výpočty při vyšších rychlostech.



Obr. 3: Závislost UTCI na rychlosti větru (pro  $v$  do  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

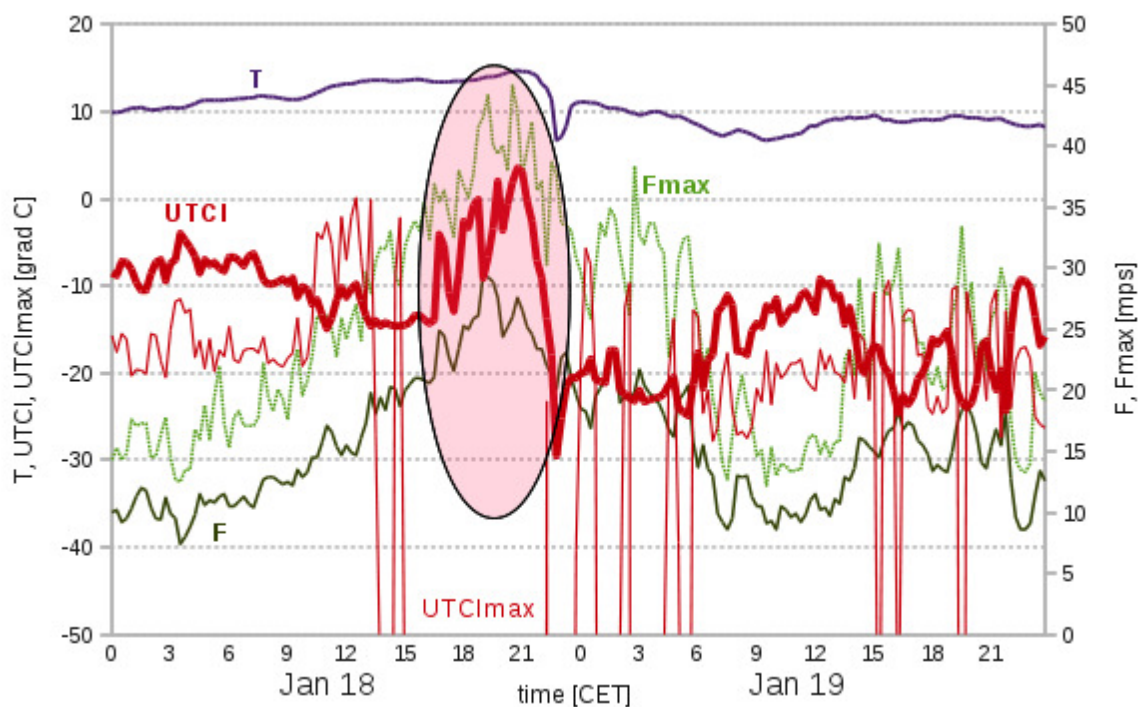
Už při zvoleném rozsahu rychlostí větru (ve všech případech se jedná o rychlost větru ve výšce 10 m, tedy charakteristika přímo měřená na meteorologických stanicích) do  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se projevil problém s konstrukcí UTCI pro vyšší rychlosti. Vzestup ekvivalentní teploty (což vlastně UTCI je) při rychlostech větru zhruba mezi 20 až  $28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  není fyzikálně odůvodněný. Princip zchlazování (vyšší míry odvodu tepla od povrchu těla) zůstává v reálu zachován. Přesto ve vyznačené oblasti dochází k nárůstu hodnot UTCI, který je při rychlostech vyšších než  $28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  vystřídán prudkým poklesem. Tempo tohoto poklesu je příliš velké, pro rychlosti větru mezi 28 až  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se UTCI v našem konkrétním případě ( $T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{mrt}} = T$ ,  $h = 50 \%$ ) sníží o téměř  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Při pohledu na Obr. 3, konkrétně na ten rychlý pokles UTCI v pravé části grafu, se sama nabízí otázka, co se děje s UTCI při rychlostech větru překračujících hranici  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Takové rychlosti sice nejsou v České republice obvyklé, průměrné rychlosti dosahují těchto hodnot jen výjimečně na hřebenech hlavně severních pohoří, ale nejsou ani vyloučené. V nárazech (tedy v krátkodobých maximech při turbulentním charakteru proudění) bývá tento limit překračován místy i v nižších polohách. V průběhu „Kyrilla“ byla hranice rychlosti nárazů větru  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  překročena na mnoha stanicích.



Obr. 4: Závislost UTCI na rychlosti větru (pro  $v$  od 30 do  $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Z Obr. 4 vyplývá fyzikálně nesmyslné chování UTCI při rychlostech větru přes  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Teplota žádného objektu nemůže klesnout pod 0 K. Přesto je na grafu zachycen pokles UTCI pod tuto teoretickou hranici při rychlosti blízké  $35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Z hlediska průměrné zátěže není toto nestandardní chování významné, tak vysoké průměrné rychlosti nejsou v našich podmínkách reálné, ale v případě nárazů větru – a tedy z hlediska špičkové krátkodobé zátěže organismu – už tuto chybu UTCI není možné ignorovat. Tento fakt dokumentuje i srovnání UTCI (indexu počítaného z průměrné rychlosti větru za 15 minut) a UTCImax (indexu počítaného z maximální okamžité rychlosti větru v dané čtvrtodině) na Obr. 5.



Obr. 5: Průběh UTMCI (s použitím 15-ti min. průměrných rychlostí větru  $F$ ) a  $UTMCI_{max}$  (pro maximální rychlosti větru v daném 15-ti min. intervalu  $F_{max}$ ) v průběhu „orkánu Kyrill“ (stanice Praha – Karlov).

### Diskuse a závěry

Fyzikálně je zcela přirozené, že se stoupající rychlostí větru (proudění vzduchu v bezprostřední blízkosti povrchu těla) se zvětšuje odvod tělesného tepla do okolí. Jednotlivé molekuly vzduchu přebírají teplo od povrchu těla, částečně se ohřejí, ale následně jsou větrem transportovány mimo bezprostředně přilehlou vrstvu. Na jejich místo přichází jiné molekuly, opět s větším teplotním rozdílem. S rostoucí rychlostí výměny molekul se tok (odvod) tepla zvětšuje. Tento přirozený jev ale není indexem UTMCI při rychlostech větru převyšujících  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  respektován. Hodnoty UTMCI se zvyšující se rychlostí větru v intervalu přibližně mezi  $20$  až  $28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  rostou, což je v rozporu s předchozím výkladem. Vzhledem k tomu, že množství odváděného tepla z povrchu těla se nemůže stále přímočaře zvyšovat, je očekávané s rostoucí rychlostí větru zpomalení nárůstu odvedeného množství tepla. Tomu by odpovídal zpomalující se pokles hodnot UTMCI.

Ani při rychlostech nad  $28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se ale neobnovuje přirozený průběh hodnot UTMCI. Po předchozím vzestupu začínají tentokrát hodnoty indexu s rostoucí rychlostí větru strmě klesat. Při rychlostech kolem  $35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (konkrétní hodnota je samozřejmě závislá na ostatních parametrech) dokonce klesá až pod  $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$  (tedy  $0 \text{ K}$ ). Takový průběh odporuje nejen fyzikálním, ale také biologickým a fyziologickým předpokladům. Reálný organismus by podle UTMCI přestal existovat (žít) už při rychlostech větru nižších než  $35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Jak ale dokazuje Obr. 5, při „orkánu Kyrill“ ale byly podobné hodnoty – alespoň v okamžitých maximech rychlosti – dosahovány. Z výše uvedeného zjevně vyplývá, že při rychlostech větru převyšujících  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se stává UTMCI nepoužitelným. Tento problém byl konzultován s Prof. Krzysztofem Błażejczykem, který je členem kolektivu, který index vyvíjel. Stanovisko autorů je takové, že do odstranění problému doporučují při rychlostech větru nad  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dosazovat místo reálné rychlosti konstantu rovnou právě  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Toto řešení – byť nestandardní – by umožnilo popisovat i tyto situace. Sice s chybou narůstající se zvětšujícím se rozdílem reálné rychlosti a zvolené konstanty, ale v přímé aplikaci pro účely biometeorologické předpovědi by byla tato chyba tolerovatelná. Důvodem je fakt, že už při rychlosti větru  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  je organismus natolik stresován, že další nárůst stresu už je nepodstatný, předpovídaná zátěž by se i s tímto zjednodušením blížila nebo rovnala nejvyššímu stupni zátěže.

### Literatura

- Błażejczyk K. et al., 2010. Nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka. Przegląd geograficzny, 82(1), ss. 49-71.  
 Novák M., 2011. UTMCI – first test in the Czech republic. Prace i studia geograficzne, WGiSR UW, 47, pp. 319-325.