
Průměrné teploty vytrvale rostou, a v poslední době příliš rychle

Průměrné teploty vytrvale rostou, a v poslední době příliš rychle

Vědec a pedagog **Jaromír Antoch** z MFF UK analyzoval spolu s kolegyní z Fakulty stavební ČVUT Danielou Jaruškovou veškeré doposud naměřené hodnoty teplot z pražského Klementina a za použití pokročilých statistických metod mimo jiné prokázali, že v posledních zhruba třiceti letech vzrůstá průměrná roční teplota výrazně rychleji než v letech 1837-1987. Studii publikovali v prestižním časopise [Environmetrics](#).



Není to zvláštní, že jste první, koho napadlo zanalyzovat údaje teplot z pražského Klementina?

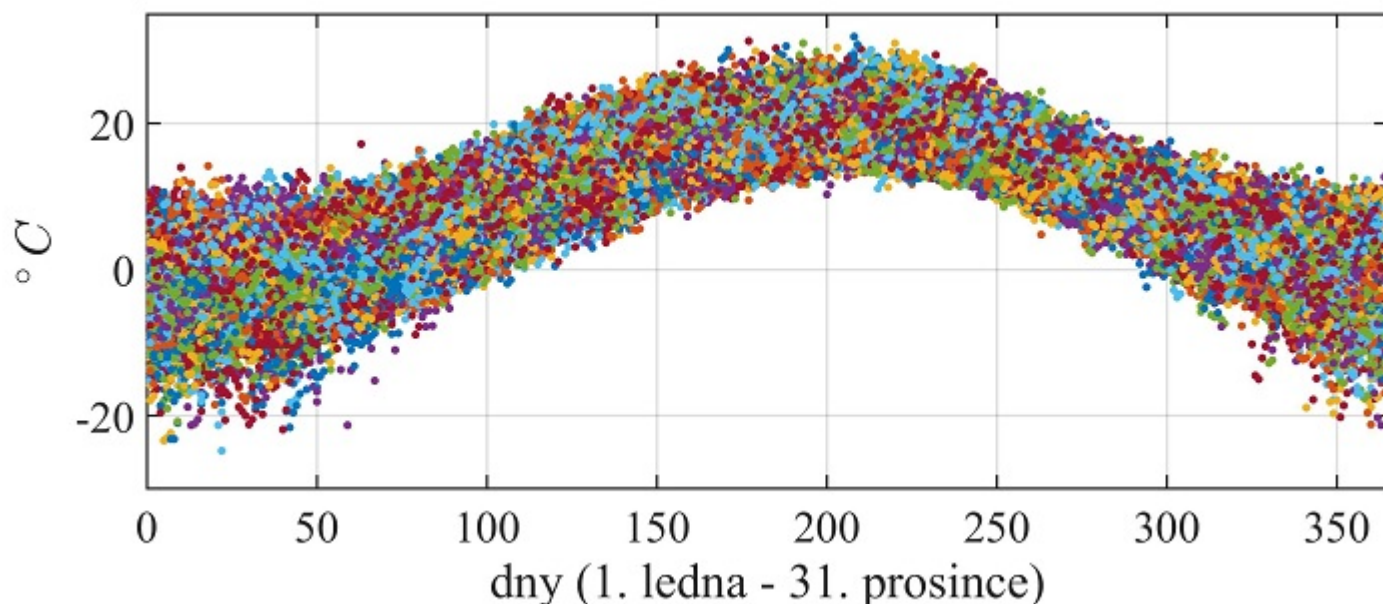
Určitě nejsme ani první, ani poslední, koho to napadlo. Jako první jsme ale zrealizovali takovouto komplexní studii za použití metod detekce změn statistických modelů, což je metodika, na které spolu s dalšími kolegy především na MFF UK pracujeme již více než dvacet let. Ono se to nabízelo, neboť pro námi vyvíjené metody jsou naměřené teploty více než vítaná a zajímavá ilustrace.

V čem jsou data z Klementina unikátní?

Především tím, jak jsou kompletní. Údajů, které od počátku měření 1. ledna 1775 chybí, je naprosté minimum. Měření teploty a tlaku vzduchu zde probíhala zpočátku dvakrát denně. Na konci 19. století se pozorovalo třikrát denně v mezinárodních termínech v 7, 14 a 21 hodin. Důležité je, že měření byla prováděna a data z nich byla po celou dobu sbírána na jednom místě. Postupem času bylo třeba měřicí přístroje obnovovat, a našim předkům se podařilo nové teploměry vyrobit, nastavit a seřadit tak, že příslušná měření dokonale navazovala na ty předešlé. Vždy mne fascinovalo, jak přesně naši předci dokázali měřit již před 250 lety.

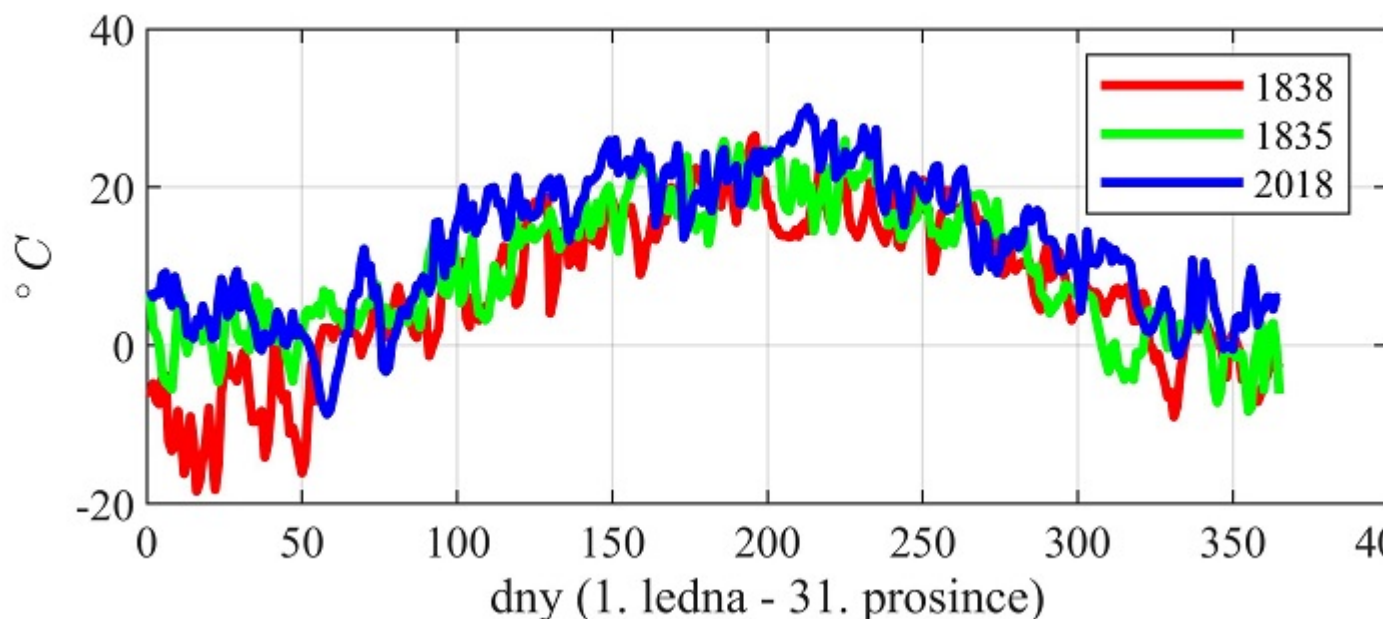
V předpovědi počasí často slyšíme, že například v roce xxxx bylo v daný den o deset stupňů chladněji či naopak. Laikovi tak může připadat, že k žádným dlouhodobým změnám nedochází.

Bojím se, že přes poměrně velkou publicitu má řada lidí o datech z Klementina jen vágní představu. Ostatně, podívejte se na **obrázek 1**, kde jsou zobrazeny denní průměrné teploty zaznamenané za oněch 245 let. Jakkoliv se to nezdá, těch datových bodů (jednotlivé průměrné denní teploty) je tam téměř 90 000. Vidíte, že se jedná o více než široký pás hodnot, který má v zimě větší rozpětí než v létě. A ty vaše zmíněné stupně se tam ztratí jako nic.



Co s tím?

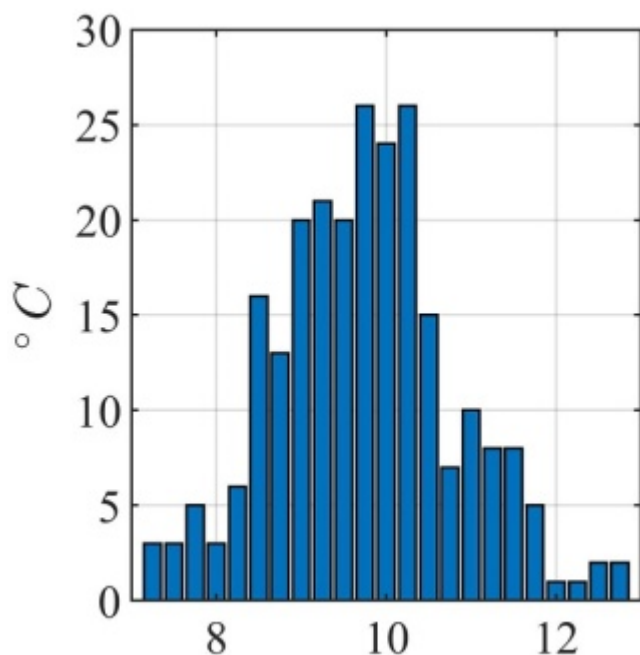
Jelikož obrázek 1 nic nevyovídá o průběhu měřených hodnot během jednotlivých let (ročním chodu měření), jsou na **obrázku 2** pro zajímavost zobrazeny tři vybrané roční průběhy denních průměrných teplot klementinské řady. Zatímco rok 1838 byl z hlediska průměrných ročních teplot nejstudenější (7,24 °C) a rok 2018 naopak nejteplejší (12,78 °C), rok 1835 odpovídá výběrovému mediánu (9,75 °C). To znamená, že během sledovaných 245 let byla polovina průměrných ročních teplot menší a polovina větší než v roce 1835. Při poměrně velké variabilitě dat je dobré si uvědomit, že extrémní výkyvy nevyovídají nic o tom, zda dochází k dlouhodobému oteplování či ne. Podstatné je, zda se dlouhodobě pohybují okolo konstantní úrovně.



K čemu jste dospěli?

Ukázali jsme, že řada ročních průměrných teplot klementinské teplotní řady stacionární není, a to ať již se na stacionaritu díváte z různých pohledů. Ilustrovali jsme také, že odhady času změn jsou podstatně ovlivněny předpokládaným typem modelu. Zdánlivě zřejmá věc, na kterou ale podle našich zkušeností mnoho lidí analyzujících data zapomíná. Podobně jako ve známém filmu Jáchyme, hoď ho do stroje, data „nasypou do počítače“ a software, který má výzkumník k dispozici, „obratem“ odhadne parametry zvoleného modelu a nabídne tabulky plné čísel a grafy. Pak se dělají závěry, a bohužel i tehdy, když se pro daná data vůbec nehodí ani metoda ani model, podobně jako ve zmíněném filmu.

Jak tedy teplota roste, respektive jak se mění sezonní cyklus?



Po celou dobu měření se průměrná roční teplota pohybuje mezi sedmi a třinácti stupni a nejčastěji je trochu přes devět a půl stupně, viz **obrázek 3**, zatímco průměrná teplota za 245 let byla 9,74 °C. Okolo této hodnoty lze pozorovat různé náhodné výkyvy, teplotní rekordy, trendy... Nicméně zatímco průměrná roční teplota klementinské teplotní řady v letech 1988-2019 rostla každoročně o 0,0486 stupně Celsia za rok, v letech 1837-1987 to bylo „jenom“ 0,009 stupně Celsia za rok. Z našich analýz sezonního cyklu pak vyplývá, že změna nemá tvar posunu ve střední hodnotě očekávaného sezonního cyklu, nýbrž růst teploty v zimě je větší než růst teploty v létě. Jinými slovy, již více než jedno století rozdíl mezi zimními a letními teplotami klesá, přičemž odhad času této změny je rok 1895.

Matematicky vzato jste zpochybnili hypotézu, že k oteplování nedochází.

Přesně tak.

Hovoříme ale o setinách stupně, a ty jsou pro nás v běžném životě nezmatelné.

Jistě. Je ale alarmující, že za posledních 32 let je nárůst 1,5 stupně Celsia, zatímco za předchozích 150 let to bylo 1,4 stupně! Pokud by se tento trend udržel, v rozmezí sta let by se jednalo o růst o skoro pět stupňů. Průměrné teploty vytrvale rostou, a z mého pohledu v poslední době příliš rychle.

Jak si to vysvětlujete?

Na základě dat z Klementina vysvětlení nemám. Určitě se shodneme na tom, že Praha vypadala v roce 1775 jinak než v roce 1989 nebo dnes, tudíž je jistý vývoj teplot směrem vzhůru logický. Jenomže teplota roste nejrychleji posledních třicet let, a za tu dobu se Praha zase tolik nezměnila. Dobře, můžete říci, že přibýlo aut. Na druhé straně se udělalo hodně pro snížení emisí, vytápění je výrazně ekologičtější než před lety, intenzivně se zatepluje. Osobně si myslím, že za vše nemohou jenom auta, jak je dnes možné slyšet ze všech stran. Podle mne podobný argument při takto strmém růstu teploty neobstojí.



Jaký je rozdíl mezi prací statistiků a klimatologů? Poskytujete jim „tvrdá“ data a oni je zasazují do souvislostí?

Ne tak úplně. Každý využíváme ve své práci jiné metody. V tomto případě se my – statistici – na poli teorie snažíme řešit obecnou problematiku detekce změny ve statistických modelech, což je jedna z přirozených statistických úloh. V literatuře ji najdete pod názvem change point detection (detekce bodu změny/zvratu). Představte si, že sbíráte o něčem data, a je jedno, zda jsou ekonomická, zdravotnická, hydrologická, technická nebo klimatická. K jejich popisu vždy

potřebujete nějaký matematický model. Pokud se nic neděje, údaje sesbíráte, spočtete jejich popisné charakteristiky, navrhnete model a odhadnete jeho parametry, případně data reprezentujete graficky.

Ale to, co může přirozeně nastat a také nastává, je, že se změní nějaký faktor – příroda, politický systém, zdravotní péče, a pak je data nutné popsat jiným způsobem. My se snažíme navrhnout postupy, které by o případných změnách na základě dat uměly rozhodnout, a v případě podezření na změnu ji umožnily detekovat. Klíčové přitom je, aby tyto postupy byly univerzálně použitelné na data bez ohledu na jejich původ, byť různé obory samozřejmě mají svá specifika. V rámci detekce případných změn je prvořadě rozhodnout, zda k nějaké změně došlo nebo ne, což se řeší tak zvaným testováním hypotéz. Pokud dojdeme k závěru, že v modelu ke změně došlo, snažíme se v dalších krocích odhadnout kdy a eventuálně kolik změn nastalo.

Jednoznačnou příčinu, proč se tak stalo právě v roce 1989, ale neznáte.

To není naše práce, a statistika k tomu ani nemá nástroje. Jejím úkolem je dát údajům určitý řád a hlavně, „měřit všem stejně“. Co se týká dat z Klementina, v principu nám šlo o to zjistit, zda lze chování teplot v Klementinu považovat za stacionární či ne. Stacionární svého druhu vlastně docela dlouho bylo, protože lze říci, že v letech 1837-1987 řada průměrných ročních teplot „rostla stále stejným tempem“. Před zhruba třiceti lety ale došlo k výrazné změně, a teplotní řada od té doby roste podstatně rychleji. Tudíž náš závěr je, že teplotní řada stacionární není.

Ale zase může být – pokud bude růst, sice ročně o 0,049 stupně Celsia, ale setrvale stejně.

Ano. Otázka ale je, jak dlouho takový nárůst teploty vydržíme, aby se nám zde dobře žilo. To už ale není záležitost statistiky.

Prof. RNDR. Jaromír Antoch, CSc.

Je vedoucím oddělení statistiky katedry pravděpodobnosti a matematické statistiky MFF UK. Pracoval mimo jiné na univerzitách ve Francii (Bordeaux, Toulouse, Grenoble) a v Itálii (Cagliari, Neapol, Řím). Mezi jeho výzkumné zájmy patří statistické výpočty, simulace, detekce bodu změny (change point detection), robustní a neparametrická statistika, průmyslová statistika a statistické aplikace. Byl voleným předsedou České statistické společnosti (2001-2007) a voleným prezidentem Mezinárodní asociace pro výpočetní statistiku (2007-2009). Práce na analýze klementinských dat byla podporována grantem GA ČR P403/19/02773S.