

FOTOGRAFIE OPTICKÝCH JEVŮ V ATMOSFÉŘE. DUHY, FATA MORGÁNA, ZELENÝ ZÁBLESK

Martin Popek, Amateur Stormchasing Society a Eurosprites, brahe@volny.cz

Jan Bednář, Matematicko-fyzikální fakulta UK, katedra meteorologie a ochrany prostředí, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha, jan.bednar@mff.cuni.cz

Photos of optical phenomena in Atmosphere. Rainbows, rise of horizon (Fata Morgana), green flash. In this article remarkable photos of optical phenomena in connections with rainbows, rise of horizon (Fata Morgana) and green flash are presented. Using brief commentaries these phenomena are described and explained.

KLÍČOVÁ SLOVA: duha – podružné duhové oblouky – temný pás – fata morgána – zvednutí obzoru – zelený záblesk
KEY WORDS: rainbow – supernumerary rainbows – dark belt – Fata Morgana – rise of horizon – green flash



Obr. 1. Hlavní duha s podružnými duhovými oblouky a slabší vedlejší duha. Foto: M. Popek, 11. 5. 2010, Nýdek, ČR.

Fig. 1. Primary rainbow with supernumerary rainbows, weak secondary rainbow. Photo: M. Popek, 11. 5. 2010, Nýdek, Czech Republic



Obr. 2 Tzv. bílá duha v mlze. Foto: M. Popek, 23. 1. 2010, Varadero, Kuba.

Fig. 2. White rainbow in fog. Photo: M. Popek, 23. 1. 2010, Varadero, Cuba.

1. ÚVOD

Tento článek volně navazuje na Popka, Bednáře (2014), kde byly prezentovány snímky vybraných halových jevů, koron a glórií spolu s příslušnými komentáři. Tento příspěvek je zaměřen jednak na několik zajímavých fotografií jevu duha, jednak je zde věnována pozornost úkazům spojeným s výrazným optickým zvednutím obzoru a prostoru nalézajícího se bezprostředně za ním, což vytváří známý jev populárně nazývaný fata morgána. Kromě toho zmíněn tzv. zelený záblesk (zelený paprsek).

Duha sice nesporně patří k velice známým úkazům a prakticky každý ji dobře zná, ale její teorie rozhodně není triviální a v jejím rámci lze ilustrovat prakticky celou geometrickou a do značné míry i vlnovou optiku. Mimo jiné se jedná o zákony odrazu a lomu, včetně vícenásobných odrazů, disperzi polychromatických světelných paprsků, polarizaci světla při odrazech a lomech, princip minimální odchylky, zákonitosti interference a ohybu světelných paprsků apod. Zde se však podrobněji zaměříme na dvě dílčí záležitosti, a to na tzv. podružné duhové oblouky, vyskytující se při vhodných pozorovacích podmínkách na vnitřní straně hlavní duhy, resp. na vnější straně duhy vedlejší, a na rozdíly v jasnosti oblouky na vnitřní straně hlavní duhy, na vnější straně vedlejší duhy a v pásu mezi oběma těmito duhami. Výklad bude přitom založen na tzv. principu minimální odchylky, jenž může být považován za fundamentální a univerzální zákonitost v celé geometrické optice. Pokud se jedná o jev zvaný fata morgána, je cílem článku stati především upozornit na meteorologické podmínky jejího vzniku, přičemž zejména první ze dvou prezentovaných případů představuje v tom-



Obr. 3 Hlavní a vedlejší duha, výrazné rozdíly jasu oblohy v okolí těchto duh. Foto: M. Popek, 11. 5. 2010, Nýdek, ČR.

Fig. 3. Primary and secondary rainbows, apparent differences in sky brightness in vicinity of these rainbows. Photo: M. Popek, 11. 5. 2010, Nýdek, Czech Republic.



Obr. 4 Velmi výrazná hlavní duha s podružnými duhovými oblouky. Foto: M. Popek, 31. 5. 2012, Bystřice, ČR.

Fig. 4. Excellent primary rainbow with apparent supernumerary rainbows. Photo: M. Popek, 31. 5. 2012, Bystřice, Czech Republic.



Obr. 5 Hlavní a vedlejší duha při vyšší poloze Slunce na obloze, výrazný temný pás mezi oběma duhami. Foto: M. Popek, 11. 5. 2010, Nýdek, ČR.

Fig. 5. Primary and secondary rainbows on high position of the Sun above horizon. Photo: M. Popek, 11. 5. 2010, Nýdek, Czech Republic.

to směru vynikající ukázkou, a to zejména z hlediska výskytu tohoto jevu ve vztahu k synoptické situaci v oblasti Skandinávie a k ní přiléhajícího Norského moře.

2. OBRÁZKY DUH

Na obr. 1 je patrná výrazná hlavní duha s mimořádně zřetelnými podružnými duhovými oblouky na své vnitřní straně. Tyto oblouky se jeví jako vícenásobné a postupně slábnoucí opakování barevného spektra duhy. Jde o interferenční jev, jenž bude dále popsán podrobněji. Slaběji je na obr. 1 vyjádřena vedlejší duha, jež se nalézá cca osm úhlových stupňů nad hlavní duhou. Tento komplex hlavní a vedlejší duhy je znovu vidět na obr. 3 a obr. 5, kde však budou lépe patrný další detaily.

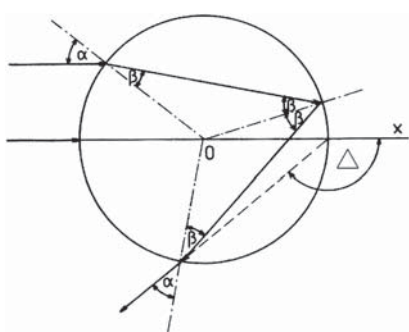
Obr. 2 posléze ukazuje případ tzv. bílé duhy vznikající na velmi malých vodních kapičkách v mlze nebo i v silnějším kouřmu. Obr. 3 pak naopak představuje velmi jasné vyjádření barevného spektra hlavní i vedlejší duhy, kdy se uplatňují větší dešťové kapky. Podružné duhové oblouky jsou na tomto obrázku patrně slaběji, avšak poměrně dobře lze pozorovat odstupňování jasu mezi třemi částmi oblohy. Nejjasnější je segment oblohy na vnitřní straně hlavní duhy, zatímco jako nejtemnější se jeví pás mezi hlavní a vedlejší duhou. Obloha na vnější straně vedlejší duhy se v tomto pohledu vyznačuje „středním“ jasem. Na tomto obrázku lze dobře sledovat zejména kontrast jasů oblohy na vnitřní straně hlavní duhy a vnější straně duhy vedlejší, zatímco temný pás mezi duhami bude výrazněji patrný na obr. 5.

Na obr. 4 je vidět takřka dokonalá hlavní duha, včetně podružných duhových oblouků, a opět možno upozornit na kontrast jasů oblohy po obou stranách této duhy. Na obr. 5 pak znovu spatřujeme působivý komplex hlavní a vedlejší duhy, přičemž zde dobře patrná relativně malá výška obou těchto duhových oblouků svědčí o poloze Slunce výše nad obzorem, a zejména lze upozornit na výrazný temný pás mezi duhami. Expozici fotografií duhy uzavírá obr. 6, na němž se objevuje zřetelný odraz duhy na vodní hladině. V souvislosti s tímto obrázkem je vhodné upozornit na skutečnost, že zde se nejedná o odraz v materiálním smyslu slova, neboť v případě duhy se nejedná o objekt nalézající se nad obzorem v pevné vzdálenos-



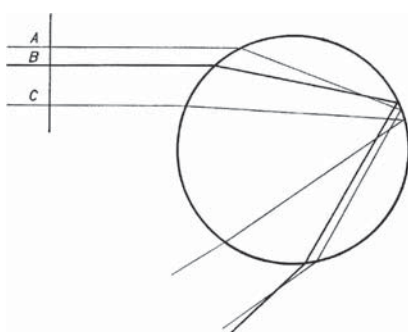
Obr. 6 Odraz duhy na vodní hladině. Foto: M. Popek, 14. 11. 2012, Cairns, Austrálie, Queensland.

Fig. 6. Reflected primary rainbow on water surface. Photo: M. Popek, 14. 11. 2012, Cairns, Australia, Queensland.



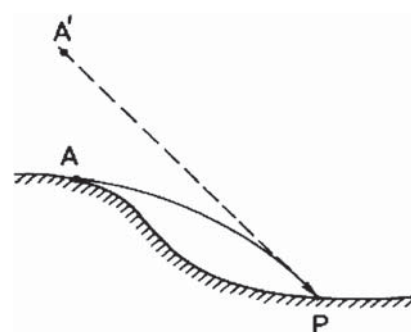
Obr. 7 Vznik hlavní duhy jedním vnitřním odrazem světelných paprsků na vodních kapkách.

Fig. 7. Internal single reflection of light rays in water droplet in connection with primary rainbow.



Obr. 8 Interference paprsků vystupujících z kapky po jednom vnitřním odrazu.

Fig. 8. Interference of rays after single internal reflection in droplet.



Obr. 9 Zvednutí obzoru.

Fig. 9. Rise of horizon.

$n = 1,33$ lze spočítat (Bednář 1989), že úhel minimální odchylky je pro vlnové délky odpovídající viditelnému slunečnímu záření (světlu) roven cca 138° , čemuž odpovídá úhel dopadu na kapku $\alpha = 59,5^\circ$. Po zpětném promítnutí na nebeskou klenbu pak pata paprsku vystupujícího na obr. 7 z kapky představuje nejvyšší bod oblouku hlavní duhy. Vzhledem k tomu, že dopadající paprsky přímého slunečního záření lze považovat za nepolarizované, je celkový prostorový obrázek vystupujících paprsků válcově symetrický vůči ose x z obr. 7. Při rotaci kolem této osy pak pata vystupujícího paprsku opiše po nebeské klenbě duhový oblouk.

Viditelné sluneční záření (světlo)

ti, ale o fiktivní úkaz, jehož zdánlivá vzdálenost je určena pozicí pozorovatele a směrem přímých slunečních paprsků.

3. PODRUŽNÉ DUHOVÉ OBLOUKY, TEMNÝ (ALEXANDRŮV) PÁS MEZI HLAVNÍ A VEDLEJŠÍ DUHOU

Obr. 7 schematicky znázorňuje paprsek podstupující jeden vnitřní odraz na idealizované dokonale sférické vodní kapce. Tento paprsek vstupuje do právě zmíněné kapky pod úhlem dopadu α , příslušný úhel lomu je označen β , paprsek z kapky posléze po jednom vnitřním odrazu vystupuje opět pod úhlem α , přičemž odchylku směru vystupujícího paprsku od směru dopadajících přímých slunečních paprsků představuje úhel \square .

Připomeňme si nyní na obr. 7 princip minimální odchylky, podle něž v těch případech, kdy ve funkční závislosti úhlu odchylky \square na úhlu dopadu α existuje lokální minimum, dochází ve směrech blízkých této minimální odchylce ke koncentraci a disperzi světla, tj. v našem případě, jemuž odpovídá obr. 7, vzniká hlavní duha. V situaci znázorněné na tomto obrázku by paprsek dopadající na kapku přesně v ose x , tj. pro $\alpha = 0$, a při svém směřování do středu kapky vystupoval z kapky po jednom vnitřním odrazu ve směru přesně opačném ($\square = 180^\circ$).

Jestliže bychom nyní na obr. 7 posouvali dopadající paprsek při zachování jeho směru dále od osy x , zmenšuje se úhel odchylky \square až k jisté hodnotě \square_{\min} , což nechtě odpovídá právě zákresu na našem obrázku. Při dalším vzdalování dopadajícího paprsku od osy x směrem ke konturám kapky úhel odchylky \square opět poněkud roste. Při relativním indexu lomu vodní kapky ke vzduchu

není monochromatické, ale představuje soubor vlnových délek celého spektra, od modré po červenou barvu. Protože relativní index lomu vody vůči vzduchu poněkud roste s klesající vlnovou délkou, odpovídá různým barvám i poněkud odlišný úhel minimální odchylky \square_{\min} , čímž se vytváří barevný pás oblouku hlavní duhy o úhlové šířce cca 2° . Uvědomíme-li si, že směr osy x z obr. 7 představuje směr přímých slunečních paprsků, lze elementární geometrickou úvahou odvodit, že nejvyšší bod hlavní duhy se nalézá nad ideálním obzorem v úhlové výšce α_0 , pro niž platí $\alpha_0 = 42^\circ - \alpha_s$, kde α_s je úhlová výška Slunce nad ideálním obzorem. Je-li tedy úhlová výška Slunce nad ideálním obzorem větší než 42° , je hlavní duha pozorovateli skryta pod horizontem.

Na základě právě uvedeného si lze snadno představit, že dopadající paprsky blížící se shora nebo zdola paprsku zakreslenému na obr. 7 vystupují z kapky po jednom vnitřním odrazu s odchylkou \square poněkud větší ve srovnání s minimální odchylkou, tzn. že se jejich paty na obloze promítají podél vnitřní strany hlavní duhy. Dochází přitom k tomu, že do daného směru vystupujícího paprsku se slučují dva do kapky vstupující paprsky, které při průchodu kapkou vůči sobě získávají určitý fázový posun (viz obr. 8 převzatý z Podzimka (1959), kde jako B je označen paprsek odpovídající minimální odchylce). Tímto způsobem vzniká na vnitřní straně hlavní duhy interferenční jev v podobě podružných duhových oblouků.

Stejný výklad by mohl být opakován pro případ, kdy dopadající paprsky podstupují na vodní kapce dva vnitřní odrazy, podrobněji včetně příslušného náčrtu viz Bednář (1989). Paprsky pak z kapky vystupují s minimální odchylkou cca 130° , což zna-



Obr. 10 Fata morgána nad Norským mořem. Foto: M. Popek, 11. 7. 2010, norské pobřeží, Averoy, 63°1'4" N, 7°18'46" E.

Fig. 10. Fata Morgana over Norwegian Sea. Photo: M. Popek, 11. 7. 2010, Norwegian coast, Averoy, 63°1'4" N, 7°18'46" E.



Obr. 11 Detail z předchozího obr. 10.

Fig. 11. Detail of Fig. 10.

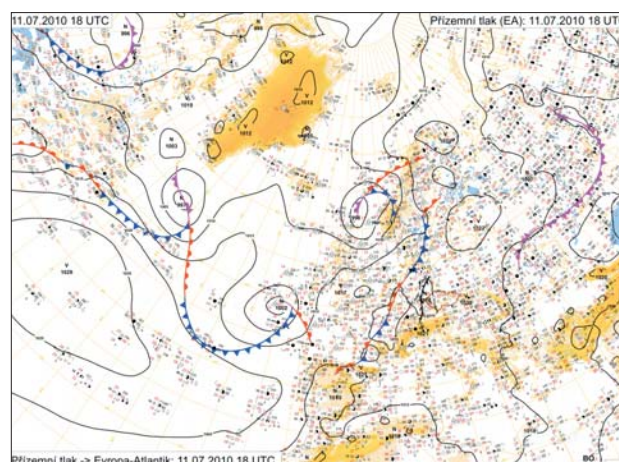
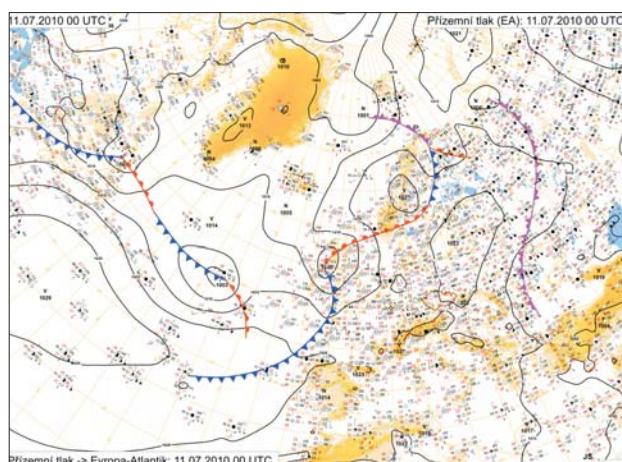
mená, že jim odpovídající tzv. vedlejší duhu se nalézá na obloze cca 8° nad hlavní duhou. Jeden vnitřní odraz navíc se pak projevuje tím, že sled barev je vůči hlavní duze převrácený a inter-

ferenční jev podružných duhových oblouků se vytváří na vnější straně vedlejší duhy, jejíž úhlová šířka dosahuje až 4°.

Z předchozího výkladu mj. vyplývá, že paprsky podstupující na vodní kapce jeden vnitřní odraz přicházejí do našeho oka pouze z části oblohy na vnitřní straně hlavní duhy. Tomu odpovídající kruhová výšeč je proto při dobrých pozorovacích podmínkách zřetelně jasnější než obloha na vnější straně hlavní duhy. U vedlejší duhy je tomu evidentně opačně, paprsky přicházející do našeho oka po dvou vnitřních odrazech na kapkách vycházejí jakoby z oblohy na vnější straně této duhy, zatímco vnitřní strana je pro ně „zakázaná“. Z toho jednoznačně vyplývá následující závěr. Nejtemnější částí oblohy je při výskytu hlavní a vedlejší duhy pás mezi těmito duhami (tzv. temný Alexandrův pás), neboť tato část oblohy je „zakázaná“ pro paprsky podstupující na vodních kapkách jeden i dva vnitřní odrazy. Vzhledem k tomu, že výraznost vedlejší duhy je přirozeně slabší než duhy hlavní, je obloha na vnější straně vedlejší duhy relativně tmavší než na vnitřní straně duhy hlavní. Toto rozdělení jasu oblohy, jež je zde snaha ilustrovat pomocí obr. 3 a obr. 5, je však pozorovatelné jen při vhodných pozorovacích podmínkách.

4. FATA MORGÁNA, ZELENÝ ZÁBLESK

Následující části příspěvku budou věnovány jevu, jenž bývá označován populárním názvem „fata morgána“. Jedná se o případy, kdy se v zorném poli pozorovatele objeví objekty, jež se nalézají za ideálním obzorem (astronomickým horizontem), a to



Obr. 12 Synoptická situace 11. 7. 2010 v termínech 00 a 18 UTC. Archiv ČHMÚ.

Fig. 12. Synoptic chart, 11. 7. 2010, 00 and 18 UTC. Archives of CHMI.



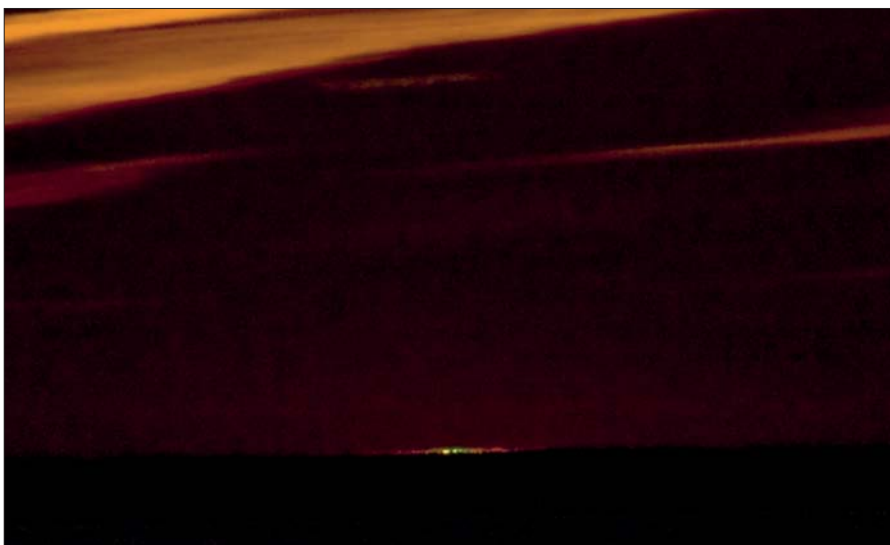
Obr. 13 Fata morgána na baltském pobřeží, detail pobřeží. Foto: M. Popek, 20. 9. 2012, poloostrov Hel, Polsko.

Fig. 13. Fata Morgana over Baltic coast, detail view of coast. Photo: M. Popek, 20. 9. 2012, Hel peninsula, Poland.



Obr. 14 Fata morgána na baltském pobřeží, širší záběr. Foto: M. Popek, 20. 9. 2012, poloostrov Hel, Polsko.

Fig. 14. Fata Morgana over Baltic coast, wide-angle of view. Photo: M. Popek, 20. 9. 2012, Hel peninsula, Poland.



Obr. 15 Zelený záblesk. Foto: M. Popek, 20. 4. 2013, poloostrov Hel, Polsko.

Fig. 15. Green flash. Photo: M. Popek, 20. 4. 2013, Hel peninsula, Poland.

desítky, někdy však až stovky km. Dochází k tomu za situací, kdy se uplatní mimořádně silné tzv. zvednutí obzoru. V této souvislosti věnujme nejprve pozornost obr. 9. Hustota vzduchu zpravidla s výškou klesá; výjimku z tohoto pravidla představují pouze inverze hustoty vzduchu vyskytující se však jen v relativně tenkých vrstvách vzduchu bezprostředně nad velmi silně ohřátým zemským povrchem. Při obvyklém poklesu hustoty vzduchu s výškou se světelný paprsek šířící se atmosférou šikmo vzhůru láme (zakřivuje se) od kolmice, zatímco paprsek směřující šikmo dolů se láme ke kolmici, neboť optická hustota vzduchu je úměrná jeho prosté hustotě. Právě zmíněný obr. 9 ukazuje, samozřejmě pro názornost v přehnané míře, tuto situaci, kdy pozorovatel nalézající se v bodě P vidí předmět A ve směru tečny paprsku v bodě jeho vstupu do svého oka, tj. poněkud výše, než odpovídá skutečnosti dle prosté geometrické konfigurace. Určité zvednutí obzoru je tedy běžným jevem daným obvyklým poklesem hustoty vzduchu s výškou, avšak za normálních okolností nebývá natolik výrazné, aby si ho pozorovatel vůbec uvědomil. Obvyklé zakřivení světelných paprsků má sice stejný smysl jako zakřivení zemského povrchu, ale je mnohem menší.

K výraznému zesílení efektu zvednutí obzoru však dochází za situací, kdy hustota vzduchu v blízkosti zemského povrchu klesá s výškou zvláště rychle. Z jednoduchých znalostí termodynamiky vzduchu bezprostředně vyplývá, že je tomu tak zejména při výskytu vertikálně mohutných a výrazných přízemních teplotních inverzí. Zakřivení světelných paprsků se pak může při z tohoto hlediska extrémních podmínkách přiblížit zakřivení povrchu zemského glóbu, tzn. že pozorovateli mohou pak do jeho zorného pole vystoupit i terénní útvary a různé objekty nalézající se relativně daleko za ideálním obzorem. Prostorový dosah tohoto jevu však není neomezený, jak by se mohlo zdát pro případ, kdy zakřivení světelných paprsků by bylo stejné jako zakřivení povrchu Země. I pro anomálně silně zakřivené paprsky totiž platí omezení dohlednosti dané atmosférickým rozptylem světla, tzn. že rozeznatelný předmět nemůže být vzdálen více než maximálně několik málo stovek km.

Právě zmíněný případ anomál-

ně zesíleného zvednutí obzoru při zakřivení světelných paprsků blízkém zakřivení povrchu Země je zvláště zajímavý při pohledu nad mořskou hladinu, kdy takto mohou být pozorovatelné i vzdálenější útesy, ostrovy, lodě apod., aniž dojde k rozmazání obrazu vzájemným překrýváním se příliš mnoha objektů. Jako velice zajímavou ukázkou v tomto směru jsou zde uváděny obr. 10 a obr. 11, které byly pořízeny dne 11. 7. 2010 v časných odpoledních hodinách na norském pobřeží a ukazují jev fata morgána při pohledu západním směrem nad Atlantik. Jsou zde velmi zřetelné fiktivní obrazy útesu, stožáru, lodě, což vše se nalézá za ideálním obzorem. Aktuálních meteorologických podmínky prezentuje obr. 12 se synoptickou mapou z téhož dne z termínů 00 a 18 UTC.

Touto mapou je názorně dokumentován výrazný nástup velmi teplé vzduchové hmoty (za teplou frontou) od jihovýchodu nad Norské moře, které má počátkem léta na povrchu ještě relativně velmi chladnou vodu. Je pravděpodobné, že efekt oteplení vzduchu byl ještě zesilován orografickým fénem při přetékání teplé vzduchové hmoty a přechodu teplé fronty přes hornaté oblasti Skandinávie.

Za situací s tak výraznými přízemními inverzemi teploty vzduchu, že se zakřivení světelných paprsků blíží zakřivení povrchu Země, však nad pevninou často pozorujeme pouze jakoby rozmazaný a rozechvělý světelný pás nad obzorem, neboť nám rušivě vzájemně splývají obrazy objektů různé od nás vzdálených podél trajektorie paprsku sledujícího před vstupem do našeho oka přibližně zemský povrch. Lze to vidět na obr. 13 a obr. 14, které byly pořízeny dne 20. 9. 2012 při plavbě severně od pobřeží poloostrova Hel (Polsko, Baltské moře, v blízkosti Kdyňského zálivu) v časném odpolední. Byl slunečný den se značným radiačním ohříváním pevniny, kdy však existovalo čerstvé proudění s přízemní advekcí relativně chladného vzduchu z moře nad pobřežní oblast pevniny, na čemž se mohla velmi dobře podílet i denní bríza. Při pohledu z moře nad pevninu je pak dobře viditelný zmíněný rozmazaný světelný pás. Zřejmě se zde uplatňuje i vliv složité struktury prostorového pole teploty, a tedy i hustoty vzduchu, a tím i indexu lomu podél pobřežního rozhraní. Při srovnání s předchozím „norským“ případem pozorování jevu fata morgána je vhodné si uvědomit i to, že prostorové měřítko je zde zřejmě výrazně menší. Pozornému čtenáři by na obr. 13 a obr. 14 neměla uniknout zajímavá podrobnost, jež jasně dokládá, že zakřivené světelné paprsky vycházejí až spoza obzoru, nikoli přímo z pobřeží. Pobřeží je zčásti pokryto řídkým borovicovým lesem, přičemž koruny borovic jsou ve výšce víceméně spojitě vzájemně zapojeny, zatímco pod nimi mohou mezi jednotlivými kmeny bez větvi pronikat zakřivené světelné paprsky z prostoru za obzorem. Je to zřejmě ze šířky horizontálního světelného pásu, který je ve vrstvě korunového zápoje borovic evidentně odstínován. Každý z obou právě uvedených případů pozorování jevu fata morgána je dokumentován dvojicí snímků, z nichž jeden představuje detailnější a druhý širší záběr, což poskytuje možnost získat poněkud plastičtější představu o pozorovaném jevu. Ve smyslu předchozího výkladu lze takto například porovnat výraznější objekty na obr. 11 se situací na obr. 13, kde se ani v detailnějším záběru obrazy konkrétních objektů neobjevují.

Od právě popsané varianty jevu fata morgána, kdy podstata spočívá v optickém zvednutí prostoru nalézajícího se za ideálním obzorem, je třeba odlišit variantu působenou tzv. svrchním (horním) zrcadlením, které podrobně popisuje například Bednář (1989). V takovém případě podstupuje paprsek vycházející z prostoru za ideálním obzorem v atmosféře totální odraz (obvykle na výškové teplotní inverzi), a pozorovatel pak spatří příslušný objekt v převrácené poloze zpravidla výše nad obzorem. Fotografická dokumentace tohoto jevu je však v kvalitě dostatečné pro časopiseckou publikaci velice vzácná, a pro tento článek se jí bohužel nepodařilo zajistit.

Skutečnost, že jev zvednutí obzoru, včetně jeho zde zmiňovaných extrémních podob, je založen na tom, že světelný paprsek procházející vrstvami ovzduší šikmo nahoru (dolů) je zakřiven od kolmice (ke kolmici), nám umožňuje srovnání i s dalšími jevy atmosférické optiky. V této souvislosti je předkládán na závěr zajímavý obr. 15, jenž dokumentuje jev tzv. zeleného záblesku (též zeleného paprsku). Je obecně známo, že sluneční disk vidíme na obloze poněkud výše nad obzorem, než by odpovídalo vzájemné poloze Země a Slunce při absenci lomu slunečních paprsků v zemské atmosféře. Důvod je stejný, jako u jevu zvednutí obzoru. Toto tzv. zvednutí slunečního disku je výrazné zejména při poloze Slunce blízko obzoru, pozorujeme-li například západ Slunce. Optický index lomu, a tedy i zakřivení slunečních paprsků při jejich průchodu ovzduším, poněkud roste s klesající vlnovou délkou elektromagnetického záření. Při pozorování ve velmi čistém vzduchu (například v horách, nad mořem apod.) se potom někdy stane, že zapadající poslední srpková část slunečního disku na několik málo sekund zazáří jasně zeleným zábleskem, neboť ve světle větších vlnových délek (žlutá, oranžová a červená barva) již celý sluneční disk zapadl za obzor. Na první pohled by se zde nabízel otázka, proč se neuplatní spíše záblesk namodralý nebo nafialovělý, což by odpovídalo nejkratším vlnovým délkám ze spektra viditelné části slunečního záření. V této souvislosti je však třeba si uvědomit, že právě tyto nejkratší vlnové délky světla jsou zejména při poloze Slunce u obzoru v přímých slunečních paprscích extrémně silně zeslabovány působením molekulárního rozptylu v atmosféře.

5. ZÁVĚR

Komentované fotografie zajímavých optických jevů, které jsou prezentovány zde i v předchozím článku Popek, Bednář (2014), snad zaujmou čtenáře a poskytnou jim estetický zážitek i odborné poučení. Mohly by však být i příležitostí k hlubšímu zamýšlení přinejmenším ve dvou směrech:

- Atmosférická optika představuje vynikající prostředí pro výklad celé problematiky klasické geometrické i vlnové optiky. Navíc v tomto směru poskytuje široký soubor konkrétních a velmi ilustrativních ukázek, které prakticky zcela pokrývají celou související problematiku. Lze si proto přát, aby jevy atmosférické optiky byly více využívány v středoškolských a vysokoškolských kurzech optiky, neboť nepochybně mají potenciál významně přispět k jejich oživení a zefektivnění.
- Jevy atmosférické optiky poskytují velmi mnoho informací o dynamických a termodynamických procesech aktuálně probíhajících v atmosféře, o stratifikaci ovzduší, stavu oblaků apod. Mluví-li se někdy v meteorologii o tzv. nepřímé aerologii v souvislosti s tvary padajících ledových krystalků, bylo by vhodné uvědomit si a analogicky využívat mnohem širší informační potenciál optických atmosférických ukázek v tomto směru.

Poděkování:

Mapové podklady pro obr. 12 pocházejí z archivu ČHMÚ a za jejich vyhledání a poskytnutí děkujeme RNDr. Františku Šopkovi.

Literatura:

BEDNÁŘ, J., 1989. Pozoruhodné jevy v atmosféře. Atmosférická optika, akustika a elektřina. Praha: Academia. ISBN 80-200-0054-2.

PODZIMEK, J., 1959. Fysika oblaků a srážek. Praha: Nakladatelství ČSAV.

POPEK, M., BEDNÁŘ, J., 2014. Fotografie halových jevů, koron a glórií. *Meteorologické zprávy*, roč. 67, č. 1, s. 13–21. ISSN 0026-1173.

Lektoři (Reviewers): RNDr. Martin Setvák, CSc., Bc. Tomáš Tržický