

GEOTERMIKA MAPUJE KLIMATICKÉ ZMĚNY

Vladimír Čermák, Jan Šafanda, Milan Krešl, Petr Dědeček
Geofyzikální ústav AVČR, 14131 Praha

Současné klimatické změny jsou charakterizovány především růstem průměrné roční teploty vzduchu. Teplota půdy, i když není shodná s teplotou vzduchu, odráží dlouhodobý vývoj teploty vzduchu, teplotní změny na povrchu Země pak pronikají do hloubky. Vzhledem k malé teplotní vodivosti hornin je podzemní odezva na tyto změny pomalá a teplotní pole si uchovává jistou „vzpomínku“ na to, co se odehrálo na povrchu v minulosti. Současná přesná měření teploty ve vrtech tak umožňují rekonstruovat klimatické změny a geotermická inverze teplotních profilů se stala novou metodou paleoklimatického modelování.

Klimatické změny jsou projevem interakce složitých přírodních poměrů, které v minulosti mohly, ale také nemusely, mít určitý cyklus a odrážely nejen projevy sluneční aktivity, atmosférickou cirkulaci, ale i následky vulkanických erupcí či dopadu velkých meteoritů. Mezi základní klimatické znaky patří především teplota vzduchu a množství srážek. Právě tendence rostoucích průměrných ročních teplot vzduchu charakterizuje klimatické oteplování, jehož jsme v současnosti svědky. Pro odhad dalšího vývoje klimatických poměrů je nezbytné kvalifikovaně rekonstruovat změny včetně jejich příčin, které nastaly v minulosti. Jestliže ve vzdálenější minulosti stovek a tisíců let změny klimatických parametrů byly výsledkem pouze přírodních dějů či katastrof, současné klimatické oteplování může souviset s činností člověka. Rostoucí obsah tzv. skleníkových plynů, znečišťování ovzduší, masivní odlesňování, budování rozsáhlých průmyslových aglomerací i trvalé změny půdního fondu nemusely zůstat bez odezvy na okolní prostředí.

Teplota půdy je odlišná od teploty vzduchu, ve většině případů je teplota půdy vyšší, jejich rozdíl pak závisí na srážkových poměrech, sněhové pokrývce, typu vegetace a jeho časových změnách, kvalitě půdy atp. Změny teploty vzduchu vedou k odpovídajícím změnám teploty zemského povrchu, tyto změny pronikají do hloubky, při čemž jejich amplituda s hloubkou klesá a fáze se opožďuje. Sezónní variace teploty, jako je střídání ročních období, v závislosti na teplotní vodivosti půdního pokryvu prakticky zanikají v hloubce pod 20-30 metry. Zemský povrch tak filtruje probíhající změny na povrchu a hlouběji pronikají jen dlouhodobé změny. Geotermika, jako jedna z geofyzikálních disciplín, je vědou o tepelném stavu planety Země a v užším slova smyslu zahrnuje měření a interpretaci zemského tepelného toku, pro jehož určení je nutno měřit teplotu (teplotní gradient) a koeficient tepelné vodivosti v horninách zemské kůry. Teplota pod povrchem Země s hloubkou roste a její vzrůst v dané lokalitě je odrazem rozdělení hlubinných tepelných zdrojů. V časovém horizontu geologické historie je teplotní pole Země prakticky konstantní. V mělkých hloubkách svrchních několika stovek metrů jsou teplotní poměry ovlivňovány měnícími se podmínkami na zemském povrchu. Současná přístrojová technika umožňuje měřit teplotu ve vrtech s přesností na tisícinu stupně, zjištěné rozdíly mezi skutečnou teplotou a teplotou odpovídající tepelnému toku, tj. výnosu tepla z hloubky, je možno považovat za jakousi podzemní odezvu na minulé klimatické projevy. Řešení tzv. obrácené úlohy umožňuje

rekonstrukci povrchových podmínek v minulosti a jejich interpretaci ve vztahu k vývoji klimatu v posledních několika tisíců let [1-3].

Inverse vybraných teplotních profilů z celkem 98 vrtů na území ČR provedená v letech 1996-7 posloužila k odhadu vývoje klimatu za posledních jeden až dva tisíce let [4-7]. Vzhledem k jistému “zhlazování” vypočtených teplotních extrémů směrem do minulosti nelze přesně odhadnout velikost skutečných teplotních změn ve vzdálenější minulosti, lze však dobře stanovit dobu kulminace jednotlivých extrémů. Byly ukázány nevýrazné klimatické variace v prvním tisíciletí, prokazatelně byly potvrzeny změny odpovídající tzv. “malému klimatickému optimu”, době relativně teplejší v 11. až 14.století, i období tzv. “malé doby ledové”, výrazně chladnějšímu období 1550-1800. Zvláštní pozornost byla zaměřena na vývoj klimatu včetně jeho regionálních zvláštností v druhé polovině 20.století, tedy v období zahrnující současné oteplování. Výsledky byly doplněny mapou regionálního trendu průměrné roční teploty vzduchu odvozené z dlouhodobých záznamů teploty vzduchu na 30 českých meteorologických stanicích pro období 1960-1995. Obě mapy ukázaly poměrně dobrou shodu. Průměrný nárůst teploty vzduchu v tomto období dosáhl hodnot 1 až 1,5 K, při čemž vývoj ukázal některé regionální odlišnosti, které bylo možno interpretovat jako antropogenní vliv na změnu klimatu. Maximální trend oteplování 0,03 K/rok je patrný v oblasti středních Čech, severního pohraničí a severovýchodní Moravy, tedy v oblastech větší koncentrace průmyslových aglomerací. Relativně menší oteplení (0,01-0,015 K/rok) bylo zaznamenáno v oblasti jižních Čech s menším průmyslovým zatížením [8].

Charakteristické oteplování, které je v posledních několika desetiletích výrazné a zdá se akcelarovat, je předmětem zájmu nejen vědecké komunity, ale i politiků a národohospodářů. Pokud by současný trend růstu průměrné roční teploty pokračoval, lze očekávat negativní změny životního prostředí [9]. Vedle rozumných a vědecky podložených úvah se objevují i nejrůznější katastrofické scénáře, jako je tání polárních ledovců doprovázené výrazným zvýšením hladiny světových moří a oceánů, zaplavení přímořských oblastí, stejně jako klimatická nestabilita spolu se vzrůstem krátkodobých extrémů počasi.

I když skutečnost oteplování je nesporná, kvantitativní odhady jeho velikosti leží v poměrně širokém intervalu a jsou předmětem různých názorů a úvah. Nejasná je i otázka příčin oteplování, zejména diskuse o podílu činnosti člověka. V každém případě je oteplování jevem velice komplexním, který se projevuje různě v různých oblastech a má časové i prostorové odlišnosti. Znalost reálné veličiny oteplování a jejího geografického rozložení je poznatek, který může pomoci v řadě ekonomických opatření.

Jak je uvedeno výše, roční chod teplotních změn se projevuje jen ve svrchních cca 20-30 metrech. Pro odhad veličiny současného klimatického oteplování jako projevu dlouhodobého trendu se tak nabízí sledování teplotních změn pod touto hloubkou. Vesměs uváděné velikosti klimatického oteplování jsou výsledkem časové analýzy mnohaletých pozorovacích řad teploty vzduchu na meteorologických stanicích. Přesné monitorování teploty v mělkých vrtech v hloubce pod dosahem sezónních vlivů umožňuje přímo měřit dlouhodobý trend měnících se povrchových podmínek v době podstatně kratší.

Na pozemku Geofyzikálního ústav AVČR v Praze-Spořilově je od roku 1994 monitorována teplota ve vybraných hloubkách ve dvou experimentálních vrtech hlubokých 40 a 150 metrů společně s měřením teploty vzduchu a dalších meteorologických parametrů v rámci klimatického experimentu [10,11]. Další podobný

experiment probíhá od roku 1997 na pozemku meteorologické stanice v Kocelovicích 90 km jižně od Prahy. Třetí stanice bude od roku 2004 pracovat v sz. Čechách , v lokalitě Potůčky, 25 km severně od Karlových Varů. Prvé výsledky monitorování byly shrnuty [8] a srovnány s meteorologickými záznamy teploty vzduchu za období posledních cca 35 let [6]. Teplotní záznam z vrtu Spořilov (na okraji pražské aglomerace) z hloubky 38,4 m potvrdil průměrné oteplování v intervalu 0,025-0,030 K/rok (tabulka 1), zatímco průměrné oteplování v hloubce 40 m ve vrtu Kocelovice (v oblasti převážně zemědělské) činí 0,018 K/rok.

Rok	Průměrná teplota	Oteplování K/rok	Std.chyba
1994	10,63	0,0207	0,0014
1995	10,647	0,0225	0,00086
1996	10,675	0,0276	0,00092
1997	10,703	0,0319	0,00084
1998	10,735	0,0288	0,00097
1999	10,762	0,0275	0,0011
2000	10,789	0,0257	0,00116
2001	10,82	0,0349	0,00057
1994-2001	10,735	0,0283	0,0026

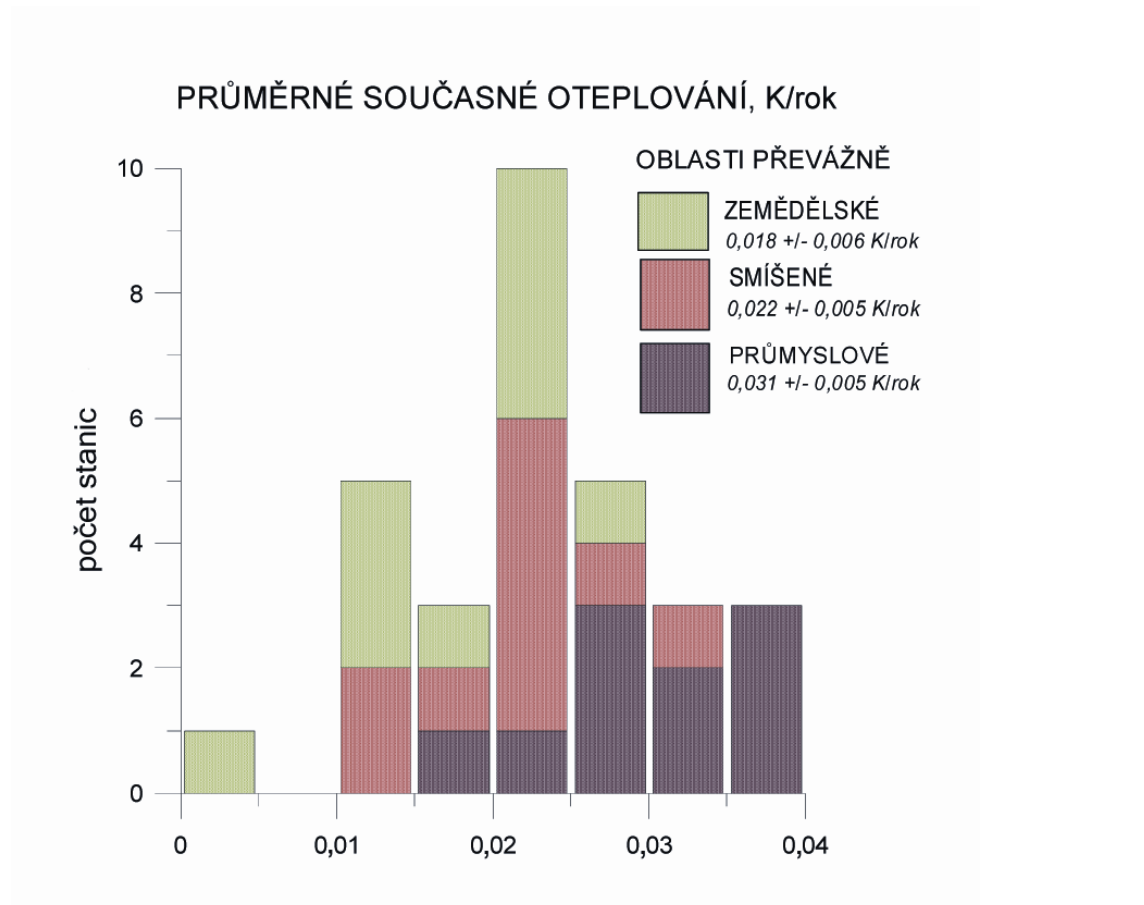
Tabulka 1. Průměrná roční teplota a rychlost oteplování ve vrtu Spořilov (hloubka 38,4m)

Dlouhodobé trendy průměrné roční teploty vzduchu registrované na meteorologických stanicích v období 1960-2000 ukázaly značně variabilní výsledky v intervalu 0,01 až 0,04 K/rok (tabulka 2). Vyšší hodnoty odpovídají místům koncentrace průmyslu a větší hustoty osídlení (Praha, severní Čechy a severní Morava), nižší hodnoty jsou typické pro oblasti relativně méně obydlené a spíše zemědělské (jižní Čechy a jižní Morava) (obrázek 1). Nelze vyloučit, že současné klimatické oteplování má jistou přirozenou složku, která v oblastech „průmyslově znečištěných“ je kombinována s antropogenním příspěvkem daným činností člověka.

Stanice	Kod	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Nadmořská výška	Průměrná teplota	Oteplování K/rok
Bystřice	<i>B2BYSP01</i>	16,28	49,50	573	6,63	0,0107
Český Dub	<i>P2CDUB01</i>	15,83	50,65	315	7,13	0,0015
Dobřenice	<i>H4BOBC01</i>	15,62	50,15	230	8,52	0,0279
Doksany	<i>U1DOKS01</i>	14,17	50,47	158	8,55	0,0283
Hr.Králové	<i>H3HRAD01</i>	15,83	50,18	278	8,57	0,0202
Havl.Brod	<i>P3HAVL01</i>	15,58	49,62	455	7,32	0,0235
Cheb	<i>L3CHEB01</i>	12,40	50,08	474	7,25	0,0244
Ivanovice	<i>BIIVAN01</i>	17,10	49,32	232	8,55	0,022
Jivno	<i>C2RUDJ01</i>	14,57	49,00	560	7,14	0,0184
Klatovy	<i>L1KLAT01</i>	13,30	49,38	430	8,03	0,0242
Kralovice	<i>L2KRAL01</i>	13,48	49,98	458	7,57	0,0342
Kroměříž	<i>B1KROM01</i>	17,37	49,30	232	8,73	0,0239
Kostelní	<i>B2KMYS01</i>	15,47	49,18	569	6,94	0,0228
Nadějkov	<i>C2NADV01</i>	14,47	49,52	617	6,86	0,0119
Olomouc	<i>O2OLOM01</i>	17,23	49,57	225	8,77	0,0121
Opava	<i>O1OPAV01</i>	17,87	49,92	272	8,15	0,0116
Ostrava	<i>O1PORU01</i>	18,50	49,82	242	8,35	0,0186
Plzeň	<i>L1PLZB01</i>	13,38	49,78	328	7,45	0,0382
Pohořelice	<i>B2POHO01</i>	16,52	48,98	183	9,09	0,0298
Praha Libuš	<i>P1PLIB01</i>	14,40	50,00	304	8,64	0,0392
Uhřetěves	<i>P1UHRR01</i>	14,60	50,03	297	8,62	0,0323
Rožnov	<i>O3ROZN01</i>	18,13	49,47	342	7,85	0,0297
Semčice	<i>P2SEMC01</i>	15,00	50,37	234	8,73	0,0179
Strážnice	<i>B1STRZ01</i>	17,33	48,90	176	9,02	0,0218
Šumperk	<i>O2SUMP01</i>	16,97	49,97	330	7,5	0,023
Tisice	<i>P2TISI01</i>	14,55	50,28	168	8,8	0,0301
Vizovice	<i>B1VIZO01</i>	17,83	49,22	315	7,95	0,0143
Varnsdorf	<i>U2VARN02</i>	14,63	50,90	330	7,63	0,0294
Vyšší Brod	<i>C2VBRO01</i>	14,32	48,62	559	6,42	0,0221
Žatec	<i>UIZATO01</i>	13,55	50,33	201	8,9	0,0373
Průměr					7,989	0,023

Tabulka 2. Přehled výsledků měření teploty vzduchu v 30 meteorologických stanicích a průměrná velikost oteplování v intervalu 1960-2000

Obrázek 1 ukazuje četnost zjištěných hodnot průměrného oteplování (vzrůst teploty vzduchu za období 1960-2000) v jednotlivých meteorologických stanicích pro rozdělení stanic do tří skupin podle převládajícího charakteru prostředí, tj. do oblastí spíše zemědělských, smíšených či spíše průmyslových. Jakkoliv takové dělení je formální, trend většího recentního oteplování je zřejmý a dobře odpovídá zatím předběžným hodnotám oteplování zjištěných podzemním monitorováním teploty ve dvou nehlubokých vrtech.



Obrázek 1. Histogram charakteristického oteplování v jednotlivých meteorologických stanicích Čech a Moravy podle charakteru oblasti

Poděkování

Práce byla připravena v rámci řešení grantových projektů GAČR 205/03/0998 a GAAV A301/2005

Literatura

- [1] Čermák, V., *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, **10**, 1-10 (1971)
- [2] Lachenbruch, A.H. and Marshall, B.V., *Arctic Sciences*, **234**, 689-696 (1986).
- [3] Huang, S., Pollack, H.N. and Shen, P.Y., *Nature*, **403**, 756-758 (2000).
- [4] Bodri, L. and Čermák, V., *Global Planet.Change*, **11**, 111-125 (1995).
- [5] Bodri, L. and Čermák, V., *Global Planet.Change*, **14**, 163-173 (1997).

- [6] Bodri, L. and Čermák, V., *Global Planet.Change*, **21**, 225-235 (1999).
- [7] Šafanda, J., Čermák, V. and Bodri, L., *Surveys in Geophysics.*, **18**, 197-212 (1997).
- [8] Čermák, V., Šafanda, J., Krešl, M. , Dědeček, P. and Bodri, L., *Studia geoph. et geod.* **44**, 430-441 (2000).
- [9] US Global Change Research Committee on Environment and Natural Resources., *Our Changing Planet*, Washington, D.C. (2002)
- [10] Šafanda, J., *Tectonophysics*, **239**, 187-197 (1994).
- [11] Štulc, P., *Tectonophysics*, **241**, 35-45 (1995).