

Porovnání různých metod využívajících radarová a srážkoměrná měření

Lucie Juřikovská

Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15,
70833, Ostrava
lucie.jurikovska@vsb.cz

Abstrakt. Data z meteorologických radarů jsou nezbytným zdrojem informací při analýze plošného rozložení srážek. Především v letním období, kdy převládají konvekční srážky, není standardní síť srážkoměrných stanic schopná strukturu srážkových polí postihnout s dostatečnou přesností. Studium bylo prováděno na povodí řeky Olše, ve kterém je k dispozici celkem jedenáct měřících stanic. Cílem toho projektu bylo porovnat kvalitu různých metod odhadu srážek z radarových měření se srážkoměrnými odhady. Srážkoměrná měření byla interpolována s využitím různého programového vybavení např. GRASS GIS, ArcGIS. Článek se zabývá odhadem srážek s využitím sloučení srážkoměrných stanic a radarových dat.

Klíčová slova: srážky, interpolace, radar, geografický informační systém

Abstract. Comparison of different methods for estimating precipitation based on radar and rain gauge measurements. Hydrologic modelling requires climatological data as an important variable. Weather radar provide a highly detailed representation of the spatial structure and temporal evolution of rainfall over a large area. Estimated rainfall rates are derived indirectly from measurements of reflectivity and are therefore subject to a combination of systematic and random errors. The paper presents a comparison of the quality of different methods for estimating precipitation from rain gauges and radar measurements using different GIS software (GRASS GIS, ArcGIS).

Keywords: precipitation, interpolation, radar, geographic information system

1 Úvod

Plošné rozdělení srážkových úhrnů za určité období je velmi důležitý údaj pro hydrologické modelování. Přesnost stanovení srážkových úhrnů je limitujícím faktorem, který zásadně ovlivňuje úspěšnost hydrologických aplikací a to bez ohledu na použitý hydrologický model, na jeho formulaci a numerickou složitost.

Jelikož jsou atmosférické srážky plošně a časově velmi variabilní, nelze proto očekávat, že plošné rozdělení srážek bude možné reprezentativně popsat sítí pozemních stanic. Měření radarové odrazivosti a následné vyhodnocení srážek je naopak informací o velké plošné hustotě, která umožňuje kvantitativní odhad srážkového úhrnu na dané ploše v podstatě za libovolný časový interval. Přímé využití radarových dat při kvantitativním odhadu srážek má však řadu omezení vyplývajících již z principu radarových měření.

Vzhledem ke kvalitní a velmi husté síti stanic, které na našem území měří denní srážkové úhrny, je většina úsilí orientována na korekci denních úhrnů srážek, odvozených z radarových měření. Z výsledků domácích i zahraničních studií je zřejmé, že neexistuje jednoznačný analytický vztah mezi radarovou odrazivostí a množstvím srážek, který by umožnil dostatečně přesný převod měřených radarových dat na srážkové úhrny [5].

Pro využití radarových dat pro kvantitativní odhad plošných srážkových úhrnů se v současné době využívá řada postupů. Velmi komplexní přístup se využívá např. v systému NIMROD, který je založen na důkladné kontrole radarových dat, při níž se využívají informace o srážkách včetně výstupům numerických modelů, satelitních snímků a výsledků pozemního měření srážek. Cílem je odstranit nebo opravit hrubé chyby radaru. Radarová data jsou statisticky porovnávána s pozemním měřením a jsou určeny systematické chyby v závislosti na ploše, časovém intervalu integrace a případně i v závislosti na meteorologické situaci. Získané poznatky pak vstupují do rutinního zpracování radarových dat a provádí se oprava radarem určených srážkových úhrnů zahrnutím systematické

chyby. Frekvence, s jakou se provádí výpočet a zahrnutí systematické chyby, se liší pro konkrétní provozní realizace. V anglickém systému NIMROD se opravy počítají a provádějí jednou týdně [3].

Druhým přístupem ke kvantitativnímu využití radarových dat jsou statistické metody. Na základě souboru radarových výstupů a srážkoměrných dat z pozemních stanic se konstruují statistické modely, které jsou bez časté obměny rutinně aplikovány. Obvykle se odvozují vícerozměrné regresní modely, které mezi nezávislé proměnné zahrnují, kromě vlastních radarových dat, i charakteristiky místa, ve kterém se určuje srážkový úhrn. Regresní rovnice jsou odvozovány buď z dat vztahujících se k termínovým měřením nebo se využívají sumy srážek za delší, např. roční, období. Důvodem pro vývoj regresních modelů se sumovanými hodnotami je snaha minimalizovat systematickou chybu výsledných srážkových polí pro dlouhá období. Nevýhodou tohoto přístupu je, že regresní modely odvozené pro sumy srážek často nedávají dobré výsledky při aplikaci na jednotlivé termíny [5].

2 Princip radarových měření

Princip měření meteorologického radaru je založen na zpětném rozptylu mikrovln (cm-vln) na vodních kapkách a ledových krystalcích ve srážkách a oblačnosti. Vysílač generuje krátké vysokoenergetické pulsy elektromagnetického vlnění, které anténa vyzářuje v podobě úzkého svazku do atmosféry. Část energie se odrazí (přesněji: zpětně rozptýlí) od cílů meteorologických (srážky) či jiných (terén, letadla apod.). Část zpětně rozptýlené energie je zachycena anténou a zpracována přijímačem radaru. Podle polohy antény (azimut, elevace) a času mezi vysláním a příjmem pulsu se určuje poloha cíle. Množství odražené energie je úměrné radiolokační odrazivosti cíle. Meteorologický radar je schopen rozpoznat objekty menší než 1 cm, jako jsou dešťové kapky, sněhové vločky a kroupy, protože vysílá impulsy v rozsahu mikrovln.

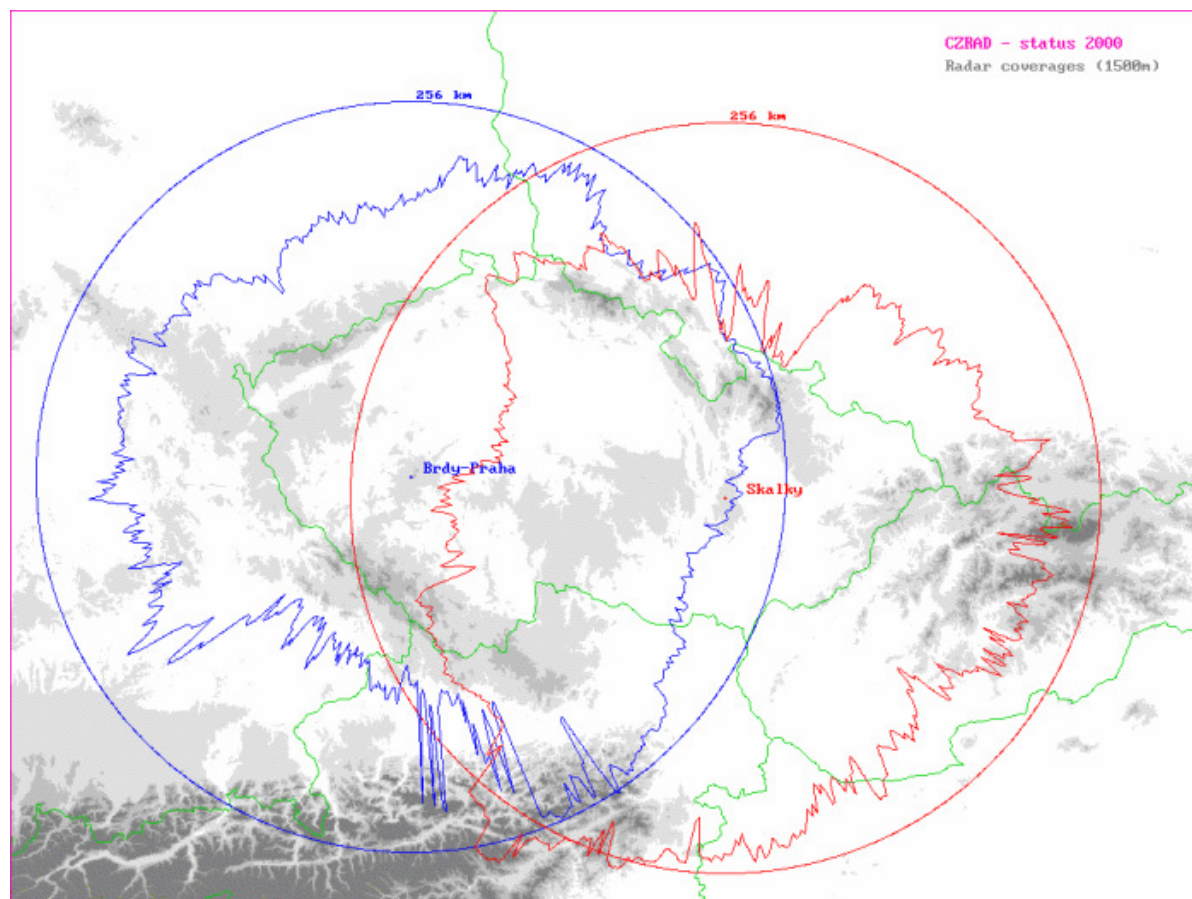
Meteorologická měření se skládají z cca 15-20 otáček antény v azimutu s proměnným výškovým úhlem (elevací). Tato objemová měření jsou opakována každých 5-15 minut.

Na území České republiky jsou v provozu dva meteorologické radary v síti ČHMÚ CZRAD. První se nachází na vrcholu Praha (860 m n.m) v pahorkatině Brdy. Zařízení je osazeno plně automatickým a dálkově řízeným radarem Gematronik M 360-AC. Druhý radar je situovaný na vrcholu Skalky (730 m n.m) v Dražanské vrchovině. Zařízení je osazeno plně automatickým a dálkově řízeným radarem EEC DWSR 2501-C.

Data z těchto dvou radarů pokrývají území České republiky a příhraničních oblastí do vzdálenosti 256 km od místa radaru a jednoho objemového měření odrazivosti je dosaženo do 10 minut.

Pro odhad plošných srážek jsou v současnosti k dispozici čtyři typy dat:

- Maximální odrazivost ve sloupci s horizontálním rozlišením 1 km x 1 km (MAX1)
- Maximální odrazivost ve sloupci s horizontálním rozlišením 2 km x 2 km (MAX2)
- Odrazivost v konstantní výšce (CAPPI) 2 km nad mořem s horizontálním rozlišením 1 km x 1 km (CAP1)
- Odrazivost v konstantní výšce (CAPPI) 2 km nad mořem s opravou pomocí vertikálního profilu odrazivosti a s horizontálním rozlišením 1 km x 1 km (COR1)



Obr. 1. Maximální dosahy meteorologických radarů ČHMÚ (kruhy) a dosahy pro určování intenzit srážek do výšky 1500m nad terénem (křivky)

2.1 Chyby radarových měření

Meteorologická radarová data jsou získávána z radarových měření a za pomoci známých matematických vztahů a rovnic jsou převáděna na milimetrové úhrny v daných časových intervalech. Takto získána data jsou sumarizována do větších časových intervalů. Většinou se srážky počítají za 1, 3, 6, 12 a 24 hodin.

Radarová data jsou zatížena velkým množstvím chyb a bez korekcí by byla pro hydrologické modely těžko použitelná. Rozborem chyb a jejich vlivem na přesnost odvozených srážek se v současnosti a v minulosti zabývala řada prací (např. Collier 1996, Austin 1987). Tento problém se řeší pomocí multisensorové analýzy. Z jejích metod korekcí dat se používá především výpočet adjustačních koeficientů a kombinovaná analýza [6].

Mezi nejdůležitější vlivy podle ČHMÚ znepřesňující radarová měření, patří proměnlivá šířka radarového paprsku a jeho výška nad zemí, které narůstají se zvětšující se vzdáleností od radaru a způsobují systematické podceňování srážek. Hodnoty ovlivňují také terénní či jiné překážky (stromy, stožáry).

Byly zjištěny poměrně velké odchylky radarových odhadů v horských oblastech, a to zejména při silnějším větru a krajinných deštích. Na návětrných svazích se tvoří vlivem orograficky podmíněných výstupných pohybů mlha, která je vymývána srážkami vznikajícími většinou ve střední troposféře. Při extrémních situacích může uvedené orografické zesílení dosáhnout až stovek procent, což se následně projevuje příslušnou chybou radarových odhadů.

Mezi běžné problémy radarových odhadů patří také vypařování srážkových částic v suchých, níže ležících vrstvách vzduchu, což má za následek mírné přecenění srážkových úhrnů.

V ČHMÚ je od roku 2002 v provozu procedura - adjustace radarových odhadů srážek a zároveň kombinace adjustovaných odhadů s dostupnými srážkoměrnými měřeními. Adjustací se rozumí odstranění systematické chyby. Pro adjustaci se využívá jeden adjustační koeficient pro celou radarovou doménu. Je to podíl sumy všech srážkoměrných údajů (G_i) a sumy korespondujících radarových odhadů (R_i). Je počítán v elementu 1×1 km podle vztahu

$$K = \Sigma G_i / \Sigma R_i$$

U výpočtu adjustačního koeficientu nastává komplikace, kdy srážkoměrná měření a jim odpovídající radarové odhady ne vždy přesně odpovídají vztahu skutečných spadlých srážek a radarových odhadů pro celé území, a to již z předem zmíněného problému reprezentativnosti srážkoměrných měření. Při výpočtu se proto vytváří klouzavé časové okno a výpočet se provádí nejméně ze tří dnů a průměrná plošná akumulace srážek ze srážkoměrů musí přesáhnout 2 mm. Dále se provádí vážení podílů jednotlivých dnů, kdy vzdálenější dny mají váhu menší. Zároveň musí být počet srážkoměrných stanic vykazujících naměřené úhrny srážek větší než pět. Adjustace se provádí ve vzdálenosti 20 až 150 km a do výpočtu se nezahrnují problematická místa jako jsou horské oblasti nebo stíněné stanice.

Další metodou korekce radarových dat je kombinovaný odhad srážek. Do procesu výpočtu vstupují adjustované radarové odhady společně s dostupnými srážkoměrnými měřeními. K výpočtu se využívá zjednodušená metoda optimálního odhadu, u které se předpokládá, že srážkoměrné měření je reprezentativní pro daný radarový územní element a že zde platí údaj srážkoměru.

V ostatních pixelech se výsledný optimální odhad počítá jako lineární kombinace srážkoměrných měření a radarových odhadů. Váhy srážkoměrných měření klesají s rostoucí vzdáleností od srážkoměrných stanic podle negativně exponenciální funkce. Zjednodušeně to vyjadřují následující rovnice:

$$R_m = a \cdot G + (1-a) \cdot R$$
$$a = \exp(-d/\text{konst.})$$

kde R_m je výsledný kombinovaný odhad v daném územním elementu, G nejbližší srážkoměrné měření či odhad z nejbližších měření, R radarový odhad a d vzdálenost od nejbližšího srážkoměru.

Pole kombinací se při úspěšnosti větší než 99 % omezuje na místa, kde radar naměřil srážky větší nebo rovné 0,1 mm. Systém na základě vztahu radar–srážkoměr vylučuje stanice, kdy jedna naměří podstatně větší množství než druhá. Zároveň se vylučují hodnoty, které jsou velmi nepravděpodobné (např. 500 mm). Každá z výše uvedených korekcí radarových dat udává jiné hodnoty výsledných srážek [6].

2.2 Výhody a nevýhody jednotlivých měřících metod

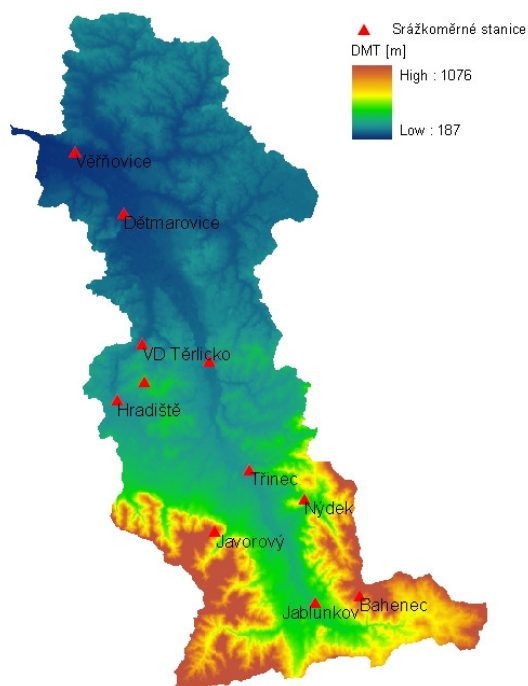
Mezi výhody sítě měřících stanic patří schopnost pokrýt spojitou časovou oblast krátkých (minutových) srážek, které radar nemusí zachytit. Tato schopnost ovšem brání možnosti okamžitých měření. Navíc skutečnost, že srážková pole se mohou na vzdálenost stovek metrů lišit o několik řádů a existence lokálních extrémů rovněž ukazuje na další nevýhodu srážkových sítí - jejich hustota nikdy nemůže být dostatečná k tomu, aby zabránila chybám měření daným diskrétností měření v prostoru. Zjednodušeně řečeno - za kopcem už vůbec pršet nemusí, nebo tam může být krupobití.

Radarová pozorování srážek mají oproti klasickým sítím srážkoměrů výhodu měření na velké ploše z jediného místa v téměř reálném čase. Radarová pozorování však ukazují pouze okamžitá rozložení intenzit srážek v diskrétních časech. Srážková pole mají přitom velkou proměnlivost i v čase, okamžité hodnoty se během 10 minut mohou lišit o několik řádů. Podobně jako u srážkoměrných sítí se nelze libovolně přibližovat plnému pokrytí, nelze z fyzikálních vlastností daného měřícího zařízení libovolně zkracovat dobu měření.

3 Vstupní data

Data použitá v této práci se vztahují k teplé polovině roku 2005. Jedná se o epizody z července a srpna daného roku a zahrnují soubory srážkoměrných a radarových dat. Veškerá pozemní měření srážek byla ze stanic z území České republiky. Jedná se o hodinové úhrny srážek na jednotlivých srážkoměrných stanicích.

Studium bylo prováděno pro povodí řeky Olše. Jako pilotní území bylo vybráno povodí řeky Olše, ve kterém je k dispozici celkem jedenáct měřících stanic ve vlastnictví s.p. Povodí Odry (obr. 1). Jedná se o tok druhého řádu odvodňující zájmové území do řeky Odry. Jejím nejvýznamnějším levostranným přítokem je řeka Stonávka. Povodí má rozlohu 1118 km², z toho 479 km² leží na území Polska. Tento fakt samozřejmě ovlivňuje dostupnost dat a jejich rozmístění.



Obr. 2. Rozmístění dostupných srážkoměrných stanic v povodí řeky Olše

V horním toku, od Jablunkova po Třinec, tok Olše tvoří hranici mezi Slezskými a Moravskoslezskými Beskydami. Od Těšína ke Karviné a od Zawady k soutoku Olše a Odry tvoří česko-polskou hranici.

Vzhledem ke značné variabilitě srážkových úhrnů především v letních měsících je kontrola radarových i srážkoměrných dat velmi obtížná a použitý postup proto zahrnuje také subjektivní posouzení kvality dat.

Před samotnými interpolačními metodami byla provedena kontrola četnosti dat. Při ní byly nejdříve vyřazeny dny, pro které bylo k dispozici méně než 95% radarových měření. Povodí řeky Olše disponuje celkem 11 srážkoměrnými stanicemi. Pro nalezení vhodné interpolační metody je tento počet nedostačující, vhodné je doplnit o radarová data.

Dále byly statisticky porovnány naměřené údaje ze stanic s radarovými srážkami z odpovídajících pixelů.

4 Interpolační metody

Cílem práce bylo otestovat metody pro kvantitativní odhad srážek s důrazem na vyzkoušení interpolačních metod s využitím malého počtu měření.

V meteorologii se využívá velmi často metoda optimální interpolace. Zde je interpolace nově naměřených hodnot prováděna na základě autokorelačních analýz (analýz průměrného „informačního vlivu“ nově naměřených hodnot vzhledem k chybám měření a variability analyzovaných polí) do tzv. předběžného pole. Jako předběžné pole se používá výstup z předchozího běhu modelu (obvykle se jedná o výstup 6h starý, ale principiálně to může být třeba klimatická analýza zachovávající fyzikální konzistenci), do kterého se matematickými postupy zavádějí nově naměřené hodnoty a pole meteorologických veličin se opravují. [7]

4.1 Metoda inverzních vzdáleností

Metoda inverzních vzdáleností (inverse distance weighting - IDW) využívá při výpočtu váženého lineárního průměru. Vahou použitou ve výpočtu je reciproká hodnota vzdálenosti měření od lokálního odhadu s mocninou p . Pro mocninu p se často používá hodnota 2 (pak jde o IDS - inverse distance square), obecně se doporučují hodnoty mezi 1 a 3. Vyšší hodnota mocniny znamená více dramatický průběh pole a větší vliv nejbližších hodnot. V primární podobě jde o exaktní interpolační metodu. [4]

4.2 Metoda krigování

Krigování je geostatistickou metodou odhadu. Odhady jsou počítány na základě vážených lineárních průměrů, kde je pro každé místo optimalizována soustava vah tak, aby měl výsledný odhad co nejmenší chybu (rozptyl odhadu) (bližší popis např. Horák 2006). Ke krigování je nutné provést strukturální analýzu a popsat vztahy ve zkoumaném poli, někdy se ale situace zjednodušuje předpokladem lineárního semivariogramu. Teoreticky by při nulovém zbytkovém rozptylu mělo jít o exaktní metodu, praktické implementace však ukazují chování aproximační, tedy vyhlazení původních hodnot.

K základním předpokladům pro provádění geostatistických odhadů patří pro většinu metod (vyjma neparametrických) požadavek normální distribuce interpolované veličiny, stacionarita a homogenita, ze kterých vyplývá i požadavek na stejný rozptyl v poli.

Jednoduché krigování je nejjednodušší metodou krigování. K výpočtu je potřeba průměrná hodnota veličiny v poli.

U základního krigování se předpokládá, že prostorová proměnná má neznámou, ale konstantní střední hodnotu. [4]

U řady metod je možné definovat navíc způsob výběru bodů, spadajících do výpočtu (počet, někdy min. a maximální počet, někdy počet pro jednotlivé úhlové sektory). Vedle stanovování počtu bodů je možné stanovit i vyhledávací poloměr, který určuje z jaké maximální vzdálenosti budou údaje zahrnuty do výpočtu a rovněž do jaké vzdálenosti bude prováděna extrapolace izolinií. Pokud existují v datovém souboru shluky dat, které spolu nesouvisí a nemají být propojeny izoliniemi, je třeba volit vyhledávací poloměr menší než 1/2 vzdálenosti krajních bodů těchto sousedících shluků.

5 Závěr

Předložený článek se zabývá odhadem srážek s využitím radarových dat a pozemních měření. Je třeba podotknout známou skutečnost, že samotná radarová data dávají výrazně horší charakteristiky než data korigovaná. Na druhé straně použití radarových dat znamená zachování struktury srážkového pole, kde je radar nezastupitelný, a zlepšení kvality odhadů ve srovnání s interpolací pozemních měření.

Na zadaných datech byly testovány tři interpolační metody – metoda inverzních vzdáleností, jednoduché a základní korigování. Porovnání metod pro odhad bodových srážek ukázalo, že nejvhodnější metodou je základní krigování.

Jako nejvhodnější způsob interpolace se jeví kombinace obou zdrojů dat jak z pozemních měření, tak i radarové odhady se zahrnutím dalších charakteristik jako je např. nadmořská výška.

Formátování odkazu na článek v časopise nebo ve sborníku konference:

1. Austin P.M. *Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall. Monthly Weather Review*, 1987. Vol. 115. s. 1053 - 1070.
2. Collier CH.C. *Applications of weather radar systems*. Praxis Publishing Ltd., 1996, 390s.
3. Harrison D.L., Driscoll S.J., Kitchen M. *Improving precipitation estimates from weather radar using quality control and correction technique. Meteorol.Appl.*6, 2000, s. 135-144.
4. Horák J. *Prostorová analýza dat*. Skripta VŠBTUO, 2006. 149 stran.
5. Sokol Z., Řezáčová D. *Statistická korekce denních srážkových úhrnů stanovených radarem s využitím klasifikované regrese. Meteorologické zprávy. 1/54*. 2001.
6. Šálek M, Novák P., Kramář J. *Údaje metod dálkové detekce během povodní v srpnu roku 2002. Meteorolog. Zpr.*, 55, 2002, č. 6, s. 177–179.
7. Sokol Z., Řezáčová D., Pešice P. *Odhad bodových i plošných srážek s využitím srážkoměrných a radarových dat. Meteorologické zprávy. 1/56*. 2003 str. 1-12.