

TEPLOTNÍ INVERZE V OBLASTI PAVLOVSKÝCH VRCHŮ

TEMPERATURE INVERSIONS IN THE REGION OF PAVLOVSKÉ VRCHY HILLS

Tomáš Litschmann¹⁾, Pavel Hadaš²⁾

¹⁾ AMET Velké Bílovice, email: amet@email.cz

²⁾ Mendelova univerzita v Brně, LDF, email: hadas@mendelu.cz

Abstract

The contribution is concerned about multi-annual measurements of temperatures from the summit station on Devin (the highest peak of Pavlovské vrchy hills, elevation 535m above sea level). This hill is a significant view point of lowlands southwards to Brno. Air temperatures are compared in one-hour step with data from near station in elevation 192 m above sea level. Analysed data are average one-hour pseudogradients for each month, frequency of pseudogradients equals of inversion stratification and stratification lower than adiabatic stratification. Using the data from the summit station on Devin is possible to describe low inversions (mostly from april to october) very well, but in winter time, when cold level is bigger, pseudogradients are higher in night and morning time then in remaining time.

The biggest frequency of inversion stratification are reached during night and morning time in august (about 60-70%). This percentage is lower in april and in the period from june to september. Inversion is dissolved soonest in june, between 7 and 8 am, in the period from april to september is dissolution moved from one hour, eventually from one hour and half to the noon. For this months is specific the fact that the occurrence of inversions is almost insignificant. Inversions are made from 5pm in october, at latest about 8pm in june. Months from november to februar are specific with inversion stratification dominanting occasionally during the day, mostly in january.

The longest duration of inversion stratification is registered in the half of january 2006 with the lenght of 113 hours, the second longest with the lenght of 92 hours in january in a year earlier. In the study are mentioned also other cases of continuos inversion stratification including the frequency curves for each month.

Key words: Pavlovské vrchy hill, temperature inversion, temperature stratifications, pseudogradients

Úvod

Meteorologické stanice umístěné na vrcholcích hor jsou pro klimatology téměř vždy výzvou k tomu, aby se pokusili jejich teplotní údaje porovnat s hodnotami okolních stanic položených v nižších nadmořských výškách a stanovovat parametry teplotního zvrstvení v daném terénu. Nezáleží přitom na velikosti příslušné hory, popřípadě na jejím převýšení nad okolním terénem. Jak ukazuje následující stručný literární přehled, ke zpracování se dají použít údaje ze stanic nacházejících se na nejvyšších vrcholech významných pohoří, tak i z nižších vrcholů tvořících dominantu určité oblasti.

V poslední době byly zpracovány inverzní situace v ostravské pánvi s použitím údajů z nejvyššího vrcholu Moravskoslezských Beskyd Lysé Hory v rámci dvou diplomových prací (Pavlicová, 2007, Witoszová 2009). O něco nižší než Lysá Hora je Milešovka v Českém

středohoří, má však bohatší historii výzkumů teplotních gradientů a inverzí. Výpočet pseudogradientu z průměrných měsíčních teplot vzduchu na stanicích Teplice a Milešovka se zabýval ve své práci z roku 1926 Pollak (cit. podle Brázdil a kol., 1999), nejvíce se však touto problematikou zabýval ve svých pracích F. Rein, který m.j. prováděl i podrobná měření teploty podél svahu Milešovky. Teplotní údaje naměřené v průběhu několika let na brněnské Kraví Hoře a okolních stanicích se staly podkladem k práci Proška a Wolfové (1986) o vlivu radiačních inverzí na koncentrace SO₂.

Vápencové bradlo Pavlovských vrchů představuje výraznou dominantu mírně zvlněné krajiny Dyjsko-svrateckého a Dolnomoravského úvalu jižně od Brna a jak vyplývá z profilu na Obr. 1, představuje Děvín nejvyšší vrchol v tomto směru k rakouským hranicím.

Nočními teplotními inverzemi a jejich souvislostí s výskytem teplé svahové zóny v oblasti Pavlovských vrchů se zabýval Prošek (1976). Ve svém příspěvku rozšiřuje poznatky o teplé svahové zóně analýzou inverze teploty, která se při ní vyskytuje v dolní polovině svahu. V únoru 2004 zahájila na vrcholu Děvínů činnost automatická meteorologická stanice, vybudovaná Ústavem ekologie lesa LDF MZLU v Brně za přispění Správy CHKO a BR Pálava. Vybudování této stanice bylo vedeno snahou podrobněji poznat klimatické poměry této vrcholové partie jak z hlediska klimatologického, tak i ve vztahu k možné migraci rostlin a živočichů v souvislosti s probíhající změnou klimatu. V roce 2009 byla stanice modernizována a doplněna o přenos údajů prostřednictvím sítě GSM přímo na webový server a rovněž na počátku roku 2010 bylo měření rozšířeno o globální záření, půdní teploty, přízemní minimální teplotu a vlhkost půdy.

Naměřené hodnoty z prvního roku činnosti této stanice byly vyhodnoceny v příspěvku Litschmanna a Hadaše (2005).

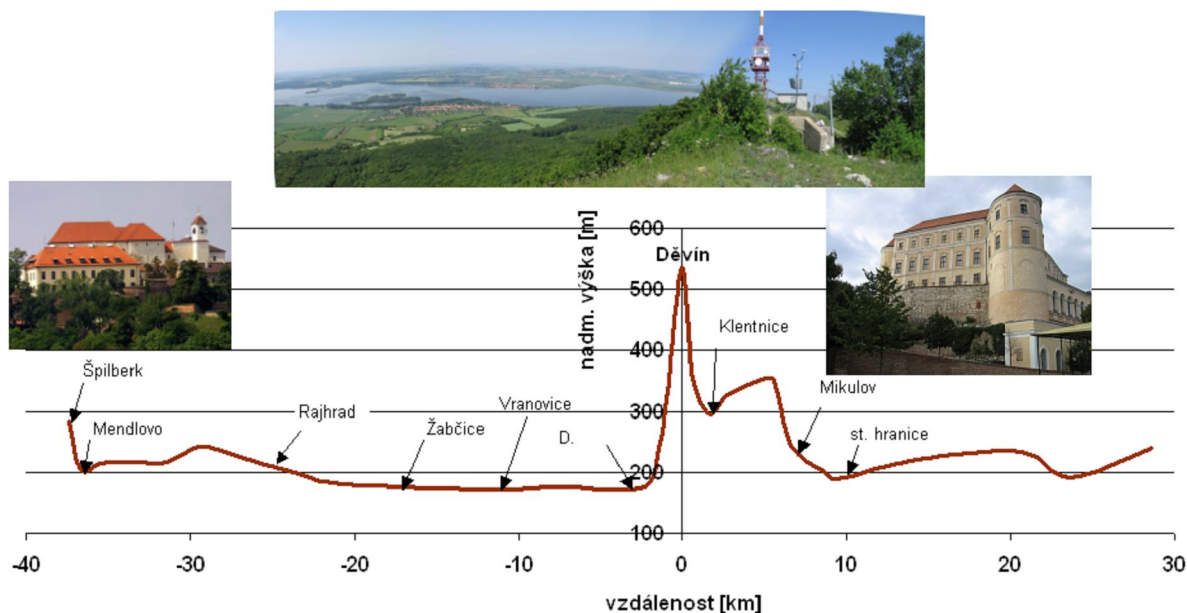
I přes občasné výpadky v měření máme v současné době dostatek podkladového materiálu k tomu, abychom mohli v hodinovém kroku vyhodnotit teplotní rozdíly mezi stanicí na Děvíně a nížinnou stanicí v Mor. Žižkově, reprezentující širší oblast rovinatého území okolí Pavlovských vrchů, za období 2004 – 2009.

Oproti výše uvedeným případům zpracování teplotních inverzí a teplotních gradientů, kdy nížinná srovnávací stanice se nalézala na dně údolí, do něhož v nočních hodinách stéká vzduch z okolních svahů, v našem případě se tato nížinná stanice nalézá v poměrně rovinatém terénu ploché široké pánve, v níž dochází k vzniku stabilního zvrstvení většinou pouze v důsledku radiačního ochlazení přilehlého vzduchu bez přispění chladného vzduchu ze svahů.

V české odborné terminologii nemá teplotní gradient určený z přízemních staničních měření teploty vzduchu konkrétní název. Pojem „teplotní pseudogradient“ byl například zaveden v odborné práci Reina (1972), rovněž Prošek (1976, 1986) používá označení „teplotní pseudogradient“. Anglicky píšící autoři buď pro tyto dvě rozdílné hodnoty teplotního gradientu zavádějí odlišné pojmy – například „near-surface lapse rate“ „surface based lapse rate“ nebo „screen-temperature lapse rate“ pro teplotní gradient určený z přízemních staničních měření. V jiných případech jsou tyto hodnoty zahrnuty pod společným pojmem „temperature lapse rate“ (Witoszová 2009). Pojem „pseudogradient je rovněž použit i v práci Brázdil a kol. (1999).

Přestože metoda pseudogradientu je zatížena řadou nepřesností, dává představu o časově spojitěm chování studovaného parametru, což je její významnou předností.

Profil terénu mezi Brnem a Děvínem



Obr. 1 Profil terénu mezi Brnem a Děvínem

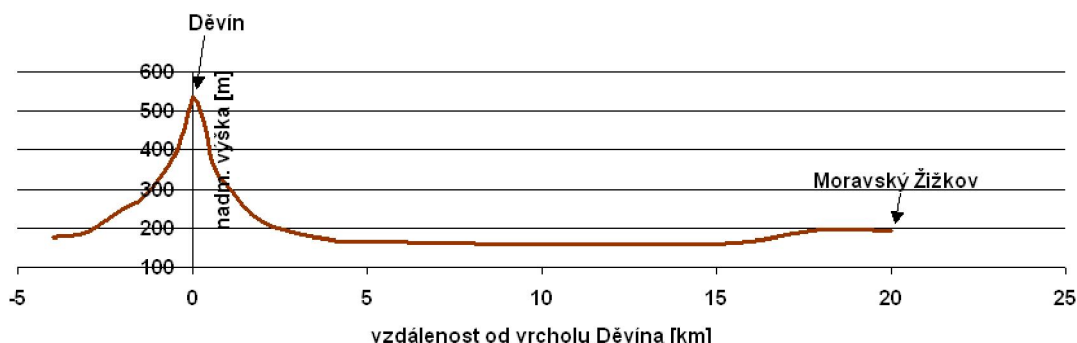
Materiál a metodika

K vyhodnocení režimu teplotních pseudogradientů v okolí Děvína jsme zpracovali průměrné hodinové teploty vzduchu z automatických stanic na Děvíně a v Moravském Žižkově. Vzdálenost obou těchto stanic je 20 km, rozdíl v nadmořských výškách je 342 m. Podrobnější profil terénu mezi stanicí na Děvíně a nížinnou stanicí v Moravském Žižkově je na Obr. 2. Vzdálenost obou stanic zaručuje, že teploty na nížinné nejsou ovlivněny prouděním podél svahů Pavlovských vrchů (a ani jiných výraznějších svahů) a dosažené výsledky jsou tak reprezentativnější pro širší okolí úvalu. Z dvojice průměrných hodinových teplot byly vypočítány hodinové pseudogradienty a z nich dále stanoveny tyto charakteristiky:

- denní chod průměrných pseudogradientů v jednotlivých měsících
- křivky překročení hodinových pseudogradientů v jednotlivých měsících
- denní chod relativních četností hodinových pseudogradientů $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ v jednotlivých měsících
- křivky překročení souvislé délky trvání inverzí v jednotlivých měsících

Vypočítané hodnoty pseudogradientů pro jednotlivé dny jsme porovnali s hodnotami koncentrací SO_2 a NO_x , měřeními na stanici Sedlec u Mikulova za období 2004 – 2008.

Profil terénu mezi Děvínem a stanicí v Mor. Žižkově



Obr. 2 Profil terénu mezi Děvínem a stanicí v Mor. Žižkově

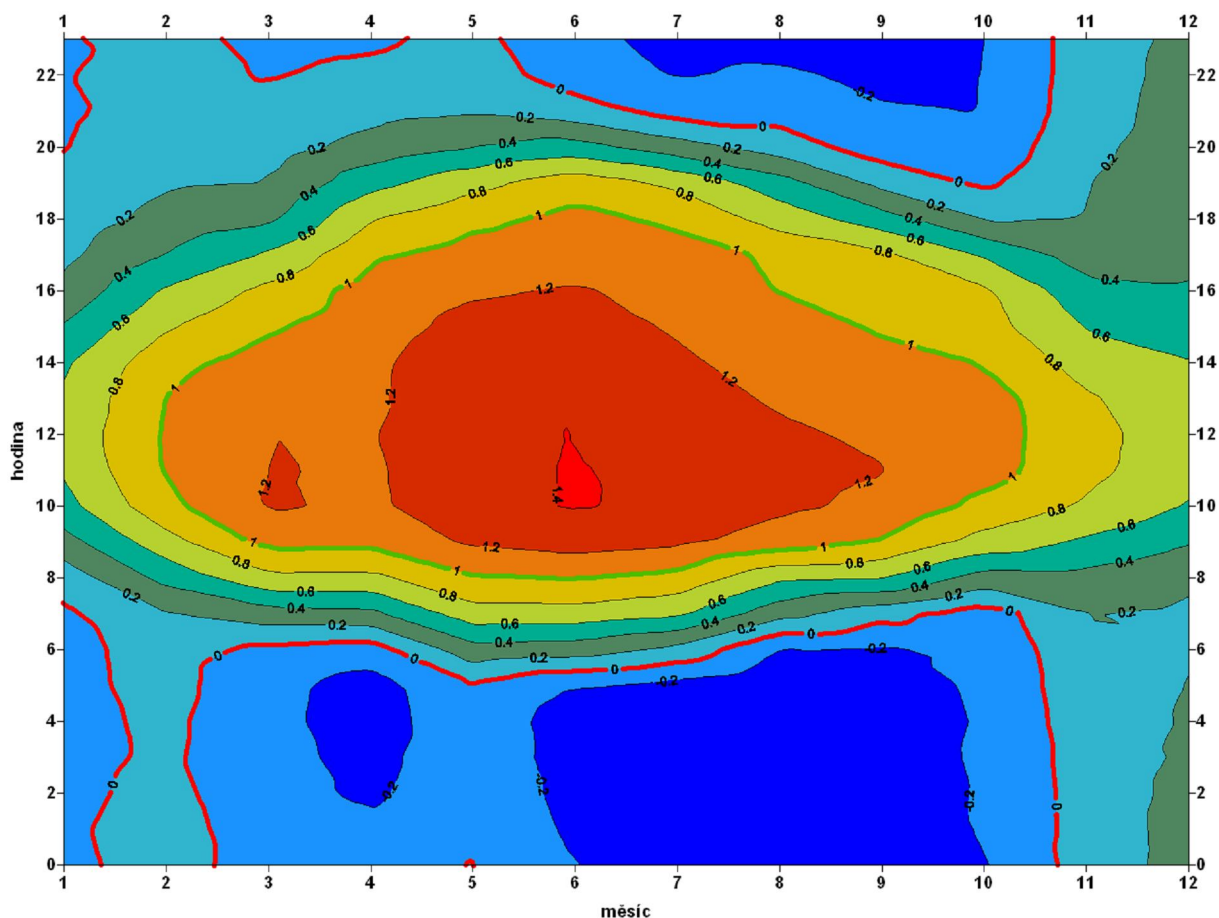
Celkem tak bylo zpracováno cca 41 tisíc párových dvojic průměrných hodinových teplot vzduchu. Na rozdíl od některých prací, které zpracovávají pouze vybrané epizody buď s inverzním zvrstvením anebo za dnů s radiačním režimem počasí, při němž se nejvýrazněji projevuje vliv reliéfu na teplotní zvrstvení, jsme zpracovali stejným postupem všechny naměřené hodnoty, abychom tak získali přehled o teplotních gradientech za co největšího počtu situací.

Výsledky a diskuse

Denní chod průměrných hodinových pseudogradientů v jednotlivých měsících

K znázornění denního chodu průměrných hodinových gradientů v průběhu roku jsme použili vyjádření pomocí izopleť, které je prezentováno na obr. 3. Toto zobrazení velmi dobře vystihuje závislost velikosti pseudogradientu na denní době, především pak na okamžiku východu a západu Slunce, kdy v těchto obdobích dochází k nejrychlejší změně pseudogradientu. V období od března do října dochází v době kolem východu Slunce k izotermii a k přechodu od záporných gradientů ke kladným, tj. od teplotní inverze nejprve ke stabilnímu zvrstvení a dále pak v průběhu cca dvou hodin k zvrstvení labilnímu. Se zmenšující se výškou Slunce v odpoledních hodinách se zemský povrch postupně ochlazuje a nejprve dochází ke stabilizaci zvrstvení a následně k izotermii a inverzi. Doba přechodu od labilního zvrstvení k inverzi v odpoledních a večerních hodinách je v důsledku pozvolného ochlazování dlouhodobým vyzařováním delší než obrácený proces v hodinách ranních. Jak je z Obr. 3 zřejmé, od listopadu do února (s výjimkou ledna) je popsán proces labilizace a opětovné stabilizace přízemní vrstvy atmosféry narušen tím, že v nočních hodinách nedochází k poklesu průměrného teplotního pseudogradientu do záporných hodnot, což by naznačovalo, že výskyt inverzí je v tomto období paradoxně nižší než v teplém ročním období. Tento jev

(který se pochopitelně projevuje i v dalších zpracovaných charakteristikách) lze vysvětlit jedine tím, že v tomto období je vrstva prochlazeného vzduchu nad zemským povrchem v některých případech daleko mocnější a zahrnuje i vrchol Děvína a tudíž rozdíl teplot v přízemní vrstvě není příliš výrazný.



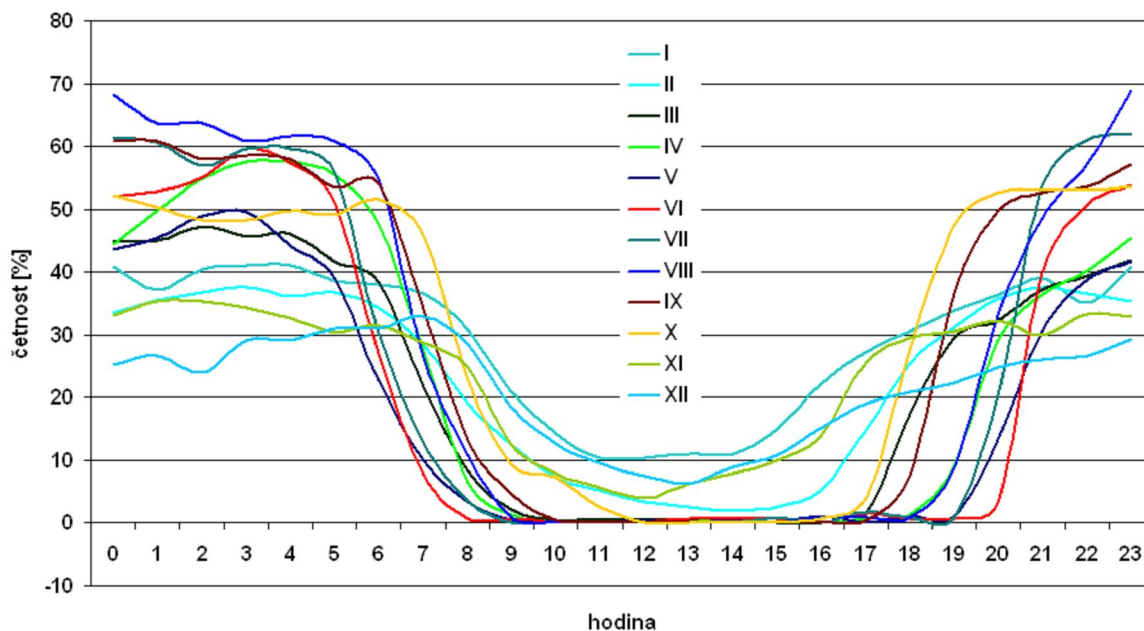
Obr. 3 Izoplety průměrných vertikálních pseudogradientů teploty vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) mezi Děvínem a Mor. Žižkovem

Denní chod relativních četností hodinových pseudogradientů $<0^{\circ}\text{C}$ v jednotlivých měsících

Průměrné hodnoty pseudogradientů, tak jak byly popsány v předcházejícím odstavci, poskytují prvotní informaci o chodu teplotního zvrstvení mezi sledovanými stanicemi. Pro získání dalších poznatků o výskytu inverzního zvrstvení jsme vyhodnotili četnosti pseudogradientů menších než 0°C v jednotlivých hodinách a v jednotlivých měsících. Obr. 4 představuje výsledek tohoto zpracování. Od října se začíná zvyšovat četnost výskytu inverzního zvrstvení i v dopoledních hodinách a v následujících měsících až do března se inverze mohou vyskytnout prakticky po celý den. Jak však již bylo naznačeno dříve, v tomto období se za některých situacích vytváří častěji výšková inverze se spodní hranicí nad vrcholem Děvína a pod ní je vrstva prochlazeného vzduchu se stabilním (Obr. 5), nikoliv však inverzním zvrstvením. Pravděpodobně proto dochází ke snížení četnosti výskytu inverzí v nočních hodinách ve sledované vrstvě.

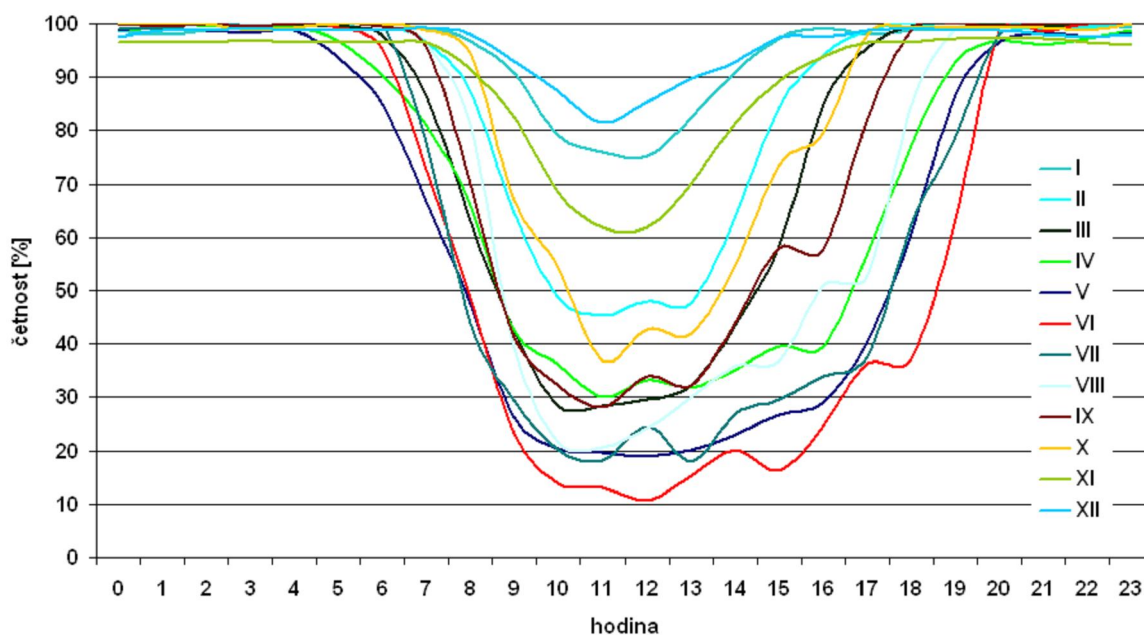
Nejvyšší četnost inverzního zvrstvení v nočních a ranních hodinách je pozorována v srpnu, což je dáno zřejmě tím, že v tomto měsíci ještě převládají anticyklonální situace s menším množstvím oblačnosti v nočních hodinách, dny se však již zkracují a intenzita dlouhodobého vyzařování a tím i ztráta energie je tak vyšší než např. v následujícím září, které mívá více oblačnosti.

Relativní četnosti průměrných hodinových gradientů $<0\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ v jednotlivých měsících



Obr. 4 Relativní četnosti průměrných hodinových gradientů $<0\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ v jednotlivých měsících

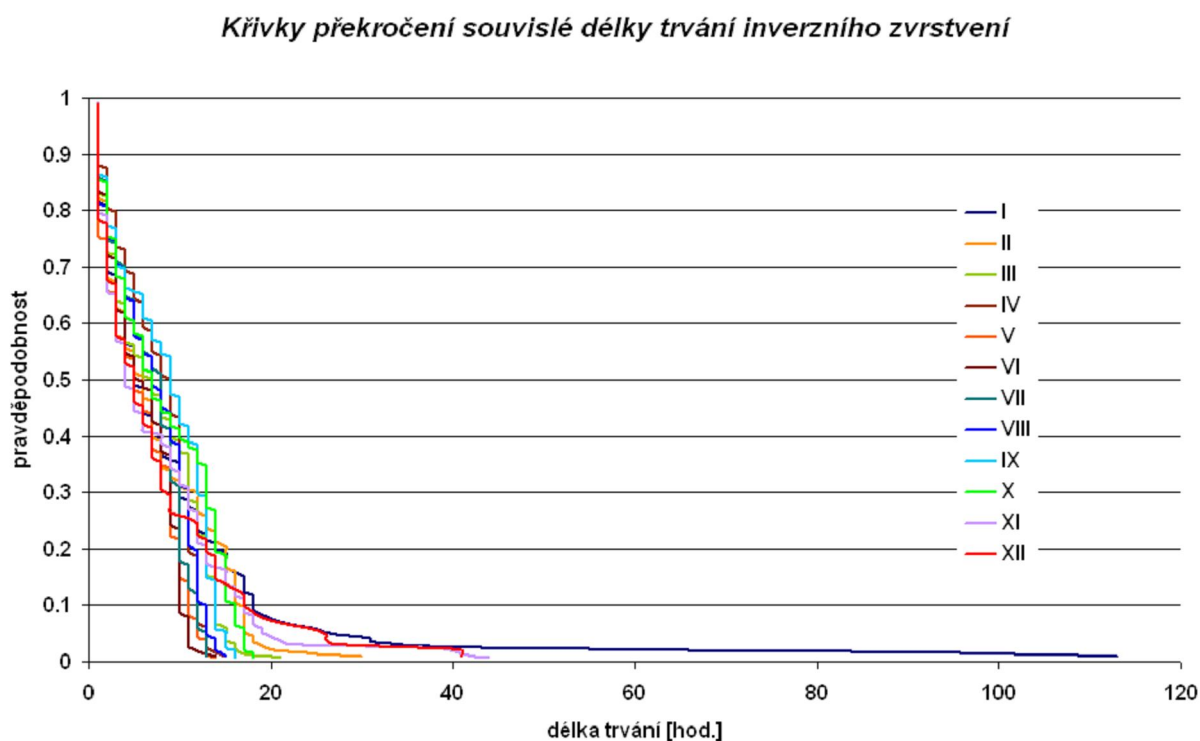
Relativní četnosti průměrných hodinových gradientů $<1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ v jednotlivých měsících



Obr. 5 Relativní četnosti průměrných hodinových gradientů $<1\text{ }^{\circ}\text{C}$ v jednotlivých měsících

Souvislá délka trvání inverzí v jednotlivých měsících

Jelikož inverzní vrstvy fungují jako zádržné vrstvy pro rozptyl škodlivin produkovaných lidskou činností do atmosféry, je z tohoto hlediska též důležité znát délku trvání jednotlivých epizod s inverzním zvrstvením teploty vzduchu. Ze základního souboru teplotních gradientů jsme proto stanovili délky trvání jednotlivých souvislých období s tímto zvrstvením a stanovili pro jednotlivé měsíce pravděpodobnosti překročení. Na Obr. 6 jsou tyto křivky vyneseny a lze z nich vyčíst, že nejdelší inverze se vyskytují v lednu, kratší jsou v prosinci a listopadu a ještě i v únoru se mohou vyskytnout inverze delší než jeden den. Ve zbývajících měsících roku pak i ty největší doby trvání byly kratší než 24 hodin. Vůbec nejdelší období trvání inverzního zvrstvení v přízemní vrstvě po vrchol Děvína se vyskytlo od 9. do 14. 1. 2006 a trvalo 113 hodin. Největší rozdíl teplot byl při tom zaznamenán v ranních hodinách ve dnech 11. a 12.1., kdy se pohyboval kolem 13 °C, v nížině teploty dosahovaly hodnot kolem -16 °C.

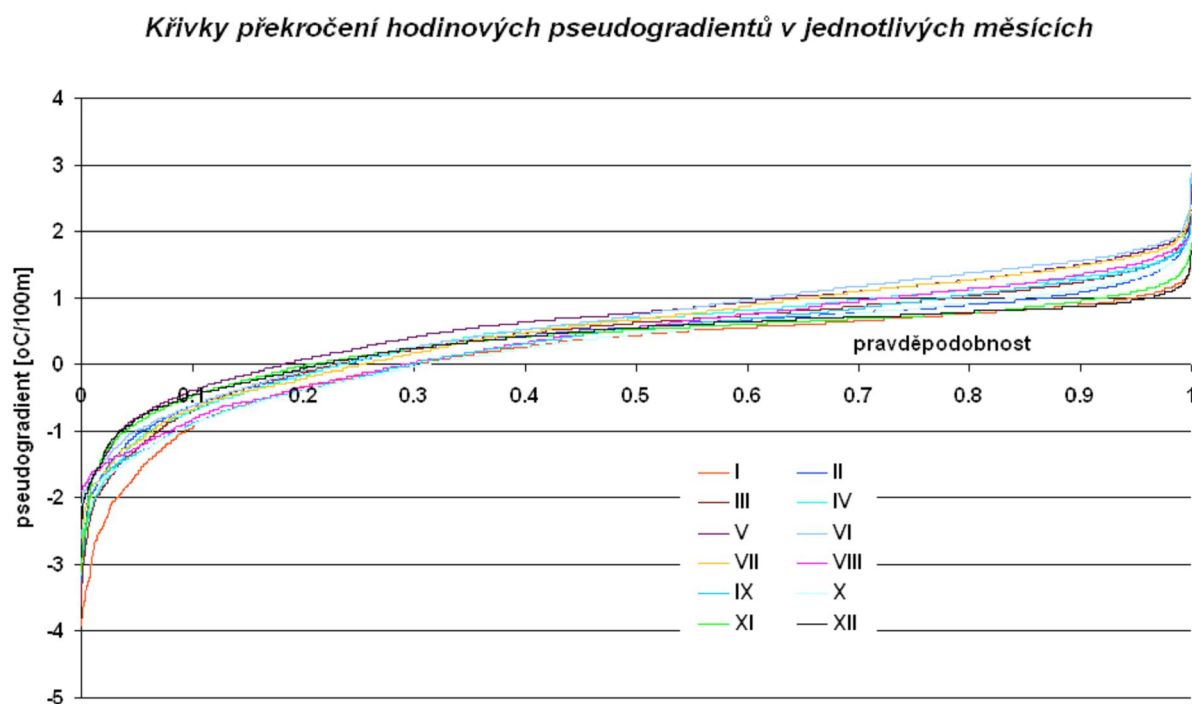


Obr. 6 Křivky překročení souvislé délky trvání inverzního zvrstvení v jednotlivých měsících

Překročení hodinových pseudogradientů v jednotlivých měsících

K dokreslení představ o výskytu a trvání inverzí v prostoru Dolnomoravského úvalu a parametrů pseudogradientů vůbec chybí ještě popsat rozdělení hodnot, v jakém se pseudogradienty pohybují. K tomu mohou posloužit křivky překročení hodinových pseudogradientů pro jednotlivé měsíce, tak jak jsou znázorněny na obr. 7. Nejvyšší záporné hodnoty pseudogradientů jsou dosahovány v lednu, kdy v extrémních případech se přibližují hodnotě -4 °C/100 m, zatímco v srpnu dosahují pouze -2 °C/100 m. Při hodnotě překročení 10 % se však již rozdíl mezi jednotlivými měsíci snižuje na hodnoty kolem 0,5 °C/100 m, nejmenší je při hodnotě 50 % a směrem k vyšším hodnotám se opět začíná zvyšovat. Tento konec křivky překročení je charakterizován poměrně strmým nárůstem hodnot pseudogradientů v posledním půl procentu všech případů. Rovněž lze z těchto křivek stanovit,

že nejstabilnější zvrstvení se vyskytuje v prosinci a lednu, kdy je 96 % všech pozorovaných případů s hodnotami pseudogradientu nižšími než je suchoadiabatický gradient, naopak nejmenší počet případů se stabilním zvrstvením, 62 %, je v měsících červnu a červenci. Zbývající měsíce se nalézají v tomto poměrně širokém rozpětí hodnot.



Obr. 7 Křivky překročení hodinových pseudogradientů v jednotlivých měsících

Z tvaru těchto křivek překročení rovněž vyplývá, že při ochlazování přízemní vrstvy vzduchu můžou nabývat teplotní rozdíly mezi přízemní a vrcholovou stanicí i v rovinném terénu poměrně značných hodnot (ačkoliv ne takových, jak je tomu např. u širokých uzavřených sníženin). Po jeho prohřátí a vzniku labilního zvrstvení je velikost pseudogradientu do značné míry limitována fyzikálními zákonitostmi vystupujícího vzduchu a v malé míře, o čemž svědčí část extrémních případů s vysokými kladnými pseudogradienty, rozdílné povětrnostní podmínky na obou stanicích. V letních měsících je to především výskyt bouřek, popřípadě blízkost oblaků typu Cb, které způsobují, že dojde na vrcholové stanici k rychlému poklesu teploty vzduchu, v chladném půlroce je příčinou zvětšení teplotního rozdílu slohovitá oblačnost, která zahaluje horní partie masívu Děvína, zatímco na nížinné stanici se vyskytuje počasí s vyššími hodnotami globálního záření.

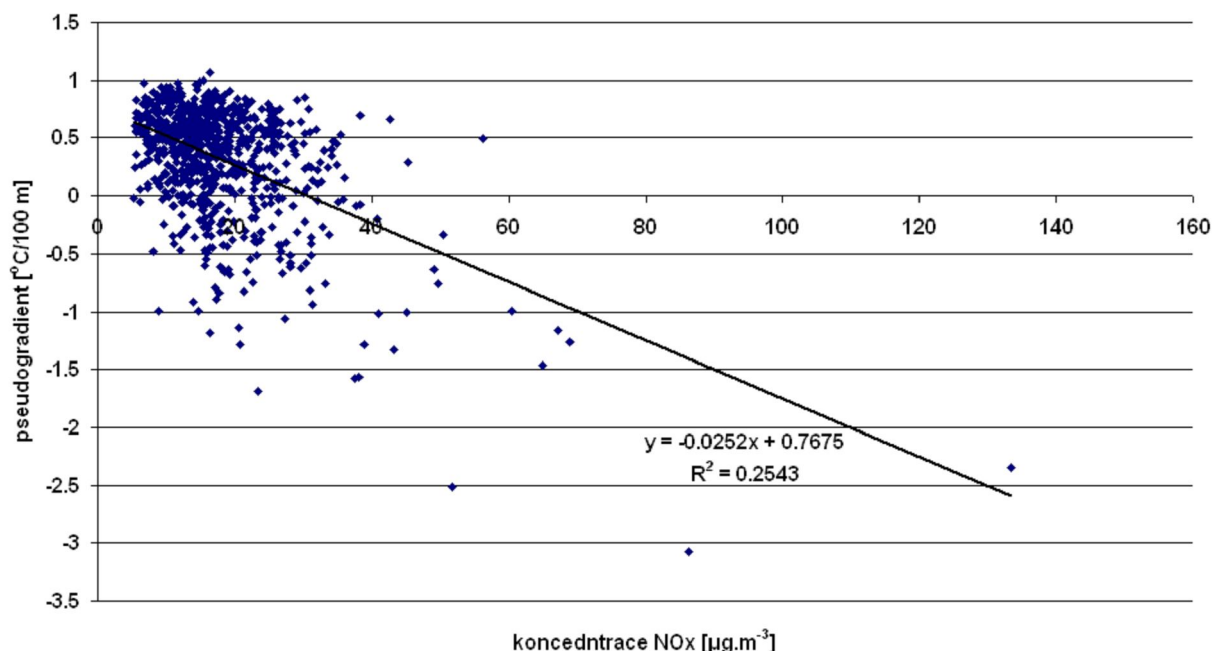
Vztah mezi koncentracemi znečišťujících látek a hodnotami pseudogradientu

Výskyt inverzního zvrstvení přináší s sebou zhoršení transportu vzduchových částic do vyšších vrstev atmosféry a s tím spojeného zvýšení koncentrací znečišťujících látek ve vrstvě přilehlé k zemskému povrchu. Porovnali jsme naměřené denní hodnoty koncentrací SO_2 a NO_x na stanici Sedlec u Mikulova s průměrnými denními hodnotami pseudogradientu pro letní (IV-IX) a zimní (X-III) období s těmito výsledky:

- u SO_2 nebyla pozorována žádná závislost mezi koncentrací a teplotním gradientem jak v letním, tak v zimním půlroce. Je to dáno pravděpodobně tím, že zdroje tohoto znečištění jsou v daném území málo výrazné a k výraznějšímu zhoršení situace nedochází ani za inverzních situací.

- u koncentrací NO_x , na jejichž velikosti se podílí kromě automobilové dopravy i další zdroje plošně provozované po celém regionu, lze pozorovat v zimním období ovlivnění především vyšších koncentrací hodnotami pseudogradientu (Obr. 8). Při nižších koncentracích, přibližně do $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, se uplatňují na jejich rozptylu pravděpodobně i jiné mechanismy, avšak za výraznějších inverzí, především pak v případech, kdy vrchol Děvína již leží nad inverzní vrstvou a její tloušťka je tudíž poměrně malá, tyto koncentrace výrazně stoupají.

Závislost koncentrací NO_x na teplotním pseudogradientu v zimním období



Obr. 8 Závislost koncentrací NO_x na teplotním pseudogradientu v zimním období

Závěr

V předloženém příspěvku jsme se pokusili vyhodnotit teplotní rozdíly mezi vrcholovou stanicí na Děvínu a stanicí v Moravském Žižkově, která se nalézá v rovinatější části Dolnomoravského úvalu. Ze zpracování vyplývá, že vznik stabilního zvrstvení s hodnotami teplotního pseudogradientu nižšími než je suchoadiabatický gradient je každodenní záležitostí s maximem výskytu v nočních hodinách. Méně častý je výskyt inverzního zvrstvení, které se vyskytuje nejčastěji v srpnu v nočních hodinách, a to přibližně v 60 až 70-ti % případů. V teplém půlroce se inverzní zvrstvení v denních hodinách nevyskytuje, až teprve v říjnu lze pozorovat častější výskyt i v dopolední hodinách. Odpoledne až do večerních hodin dochází v tomto měsíci k zvýšení pseudogradientů nad $0 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Poněkud komplikovanější situace nastávají v zimním období, kdy, jak potvrzují aerologické výstupy, je prochlazená vrstva při zemském povrchu silnější a tvoří se výškové inverze s dolní hranicí nad úrovní vrcholové stanice. Ve spodní vrstvě pod ní jsou pak většinou kladné pseudogradienty teploty a ve výsledcích našeho zpracování se to projevuje jednak jejich vyššími průměrnými hodnotami, ale též paradoxně i nižší četností výskytu inverzí v nočních hodinách. V zimních měsících jsme však zaregistrovali nejdelší souvislá trvání inverzního zvrstvení, přesahující jeden a více dní.

Průměrná hodnota vertikálního pseudogradientu teploty vzduchu za celé zpracované období je 0,41 °C/100 m, což již samo o sobě naznačuje častější výskyt stabilního zvrstvení v této vrstvě.

Vliv inverzního zvrstvení na koncentrace škodlivin v přízemní vrstvě se projevuje pouze v zimním období u těch látek, které jsou ve zvýšené míře produkovány přímo v regionu, proto lze pozorovat např. zvýšení koncentrací NO_x z dopravy během výraznějších inverzí, kdy vrchol Děvína je již nad inverzní vrstvou, naproti tomu nebyla pozorována žádná závislost mezi koncentracemi SO₂ a teplotním pseudogradientem.

Poděkování

Práce vznikla v souvislosti s řešením výzkumného záměru MSM č. 6215648902 „Lužní lesy – obhospodařování z pohledu využívání dřeva jako obnovitelné suroviny“.

Literatura

- BRÁZDIL, R. a kol.: Klimatické poměry Milešovky. ACADEMIA, Praha 1999, 1999, 433 s., ISBN 80-200-0744-X
- KUCHAŘÍKOVÁ, D., PROŠEK, P.: Vliv konvexního a konkávního tvaru reliéfu na tvorbu a vývoj radiačních inverzí teploty. Meteorologické zprávy, 36, 1983, č.3, s. 84 – 92.
- Litschmann, T., Hadaš, P. (2005): Příspěvek k mezoklimatickým poměrům Pavlovských vrchů a blízkého okolí. In.: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed): „Bioklimatologie současnosti a budoucnosti“, Křtiny 12. – 14.9.2005, ISBN 80-86 690–31-08
- PAVLICOVÁ, I.: Teplotní inverze v oblasti Ostravské průmyslové aglomerace. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně, Geografický ústav, 2007, 88 s.
- PROŠEK, P.: Noční teplotní inverze při výskytu teplé svahové zóny na svazích Pavlovských vrchů. Meteorologické zprávy. 1976, s. 89-92.
- PROŠEK, P. WOLFOVÁ, K.: Vliv radiačních teplotních inverzí na koncentrace SO₂ ve sníženinách na území Brna. Meteorologické zprávy. 1986, s. 15-20.
- REIN, F.: Poznámky ke struktuře teplotních inverzí v okolí Milešovky. Meteorologické zprávy, 25, 1972, . 4 – 5, s. 122 – 126.
- WITOSZOVÁ, D.: Teplotní inverze v ostravské pánvi. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně, Geografický ústav, 2009, 90 s.