

Dopady stresu z horka na úmrtnost v ČR: srovnání synoptického a tradičního přístupu

Impacts of heat stress on mortality in the Czech Republic: comparison of synoptic and 'traditional' approaches

Kyselý Jan (1), Huth Radan (1), Kříž Bohumír (2)

(1) Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, ČR; (2) Státní zdravotní ústav, Praha, ČR

Abstract

Heat stress leads to a considerably increased all-causes mortality and mortality due to cardiovascular diseases in the Czech Republic. This contribution compares two different approaches applied in the evaluation of heat stress related mortality: a traditional one, based on regressions between individual meteorological variables and indices (like heat index) with mortality, and a synoptic one, which links mortality to objectively determined air masses, taking into account the entire weather situation rather than single elements.

Various methods of the cluster analysis and of final forming of the air masses were tested in the classification procedure; all classifications comprise an 'offensive' air mass which is associated with a pronounced increase in mortality. It is characterized by elevated temperatures, small cloud cover and a relatively strong flow with the southern component. The results demonstrate that the air mass based approach can be applied in central European conditions and is a suitable alternative to the traditional methods in assessing impacts of heat stress on mortality.

Key words: mortality - heat stress - air masses - cluster analysis - Czech Republic

1. Úvod

Zvýšená úmrtnost a nemocnost spojená se stresem z horka představuje jednu z hlavních oblastí dopadů klimatických extrémů na společnost (Wigley, 1985). Největší počet úmrtí souvisejících s horkem je soustředěn do velkoměst mírných a subtropických oblastí, ohroženými skupinami jsou zvláště starší lidé, malé děti a lidé dlouhodobě nemocní. Většina úmrtí je spojena se zhoršením chronického onemocnění, nejčastěji kardiovaskulárního, mozkového cévního nebo nemoci dýchacího ústrojí.

Fyziologické dopady ve velké míře závisí i na dalších proměnných kromě teplotních: vyplývají také z velké vlhkosti vzduchu, nedostatku ventilace a silné sluneční radiace, a teplota tedy představuje pouze jeden z dílčích faktorů. Často se proto věnuje pozornost tzv. heat indexu, který odráží schopnost lidského těla disipovat teplo (mj. Davies et al., 2002; Smoyer et al., 2000b). Zavedl jej Steadman (1979) jako index úhrnného vlivu teploty a dalších prvků (relativní vlhkosti, rychlosti proudění a sluneční radiace) na člověka. Navrženy byly i další biometeorologické indexy popisující dopady horkých období. Naproti tomu Kalkstein (1993) shrnuje výsledky studií týkajících se úmrtnosti při horkých vlnách se závěrem, že vysoká teplota sama o sobě má dominantní efekt a faktory jako relativní vlhkost nebo rychlost větru jsou za takové situace nepodstatné.

Komplexnější popis vztahu úmrtnosti a počasí umožňuje tzv. synoptický přístup založený na objektivní klasifikaci vzduchových hmot, který bere v úvahu celkovou povětrnostní situaci (Kalkstein, 1991; Kalkstein

a Greene, 1997; Smoyer et al., 2000a). Klasifikace vzduchových hmot vychází z běžných přízemních meteorologických prvků (teploty vzduchu, teploty rosného bodu, oblačnosti, tlaku vzduchu, rychlosti a směru větru). K typizaci vzduchových hmot může být využito např. analýzy hlavních složek (redukce počtu proměnných) a shlukové analýzy (vlastní vytvoření typů) nebo alternativních postupů. Vzduchové hmoty, související se zvýšenou úmrtností, bývají označovány jako „obtížné“ (offensive). Metoda byla aplikována především v USA, kde popisuje vztah mezi úmrtností a počasím lépe než v případě využití jakéhokoli jednotlivého prvku nebo jejich kombinace (Smoyer et al., 2000a). Možnost její aplikace v jiných částech světa dosud nebyla detailněji diskutována.

Cílem tohoto příspěvku je vyhodnocení možností využití synoptického přístupu založeného na klasifikaci vzduchových hmot pro popis úmrtnosti ve středoevropských podmínkách, a jeho srovnání s tradičním přístupem, vycházejícím z jednotlivých meteorologických prvků a indexů.

2. Data a metody

a. Data o úmrtnosti

Denní počty úmrtí v ČR poskytl Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR v Praze. Za analyzované období 1992-2000 byla k dispozici celková úmrtnost a úmrtnost na kardiovaskulární nemoci. Pro každý den byl stanoven normálový počet úmrtí odstraněním dlouhodobého trendu (pokles úmrtnosti v důsledku společensko-ekonomických změn) a ročního a týdenního chodu (blíže viz Kyselý a Kříž, 2003); odchylka úmrtnosti od takto stanoveného normálu je pro naše účely vhodnější charakteristikou úmrtnosti než denní počet úmrtí.

b. Klimatická data

Denní klimatická data poskytl ČHMÚ v Praze. Jako reprezentativní pro území ČR byly zvoleny stanice Klatovy, Praha-Ruzyně, Hradec Králové, Brno-Tuřany a Ostrava-Mošnov, z jejichž údajů byla vytvořena průměrná řada pro ČR. K dispozici byly za období 1992-2000 teplota, relativní vlhkost, oblačnost, směr a rychlost větru a tlak vzduchu, vždy v termínech 7, 14, 21 hod.

c. Klasifikace vzduchových hmot

Vstupními proměnnými pro klasifikaci vzduchových hmot byly teplota, deficit rosného bodu, zonální vítr, meridionální vítr, oblačnost a tlak, všechny v termínech 7, 14 a 21 hod. Tato sestava meteorologických proměnných je obdobná jako v jiných pracích (např. Smoyer et al., 2000a). Klasifikace byla provedena pro měsíce červen-srpen, kdy se vyskytují prakticky všechny dny s výrazně zvýšenou úmrtností v letním půlroku (Kyselý a Kříž, 2003). Vstupními proměnnými byly v prvním případě průměrná řada prvků pro ČR, ve druhém řady ze všech stanic uvažované společně; vzhledem k malému území jsou však rozdíly v těchto klasifikacích zanedbatelné. Diskutované výsledky se budou týkat klasifikace vycházející z průměrné řady vstupních proměnných pro ČR.

Vzhledem k tomu, že vstupní proměnné jsou lineárně závislé a že metody shlukové analýzy obecně vyžadují pro své správné fungování lineární nezávislost vstupních proměnných, byly tyto proměnné podrobeny nerotované analýze hlavních složek (PCA). Časové řady skóre hlavních složek pak byly vstupními proměnnými shlukové analýzy (Gong a Richman, 1995), která byla provedena v obou svých hlavních variantách, hierarchické (metoda 'between group average linkage') a nehierarchické (metoda 'k-means').

U metody average linkage (použité např. v Smoyer et al., 2000a) se výrazně projevuje nežádoucí tzv. efekt sněhové koule; vzniká jeden velký klastr, na nějž se přibalují menší klastry, čím dál tím více nepodobné

průměru. K odstranění tohoto efektu byl aplikován přístup ukončení klastrace na různých úrovních nepodobnosti v různých částech dendrogramu - viz např. Huth et al. (1993), Serrano et al. (1999). Jednotlivé „rozumné“ klastrace (dávající 12 a 18 vzduchových hmot pro průměrnou řadu pro ČR) jsou vytvořeny spojováním klastrů ze „základní“ klastrace, vzniklé ukončením shlukování na jedné hladině nepodobnosti v celém souboru.

Výsledkem metody k-means jsou naproti tomu klastry srovnatelné velikosti; nevýhodou je, že jsou méně kompaktní (tj. mají větší „vnitroshlukovou“ proměnlivost oproti jiným metodám). Na rozdíl od metody average linkage je počet klastrů dán předem; zde to bylo 6, 10 a 15 vzduchových hmot.

3. Výsledky

a. Analýza úmrtnosti ve vztahu k jednotlivým meteorologickým prvkům

Hlavní závěry analýzy úmrtnosti ve vztahu k jednotlivým meteorologickým prvkům, zejména teplotě a indexům zahrnujícím vlhkost vzduchu, lze shrnout do následujících bodů (podrobněji viz Kyselý a Kříž, 2003):

- Situace s nejvyšší nadnormálovou úmrtností jsou (v celoročním měřítku) vedle epidemií infekčních onemocnění horké vlny; rozdělení dnů s nejvyšší odchylkou úmrtnosti od normálu v roce je bimodální, s hlavním maximem v zimě a podružným v létě. Letní dny s vysokou úmrtností jsou téměř výhradně dny teplotně nadnormální.
- Odchytky od normálu ve vrcholech horkých vln mohou přesahovat v populaci ČR 100 úmrtí denně, což znamená více než třicetiprocentní relativní nárůst. Odchytky celkové úmrtnosti od normálu v horkých vlnách v létě 1994 činila 17.-30.6. +456 úmrtí (+10.3%) a 24.7.-8.8. +598 úmrtí (+12.3%), ještě výraznější byl relativní nárůst úmrtnosti na kardiovaskulární nemoci.
- Důležitou roli hraje efekt posunu úmrtnosti, který vysvětluje 52% (48%) zvýšené úmrtnosti v červnové (červencové-srpnové) horké vlně v roce 1994. Lidé, kteří by zemřeli brzy bez ohledu na počasové podmínky, tak tvořili zhruba polovinu z celkového počtu obětí, což je hodnota vyšší než v obdobných studiích ve světě.
- Úmrtnost spojenou s horkem lze zřetelně sledovat při $T_{MAX} \geq 25^{\circ}C$, $T_{AVG} \geq 18^{\circ}C$, $T_{MIN} \geq 14^{\circ}C$ i odchylce T_{MAX} , T_{AVG} a T_{MIN} od ročního chodu $\geq +3^{\circ}C$; obdobné prahové hodnoty platí i pro úmrtnost na kardiovaskulární nemoci.
- Nárůst úmrtnosti při vyšších teplotách je výrazně strmější u žen než u mužů.
- Závislosti mezi úmrtností a teplotními proměnnými, resp. heat indexem jsou kladné a statisticky významné, silnější pro odchylky meteorologických proměnných od ročního chodu, pro ženskou populaci než pro mužskou a pro heat index než pro jakoukoli teplotní proměnnou.
- Korelace jsou nejsilnější pro zpoždění 0 dnů. Kladné hodnoty platí pouze pro zpoždění úmrtnosti za teplotou 0-3 dny, pro posun 4-25 dnů je korelace záporná a pro většinu případů statisticky významně odlišná od nuly, což demonstruje efekt posunu úmrtnosti a jeho časový dosah.

b. Analýza úmrtnosti ve vztahu ke vzduchovým hmotám

Z analýzy byly vyloučeny vzduchové hmoty (VH) s četností výskytu $<2.5\%$; počty typů v uvažovaných 5 klasifikacích jsou po této redukci 9, 12 (hierarchická shluková analýza), 6, 10 a 14 (nehierarchická shluková analýza). Ve všech 5 klasifikacích se vyskytuje alespoň jedna VH, kterou lze označit podle terminologie zavedené Kalksteinem (1991) jako obtížnou a je provázána významným zvýšením úmrtnosti (tab. 1);

průměrná odchylka celkové denní úmrtnosti od normálu v ní činí 20-30 úmrtí. Tato VH je ve všech klasifikacích charakterizována

1. vysokými teplotami - průměrná TMAX (TAVG) přesahuje ve všech klasifikacích 30°C (23°C),
2. malou oblačností - 2 až 4 desetiny; obvykle nejmenší mezi VH,
3. silným prouděním, v klasifikaci s 12 typy dokonce nejsilnějším (přes 5 m/s), přičemž dominantní je výrazná jižní složka, průměrně 2.6-3.7 m/s.

Poněkud překvapivě tuto VH necharakterizuje vysoká vlhkost vzduchu (měřeno teplotou rosného bodu).

V klasifikacích s 12 a 14 typy se vedle hlavní obtížné VH objevuje podružná, s nižším, ale výrazným nárůstem úmrtnosti (průměrně 18, resp. 22 úmrtí nad normálem denně). Jsou pro ni charakteristické poněkud nižší teploty (TMAX 28°C, TAVG 21°C), větší oblačnost a vyšší teplota rosného bodu.

Četnost obtížné VH je v jednotlivých výše uvedených klasifikacích postupně 5%, 5%, 16%, 12% a 9%; tato čísla rovněž demonstrují odlišnost obou metod shlukové analýzy (tendence k vytváření podobně velkých klastrů při k-means nehierarchické metodě - četnost typu zhruba odpovídá podílu 100%/celkový počet klastrů). Nižším četnostem při použití average-linkage metody také odpovídá vyšší nárůst úmrtnosti v obtížné VH; nelze však jednoznačně říci, že by tato metoda byla vhodnější, neboť charakteristiky obtížné VH jsou ve všech klasifikacích velmi podobné.

Podíl obtížných VH na zvýšené úmrtnosti je průkazný rovněž při použití koeficientu, který dává do podílu relativní výskyt VH v 50 dnech s nejvyšší nadnormálovou úmrtností za celé analyzované období a klimatologickou četnost VH (hodnota vyšší než 1 znamená, že zastoupení dané VH je v 50 dnech s nejvyšší úmrtností zvýšené). Pro obtížné VH je tento koeficient v rozmezí 3.4-5.2, pro podružné obtížné VH 3.0-3.9; pokud bychom zvolili velikost tohoto koeficientu >2.0 jako kritérium pro obtížnou VH (srov. Smoyer et al., 2000a), dostáváme pro klasifikaci se 14 typy podružně obtížné VH dvě, pro druhou je tento koeficient roven 2.9 a průměrné zvýšení denního počtu úmrtí činí 13.5. I pro tuto VH jsou charakteristické poměrně vysoké teploty a oproti hlavním obtížným VH větší vlhkost vzduchu. Za zmínku stojí také skutečnost, že velikosti takto sestaveného koeficientu jsou pro obtížné vzduchové hmoty v ČR vyšší než např. v práci Smoyer et al. (2000a) pro vybraná města v USA.

Tab. 1: Průměrné charakteristiky vzduchových hmot pro 2 vybrané klasifikace. Tučně jsou označeny obtížné vzduchové hmoty; úmrtnosti jsou vyjádřeny jako odchylky od normálu. VH označuje vzduchovou hmotu, TMAX (TMIN, TAVG) maximální (minimální, průměrnou) denní teplotu, Td14 teplotu rosného bodu ve 14 hod, OBL14 oblačnost ve 14 hod, VRY14 rychlost větru ve 14 hod, VMER14 rychlost meridionálního větru ve 14 hod.

a. average-linkage, 12 typů s četností >2.5%

VH	četnost [%]	úmrtnost celková	úmrtnost kardio	TMAX [°C]	TMIN [°C]	TAVG [°C]	Td14 [°C]	OBL14	VRY14 [m/s]	VMER14 [m/s]
1	20.1	8.2	4.3	27.8	12.9	20.9	12.2	4.0	3.4	2.1
2	17.2	-1.4	-0.4	23.3	13.2	17.5	13.3	7.4	3.6	2.3
3	15.5	-8.3	-4.5	20.3	11.7	15.3	10.6	7.9	4.6	1.1
4	7.3	0.0	0.1	24.5	12.0	18.3	12.2	6.0	2.9	0.7
5	7.0	-1.8	-0.6	27.7	11.7	20.5	10.2	3.3	3.2	0.2
6	5.4	0.3	0.1	23.6	12.4	17.9	13.5	7.7	3.6	1.9
7	4.6	30.2	15.1	30.8	15.4	23.3	12.9	3.6	5.2	3.7
8	4.5	-16.7	-6.2	19.8	9.9	14.5	7.1	6.7	5.0	-1.3
9	4.0	-11.8	-4.4	21.6	10.5	16.0	8.3	5.8	3.6	0.7
10	2.9	-11.0	-6.5	24.9	9.3	18.1	8.5	3.0	3.2	-0.3
11	2.7	17.9	8.2	28.5	13.5	21.4	13.3	4.8	3.6	2.3

12 | 2.5 | -13.8 -7.9 | 18.5 11.4 14.6 11.7 8.9 3.4 0.9

b. k-means, 14 typů s četností >2.5%

VH	četnost [%]	úmrtnost celková	úmrtnost kardio	TMAX [°C]	TMIN [°C]	TAVG [°C]	Td14 [°C]	OBL14	VRY14 [m/s]	VMER14 [m/s]
1	10.1	-10.4	-5.8	20.8	11.9	15.6	11.7	7.9	4.0	1.9
2	9.4	26.0	13.7	31.6	14.2	24.0	12.6	2.4	3.8	2.6
3	9.1	13.5	7.0	27.9	14.1	21.1	13.9	4.9	3.7	2.8
4	8.8	-4.2	-2.6	26.1	11.1	19.3	10.2	3.6	2.9	0.9
5	8.6	2.7	2.6	25.1	12.4	18.7	12.3	5.8	3.0	1.4
6	8.1	-13.0	-5.9	19.5	10.1	14.4	7.4	7.0	4.8	-0.8
7	7.5	-4.4	-3.8	21.2	11.9	16.2	12.3	7.9	3.0	1.4
8	6.5	-4.5	-1.8	27.8	11.6	20.2	9.9	3.1	3.6	-0.7
9	6.4	-9.3	-5.8	20.2	12.3	15.4	11.4	8.2	4.9	1.0
10	6.2	-0.1	0.5	23.6	13.7	17.9	14.7	8.1	3.4	2.6
11	5.0	-8.9	-4.2	23.1	10.9	17.2	8.8	5.4	3.9	0.9
12	4.7	4.8	1.9	25.5	13.7	19.2	12.6	6.3	5.7	3.1
13	3.7	-11.1	-9.4	22.3	11.3	16.9	12.0	6.8	3.3	0.2
14	3.6	21.7	13.2	28.4	13.9	21.3	14.0	5.3	4.0	2.6

4. Závěr

Stres z horka vede k významně zvýšené celkové úmrtnosti a úmrtnosti na kardiovaskulární nemoci v ČR. V tomto příspěvku je provedeno srovnání dvou odlišných přístupů používaných při analýze úmrtnosti související s horkem: tradičního, založeného na regresní analýze mezi jednotlivými meteorologickými proměnnými (teplotou, heat indexem apod.) a úmrtností, a synoptického, který dává do souvislosti úmrtnost s objektivně určenými vzduchovými hmotami a bere tak v úvahu spíše celkovou povětrnostní situaci než jednotlivé prvky.

Testovány byly různé metody shlukové analýzy a konečného vytvoření vzduchových hmot; výsledkem všech klasifikací je alespoň jedna vzduchová hmota, kterou je možné označit za „obtížnou“ a která je provázána výrazně zvýšenou úmrtností. Charakteristické jsou pro ni vysoké teploty, malá oblačnost a poměrně silné proudění s jižní složkou. Synoptický přístup založený na vzduchových hmotách je ve středoevropských podmínkách aplikovatelný a představuje vhodnou alternativu ke klasickým modelům dopadů horkých období na úmrtnost.

Klíčová slova: úmrtnost - stres z horka - vzduchové hmoty - shluková analýza - ČR

Poděkování: Práce vznikla v rámci projektu 205/01/D040 podpořeného Grantovou agenturou ČR.

Literatura:

- Davis R.E., Knappenberger P.C., Novicoff W.M., Michaels P.J., 2002: Decadal changes in heat-related human mortality in the eastern United States. *Clim. Res.*, 22, 175-184.
- Gong X., Richman M.B., 1995: On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America east of the Rockies. *J. Climate*, 8, 897-931.
- Huth R., Nemešová I., Klimperová N., 1993: Weather categorization based on the average linkage clustering technique: An application to European mid-latitudes. *Int. J. Climatol.*, 13, 817-835.
- Kalkstein, L.S., 1991: A new approach to evaluate the impact of climate upon human mortality. *Environ. Health Perspect.*, 96, 145-150.

- Kalkstein, L.S., 1993: Health and climate change: direct impacts in cities. *Lancet*, 342, 1397-1399.
- Kalkstein L.S., Greene J.S., 1997: An evaluation of climate/mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of climate change. *Environ. Health Perspect.*, 105, 84-93.
- Kyselý J., Kříž B., 2003: Vysoké letní teploty a úmrtnost v ČR v letech 1982-2000. *Epidemiol. Mikrobiol. Imunol.* (v tisku)
- Serrano A., García J.A., Mateos V.L., Cancillo M.L., Garrido J., 1999: Monthly modes of variation of precipitation over the Iberian Peninsula. *J. Climate*, 12, 2894-2919.
- Smoyer K.E., Kalkstein L.S., Greene J.S., Ye H., 2000a: The impacts of weather and pollution on human mortality in Birmingham, Alabama and Philadelphia, Pennsylvania. *Int. J. Climatol.*, 20, 881-897.
- Smoyer K.E., Rainham D.G.C., Hewko J.N., 2000b: Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996. *Int. J. Biometeorol.*, 44, 190-197.
- Steadman R.G., 1979: The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *J. Appl. Meteor.*, 18, 861-873.
- Wigley T.M.L., 1985: Impact of extreme events. *Nature*, 316, 106-107.

Kontaktní adresa: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D., Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Boční II 1401, 141 31 Praha 4, ČR; fax: +420 272 763 745; e-mail: honza@ufa.cas.cz