

Vliv výšky Slunce, oblačnosti a nadmořské výšky na hodnoty indexu ultrafialového záření v Česku

HELENA TOMANOVÁ¹, LUCIE POKORNÁ²

¹ Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, Česko (Charles University, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geoecology, Prague, Czechia); e-mail: tomanovah@natur.cuni.cz

² Ústav fyziky atmosféry, Akademie věd České republiky, Praha, Česko (Institute of Atmospheric Physics, Czech Academy of Sciences, Prague, Czechia); e-mail: pokorna@ufa.cas.cz

ABSTRACT **The effect of sun elevation, cloudiness, and altitude on the ultraviolet index in Czechia** - Ultraviolet (UV) radiation has recently become an important topic in relation to the loss of stratospheric ozone. High doses of UV radiation have a negative effect on many organisms. This paper focuses on the UV index (UVI), which expresses the risk of UV radiation on human health. The aim of the paper is to describe the definition of UVI, and its measurement, and to summarize geographical parameters and meteorological conditions affecting the values of UVI. The effect of sun elevation, cloudiness, and altitude is demonstrated using observed data from the Hradec Králové, Košetice and Labská bouda stations during the period 2011–2017. The results show a strong effect of both sun elevation and cloudiness. The highest values of UVI (up to 8) are generally observed on sunny days around midday from May to July. The reduction of the UVI caused by clouds, fog, and rain is, on average, 85% of values typical for sunny days. The effect of altitude is distinctly weaker; a rise of UVI with increasing altitude is 0.4 per 1 km for clear sky and the surface without snow cover.

KEY WORDS cloud cover – Czechia – sun elevation – UV (ultraviolet) index

TOMANOVÁ, H., POKORNÁ, L. (2021): Vliv výšky Slunce, oblačnosti a nadmořské výšky na hodnoty indexu ultrafialového záření v Česku. *Geografie*, 126, 2, 221–242.

<https://doi.org/10.37040/geografie.2021.001>

Do redakce došlo v červnu 2020, přijato do tisku v únoru 2021.

1. Úvod

Sluneční záření je důležitým zdrojem energie pro naši planetu a také jedním z faktorů, který umožnil vznik života na Zemi. Energie ze Slunce se šíří prostřednictvím elektromagnetického záření relativně krátkých vlnových délek, maximum energie přichází ve vlnových délkách mezi 100 nm a 1,5 μm . Spektrum slunečního záření dělíme na ultrafialové (UV), viditelné a infračervené záření. Prostřednictvím záření nejkratších vlnových délek získává zemský povrch jen malou část celkové energie, přesto hraje UV záření nezastupitelnou roli v mnoha procesech v biosféře. Obvyklá intenzita je pro člověka přínosná a důležitá. Nadměrná expozice ovšem může mít velmi nepříznivé následky včetně závažných onemocnění očí a rakoviny kůže. Z tohoto důvodu je UV záření věnována náležitá pozornost.

Většina energie UV záření je zachycena v atmosféře, zejména záření nejkratších vlnových délek. Na záchytu se nejvíce podílí stratosféra díky vysokému obsahu ozónu (Meleti a kol. 2009). Z energie celkového (globálního) záření dopadajícího na zemský povrch tvoří UV záření jen 3–5 % (Alados-Arboledas a kol. 2003). Těmto nízkým intenzitám se většina organismů, včetně člověka, přizpůsobila; vytvořila si přirozené obranné bariéry v podobě tmavé kůže nebo srsti. Pokud je intenzita UV záření vyšší než obvykle, dochází k degeneraci DNA v buňkách živých organismů. To se projevuje různými zdravotními problémy u lidí a zvířat, v případě rostlin pak sníženou schopností fotosyntézy či odumíráním listů. Pokud by veškeré UV záření pronikalo až na zemský povrch, byly by jeho účinky pro život na Zemi smrtící (Allaart a kol. 2004).

Záření z oblasti UV-A a UV-B je schopné vyvolat zarudnutí kůže, tzv. erytém. Odtud se ustálil pojem „erytémové ultrafialové záření“. Kombinace intenzity erytémového záření a délky expozice se pak označuje jako „dávka“ UV záření. Vysoké dávky mohou způsobit poškození lidského organismu. Míra rizika spojená s nepřiměřeně dlouhou expozicí organismu na UV záření určité intenzity se vyjadřuje hodnotou UV indexu (UVI).

Předložená studie seznamuje čtenáře s definicí UVI a vlivem UV záření na živé organismy včetně člověka. Uvedeny jsou jednotlivé parametry obecně ovlivňující intenzitu UV záření dopadajícího na zemský povrch, mechanismy a míra jejich působení. Vlastní výzkum se zaměřuje na proměnlivost hodnot UVI naměřených na stanicích v Česku v letech 2010–2017. Je zkoumán vliv výšky slunce nad obzorem, oblačnosti a nadmořské výšky. Kapitoly 2 a 3 seznamují čtenáře s účinky UV záření, definicí UVI a faktory ovlivňujícími UVI. V kapitole 4 jsou uvedena data a metody jejich pracování. V kapitole 5 jsou popsány výsledky a v kapitole 6 jsou výsledky uvedeny do kontextu s doposud známými skutečnostmi. Kapitola 7 shrnuje nejdůležitější body celého příspěvku.

2. UV záření a jeho vliv na organismy

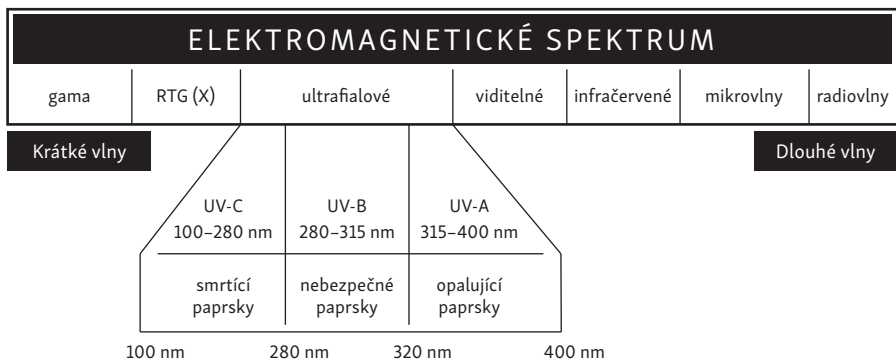
2.1. Dělení UV záření

UV záření je tvořeno elektromagnetickým zářením s vlnovými délkami od 100 do 400 nm, tedy kratšími než viditelné světlo (obr. 1). UV záření dělíme podle intenzity při zemském povrchu a jeho biologických účinků na 3 kategorie (Metelka 2018):

- UV-A (vlnové délky 315 až 400 nm): Jedná se o nejméně nebezpečnou složku UV záření, která způsobuje zhnědnutí (pigmentaci) kůže a podílí se na vzniku kožních nádorů. Tato část UV záření není absorbována ozónem a k zemskému povrchu prochází jen s minimálním zeslabením. Tvoří v průměru 99 % celkového UV záření, které dopadá na zemský povrch.
- UV-B (vlnové délky 280 až 315 nm): Toto záření je zodpovědné za rudnutí kůže. Zhnědnutí se dostavuje až s odstupem po expozici (vystavení se) tomuto záření. Při vyšších dávkách způsobuje akutní a chronické poškození kůže a očí. Záření je absorbováno v ozónové vrstvě jen částečně (z 50–60 %). Množství procházejícího záření je proměnlivé a závisí mimo jiné i na koncentracích ozónu.
- UV-C (vlnové délky 100 až 280 nm): Jedná se o UV záření nejkratších vlnových délek, které je z biologického hlediska nejnebezpečnější. Je zcela absorbováno molekulárním kyslíkem a ozónovou vrstvou, a to i při jejím zeslabení.

2.2. Vliv UV záření na lidský organismus

Organismy na Zemi se přizpůsobily vlivu UV záření, které dopadá na zemský povrch. V malých dávkách je potřebné, pro živočichy dokonce nezbytné. Má totiž antiseptické (dezinfekční) účinky a podporuje syntézu vitamínu D, čímž



Obr. 1 – Spektrum elektromagnetického záření podle vlnové délky uvedené v nm. Zdroj: CCOHS (2021).

napomáhá růstu kostí. U starších jedinců zabraňuje vzniku a rozvoji osteoporózy (Krajsová 1993). Podporuje také tvorbu melatoninu a omezuje rozvoj Alzheimerovy i Parkinsonovy choroby (Juzeniene a kol. 2011).

Vysoké dávky záření ovšem porušují bílkoviny v buňkách a molekuly nesoucí dědičnou informaci (DNA; de Gruijl 1997). U člověka vyvolává UV záření tzv. erytém definovaný v lékařství jako červené zbarvení kůže způsobené rozšířením krevních cév a zvýšeným prokrvením (Anderson, Anderson, Glanze 1994), proto se záření UV-A a UV-B souhrnně označuje jako „erytémové“. Nepřiměřeně dlouhé či soustavné působení erytémového záření může způsobit vznik rakoviny kůže a nádorových onemocnění. Dlouhodobým působením dochází také ke vzniku hlubokých vrásek, pigmentových skvrn, v krajním případě i sluneční alergie (Krajsová 1993). Objevuje se předčasné stárnutí pleti s projevy odlišnými od přirozeného procesu stárnutí, kůže ztrácí svou elasticitu, postupně hutní a hrubne, případně se objevují červená šupinatá ložiska, a tyto změny jsou nevratné. Při nadměrné expozici erytémového záření může docházet také k větší náchylnosti na infekční onemocnění, neboť kůže je důležitou součástí našeho imunitního systému (de Gruijl 1997). Riziko představuje UV záření také pro naše oči, zejména pokud se Slunce nachází v zorném poli oka (Sasaki a kol. 2011). Oční poruchy způsobené UV zářením jsou nejčastěji zánět spojivek, sněžná slepota, poškození sítnice a UV-A záření může být také příčinou vzniku katarakty (zakalení čočky v oku).

Bezpečná dávka UV záření je pro každého člověka jiná. Závisí na fyzické kondici jedince, charakteru jeho kůže, a také na prostředí, v němž se obvykle pohybuje. Každý jedinec má v kůži určité množství kožního pigmentu (melaninu), který ho chrání před vznikem erytému. Vlivem rozdílných přírodních podmínek vznikly v různých populacích rozdíly v pigmentaci kůže, které jsou dnes geneticky dány. Podle toho, jak je kůže náchylná ke zrudnutí (zhnědnutí), dělí se populace v Evropě do čtyř základních kožních fototypů (Bienová, Kučerová 2007):

- Fototyp I: kůže vždy zrudne, nikdy nezhnědne
- Fototyp II: kůže obvykle zrudne a málo hnědne
- Fototyp III: kůže vždy zhnědne a někdy zrudne
- Fototyp IV: kůže vždy zhnědne a nikdy nezrudne

Obvykle platí, že čím má člověk světlejší kůži, vlasy a oči, tím je číslo fototypu nižší a tím je méně odolný vůči slunečnímu záření. UV záření dopadající na zemský povrch dosahuje největší intenzity v letních měsících. Tehdy stoupá zejména intenzita UV-B záření, a to až 10krát ve srovnání se zimním obdobím (Krajsová 1993). V našich zeměpisných podmínkách jsou rizikové i polední hodiny během jarních měsíců, než se vytvoří přirozená ochranná pigmentace. Rychlost, s jakou si jedinec vytvoří tuto přirozenou ochranu, závisí mimo jiné i na typu pokožky.

2.3. Definice UV indexu

Negativní účinky UV záření jsou lidem známé již několik desítek let (Bolton, Cotton 2008). V roce 1994 byl Světovou meteorologickou organizací (WMO) a Světovou zdravotnickou organizací (WHO) definován UVI charakterizující schopnost UV záření vyvolat poškození kůže (kožní erytém) a další onemocnění (Fioletov, Kerr, Fergusson 2010; Allaart a kol. 2004; Metelka 2018). Jedná se o mezinárodní standardizovanou bezrozměrnou veličinu, jejíž hodnoty se pohybují od 0 do 20. Čím vyšší je hodnota, tím větší je pravděpodobnost poškození kůže a oka. UVI se používá především k informování obyvatelstva o možném negativním vlivu UV záření na lidský organismus.

Podle WHO (2002) se hodnota UVI vypočítá dle rovnice (1):

$$UVI = \frac{1}{25} \int_{250\text{ nm}}^{400\text{ nm}} I_{\lambda} \cdot s_{er}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

kde I_{λ} je spektrální intenzita UV záření o vlnové délce λ [$\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$] a $s_{er}(\lambda)$ je hodnota erytémového akčního spektra o vlnové délce λ [bezrozměrné číslo]. Erytémové akční spektrum vyjadřuje relativní míru erytémové reakce pokožky na UV záření.

Hodnoty UVI se podle WHO (2005) dělí do pěti kategorií (viz tab. 1).

2.4. Ochrana před UV zářením

Na UV záření citlivě reagují především malé děti a lidé ve vyšším věku. Při nízkém stupni UVI je doporučeno nasadit klobouk, při středním přidat krém s ochranným faktorem SFP 15, při vysokém stupni by se lidé měli k výše uvedenému navíc zdržovat ve stínu (Wassenhoven 2003). Při hodnotách UVI vyšších než 7 dochází ke spálení nechráněné kůže již po 20 minutách expozice. Při velmi vysokém a extrémním stupni se doporučuje nevycházet z budov v době od 10 do 16 hodin místního času a v ostatní době dodržovat doporučení platná pro vysoký stupeň.

Tab. 1 – Rozdělení hodnot UVI podle vlivu na lidskou pokožku

UV index	Rozsah
Nízký	0–2
Střední	3–5
Vysoký	6–7
Velmi vysoký	8–10
Extrémní	11+

Extrémní stupeň nebyl u nás zatím zaznamenán, nicméně v nižších zeměpisných šířkách je běžný. K ochraně očí se doporučují sluneční brýle s dostatečným UV filtrem. K nejvážnějším očním poruchám dochází při sněhové pokrývce.

Dnes je známo, že pravidelná ochrana v dětství snižuje riziko následků z UV záření v dospělosti až o 70 % (Lajčíková, Pekárek 2009). V létě kolem poledne je možnost vzniku erytému dvakrát větší než v ranních a odpoledních hodinách (WHO 2014). V blízkosti vody může být UVI zvýšen z důvodu odrazu (vodní hladina odráží 40 až 80 % dopadajícího UV záření), naopak ve stínu se intenzita UV záření za letního dne snižuje cca na 50 % (Lajčíková, Pekárek 2009). Riziko lze snížit aplikací opalovacího krému s vyznačeným SPF (angl. *sun protection factor*). Čím vyšší je SPF, tím více ochrany krém nabízí. Délka pobytu na slunci bez rizika vzniku erytému se pak spočítá jako násobek SPF podle fototypu pokožky.

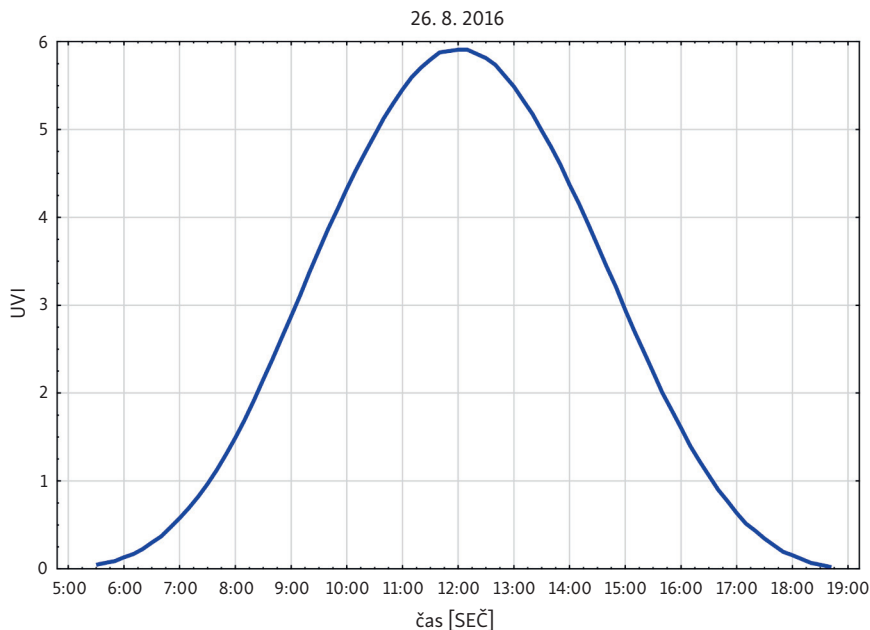
Maximální očekávané hodnoty UVI jsou součástí předpovědi počasí stejně jako maximální délka pobytu na slunci bez použití ochranných prostředků, po jejímž uplynutí může dojít u fototypu I ke vzniku erytému.

3. Faktory ovlivňující UVI

Intenzita slunečního UV záření je ovlivněna rozptylem a absorpcí v atmosféře a charakterem povrchu, na který UV záření dopadá. Mezi nejvýznamnější faktory tedy patří výška Slunce nad obzorem, nadmořská výška, koncentrace atmosférického ozónu, znečištění atmosféry, oblačnost a albedo povrchu (Vaníček a kol. 1999). Níže je popsán vliv vybraných faktorů, detailnější rozbor lze najít v práci Tomanové (2018).

3.1. Atmosférický rozptyl a absorpce

Sluneční záření je při průchodu atmosférou zeslabováno rozptylem a značná část krátkovlnného záření je navíc v atmosféře pohlcena (absorbována). K absorpci UV záření dochází zejména v ozonové vrstvě ve stratosféře (viz kapitola Atmosférický ozón) a v malé míře také ve vyšších vrstvách atmosféry (nad 60 km) při procesu fotoionizace a fotodisociace. V troposféře dochází k absorpci a rozptylu (odrazu) na kapkách vody (oblačných i srážkových) a na pevných částicích (ledové krystalky, prach). Přitom kratší vlnové délky jsou pohlcovány víc než záření delších vlnových délek. Přítomnost aerosolových částic tedy vede ke značnému utlumení UV záření a tento efekt se násobí, pokud sluneční paprsek prochází atmosférou po delší dráze. Snížení množství aerosolů v atmosféře o 60 % může mít za následek statisticky významný nárůst intenzity UV záření v dané lokalitě (Meleti a kol. 2009). V celém sloupci atmosféry dochází také k rozptylu na molekulách vzduchu



Obr. 2 – Průběh hodnot UVI za jasného dne, Hradec Králové, 26. 8. 2016. Zdroj: Metelka (2018).

(Rayleighův rozptyl; Bednář 1989), který je silně závislý na vlnové délce záření. UV záření je rozptylováno intenzivněji než viditelné záření (Metelka 2018). Poměr přímé a difuzní složky UV-B záření je při povrchu Země za jasné oblohy přibližně 1 : 1 (Vaniček a kol. 1999). Utlumení UV záření v důsledku rozptylu a absorpce se uplatní u faktorů:

3.1.1. Výška Slunce nad obzorem

Vyjadřuje se jako úhel mezi horizontální plochou a paprskem, který dopadá ze Slunce na tuto plochu. Závisí na zeměpisné šířce a mění se s roční a denní dobou. Kolem poledne sluneční paprsky dopadají pod největším úhlem na horizontální plochu a procházejí atmosférou k povrchu po nejkratší dráze. Dochází tak k nejmenším energetickým ztrátám v důsledku rozptylu a absorpce (Vaniček a kol. 1999). Změnu hodnot UVI za jasného letního dne v Česku ilustruje obrázek 2, maxima zde nastávají mezi 11:30 a 12:30 SEČ.

3.1.2. Oblačnost

Její efekt je velice obtížné kvantifikovat, protože oblaka jsou časově a prostorově variabilní, ať už se jedná o jejich vertikální či horizontální rozsah, tvar nebo

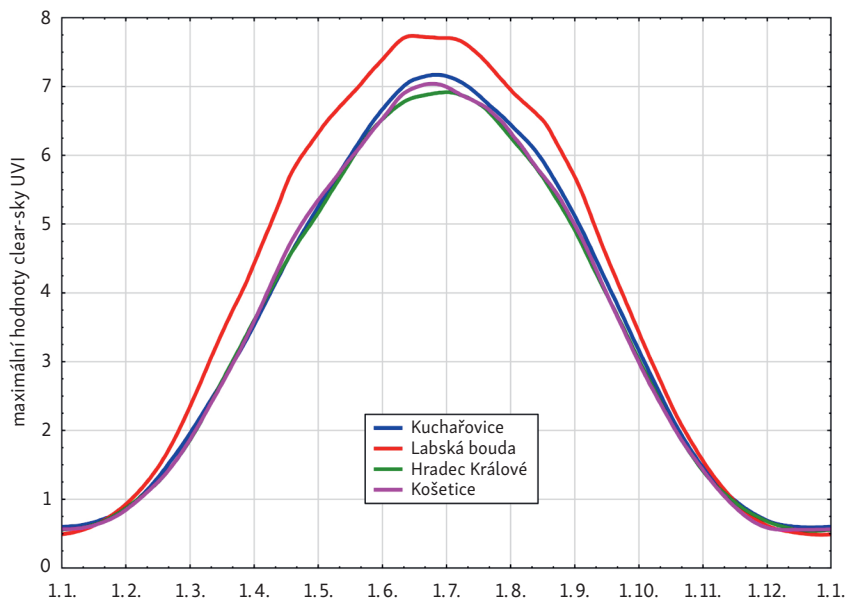
Tab. 2 – Typické hodnoty CMF (*Cloud Modification Factor*) pro různé typy a množství oblačnosti

Typ oblačnosti	Množství oblačnosti (osminy)			
	0–2	3–4	5–6	7–8
Vysoká	1,0	1,0	1,0	0,9
Střední	1,0	1,0	0,8	0,5
Nízká	1,0	0,8	0,5	0,2
Mlha	—	—	—	0,4
Děšť	—	—	—	0,2

Zdroj: Metelka (2018)

mikrofyzikální optické vlastnosti (Kerr, Seckmeyer 2002). Vliv oblačnosti na UVI popisuje tzv. *cloud modification factor* (CMF). CMF je poměr naměřeného UV záření (E_{means}) a odpovídající vypočítané hodnoty UV záření při jasné obloze (E_{clear}), rovnice 2 (Juzeniene a kol. 2011; Bais a kol. 2006):

$$CMF = \frac{E_{means}}{E_{clear}} \quad (2)$$

**Obr. 3** – Průměrné hodnoty poledních maximálních hodnot UVI naměřených za jasné oblohy v průběhu kalendářního roku pro 4 stanice v Česku. Zdroj: Metelka (2018).

Oblačnost obecně snižuje UVI, ale za určitých podmínek může vést k jeho zesílení (Metelka 2018). Záleží tedy na druhu oblačnosti a na výšce, ve které se vyskytuje (oblačné patro), zda se jedná o kupovitou či vrstevnatou oblačnost a jak velká část oblohy je jí pokryta (viz tab. 2). Měření ukazují, že nízká oblačnost snižuje UV záření více než vysoká oblačnost (až o 20 %) a mlha má největší tlumící účinky (Alados-Arboledas a kol. 2003). Tenká nebo nesouvislá vrstva oblačnosti má na UV záření malý vliv. Přitom vliv oblaků je větší pro celkové globální záření, kdy dochází k útlumu o 33 % více v porovnání s UV zářením.

3.1.3. Nadmořská výška

S rostoucí nadmořskou výškou se za jasné oblohy intenzita UVI zvyšuje vlivem kratší dráhy uražené slunečním paprskem. Podle Vaníčka a kol. (1999) je nárůst zhruba o 6–8 % na 1 000 m nadmořské výšky; podle Allaarta a kol. (2004) je nárůst o 5 %. Vliv nadmořské výšky dokumentuje i Metelka (2018) pro interval nadmořských výšek 278 až 1 315 m n. m. Rozdíl je patrný v poledních hodinách od poloviny února do poloviny října (obr. 3).

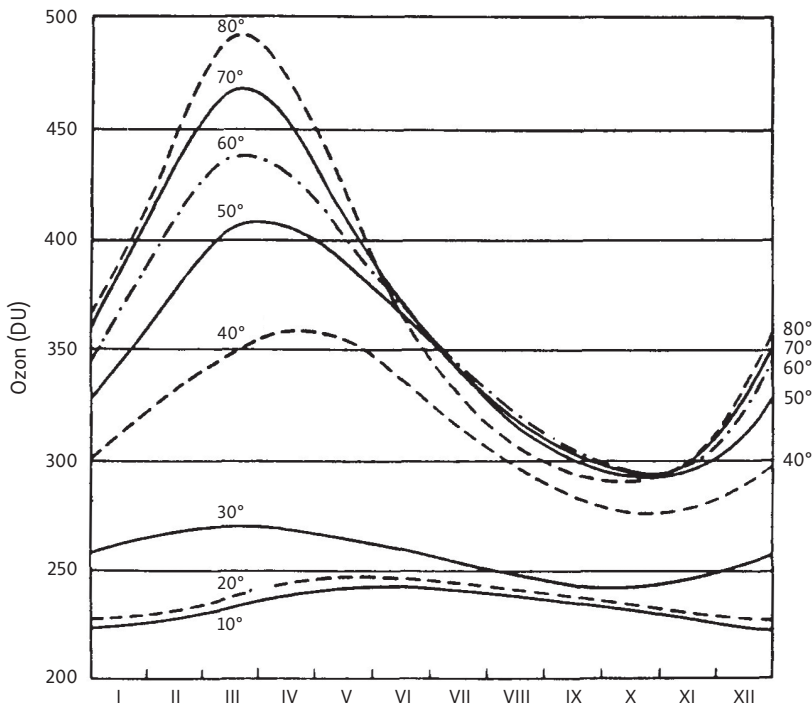
3.2. Albedo zemského povrchu

Albedo zemského povrchu vyjadřuje míru odrazivosti povrchu pro dopadající sluneční záření. Je definované jako poměr intenzity odraženého a dopadajícího slunečního záření (Braniš, Hůnová a kol. 2009). Záření je po odrazu od zemského povrchu rozptýleno molekulami vzduchu, což má za následek zvýšení intenzity záření při povrchu (Dahlback 2008). Množství odraženého záření závisí hlavně na vlastnostech povrchu (barva, vlhkost, struktura).

Hodnoty albeda se pohybují od 0 do 1 (případně vyjádřeno v procentech od 0 do 100 %) a u většiny povrchů závisí také na vlnové délce dopadajícího záření a na úhlu, pod kterým paprsky na povrch dopadají (Juzeniene a kol. 2011). V UV oblasti se albedo povrchu mírně liší od albeda ve viditelném záření. Pro běžný povrch bez sněhové pokrývky je albedo ve viditelné oblasti kolem 0,2, ale v UV oblasti jen kolem 0,05 (Metelka 2018). Většina přírodních povrchů (tráva, půda, les) odráží méně než 10 % dopadajícího UV záření, písek odráží okolo 20 % UV záření (Vaníček a kol. 1999). U sněhu záleží na typu a stáří sněhové pokrývky. Pro nový sníh je albedo ve viditelné i v UV oblasti kolem 0,8. Stárnutí a tání sněhu vede ke zvětšování sněhových zrn a k poklesu albeda (Juzeniene a kol. 2011). Přítomnost sněhové pokrývky v okolí stanic měřících UV záření zvyšuje naměřené hodnoty UV záření (o více než 5 %), a to i v případě, že sníh leží ve vzdálenosti větší než 40 km od stanice (Kerr, Seckmeyer 2002).

3.3. Atmosférický ozón

Jeho množství v atmosféře se uvádí v Dobsonových jednotkách (DU), které vyjadřují výšku sloupce ozónu v setinách mm (10^{-5} m) při tlaku 1 013 hPa a teplotě 0 °C (Calbó, Pagés, González 2005). Ozón, složený z molekul O_3 , vzniká ve stratosféře z molekul kyslíku O_2 působením slunečního záření (zejména UV-C záření) a tento proces je neúčinnější v nízkých zeměpisných šířkách. Vlivem Brewer-Dobsonovy cirkulace je O_3 transportován směrem k pólům, nad kterými naopak dochází k jeho největšímu zániku. Nejvyšší roční průměrné koncentrace se nacházejí v polárních oblastech (viz obr. 4), ovšem během roku se mění. Brewer-Dobsonova cirkulace má roční chod s maximem ke konci zimního období. To má za následek zimní nárůst koncentrací ozónu v našich zeměpisných šířkách. S nástupem jara začíná Brewer-Dobsonova cirkulace slábnout, sluneční záření sílí a zapříčiňuje postupný úbytek ozónu až do minima ke konci léta. Na podzim se koncentrace O_3 začnou opět zvyšovat díky sílící Brewer-Dobsonově cirkulaci (Cordero a kol. 2002). Změna celkového množství ozónu o 1 % má za následek změnu hodnot maximálních poledních UVI o 1,0–1,3 % (Metelka 2018).



Obr. 4 – Koncentrace stratosférického ozónu v Dobsonových jednotkách (DU) v průběhu roku v jednotlivých zeměpisných šířkách na severní polokouli, interval zeměpisné šířky 10°. Zdroj: Ilyas (1986).

4. Data a metody

4.1. Metody měření UV záření

Hodnoty UV záření se měří na pozemních observatořích i pomocí senzorů umístěných na satelitech. Satelitní měření mají celosvětové pokrytí, v některých případech i s rozlišením nižším než 1 km^2 . Satelitně odhadované hodnoty UV záření jsou založené na modelech sledujících šíření elektromagnetických vln společně s měřením odrazivosti (Calbó, Pagés, González 2005). Přesnost hodnot získaných satelitním měřením je velmi ovlivněná oblačností a množstvím aerosolů v atmosféře. Využití satelitních měření je proto vhodné převážně pro oblasti, kde chybí pozemní měření (Dahlback 2008). Staniční měření jsou v porovnání se satelitními přesnější, poskytují však pouze bodové informace. Pro pozemní měření se používají tři typy přístrojů: spektrální, širokopásmové a úzkopásmové radiometry (WMO 2012). Tyto přístroje se vzájemně liší nejen způsobem sběru dat, ale i přesností měření a zejména pořizovacími a provozními náklady (Kerr, Seckmeyer 2002).

Spektrofotometry jsou z uvedených přístrojů nejpřesnější (Dahlback 2008) a umožňují zjistit tvar spektra a intenzitu záření v závislosti na vlnové délce. Počítají intenzitu dopadajícího UV-A a UV-B záření, intenzitu EUV záření a UVI. Dva takové přístroje jsou používány na Solární ozónové observatoři v Hradci Králové (SOO HK). Na dalších stanicích v Česku (Kuchařovice, Košetice, Luční bouda a Labská bouda) jsou instalovány širokopásmové radiometry, které z naměřených parametrů přímo počítají UVI (Kerr, Seckmeyer 2002). Podrobnější informace o měření UV záření lze nalézt např. v práci Tomanové (2018).

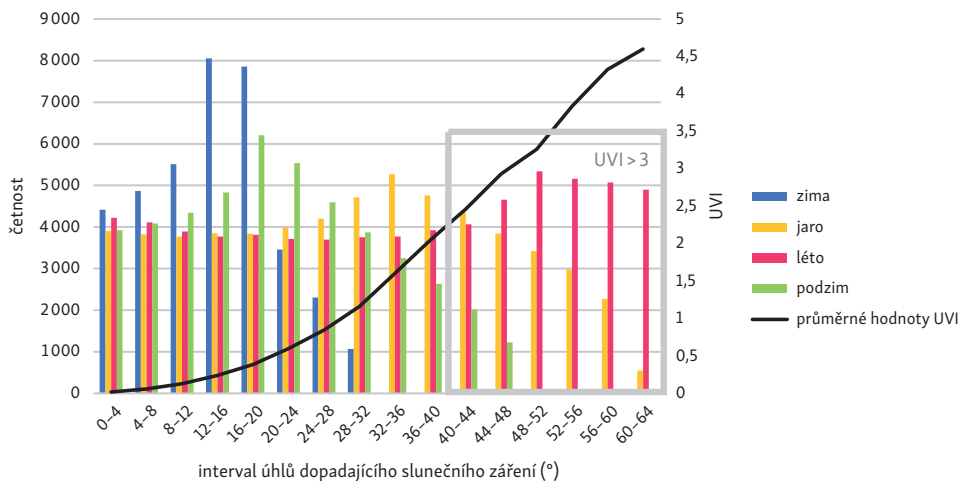
4.2. Použitá data

V této studii jsou zpracována data naměřená na stanicích Hradce Králové, Košetice a Labská bouda. Stanice leží zhruba na stejné zeměpisné délce, liší se jejich zeměpisná šířka a nadmořská výška. Hodnoty UVI jsou počítané z průměrné intenzity EUV záření (udávané v mWm^{-2}) naměřené v desetiminutových intervalech. Dále byly k dispozici hodnoty průměrné intenzity globálního záření ze stejných desetiminutových intervalů (ve Wm^{-2}) a údaje o stavu půdy ze 14. hodiny místního času. Z údajů o půdě bylo určeno pro každý den albedo (odrazivost) pro UV záření. Sledované období zahrnuje roky 2010–2017 s drobnými výpadky, které ovšem nepředstavují více než 4 % všech hodnot, kterých bylo na jednotlivých stanicích okolo 200 tisíc.

4.3. Metody zpracování dat

Výška Slunce nad obzorem (a tedy úhel paprsků dopadajících na měřicí přístroje umístěné na observatořích) byla pro každý desetiminutový interval na jednotlivých stanicích spočítána na základě zeměpisné šířky a délky, dne v roce a čase, kdy měření probíhalo. Zpracována byla data ze všech měření bez ohledu na další parametry (oblačnost, množství ozónu nebo albedo). Hodnoty UVI byly rozděleny podle úhlu dopadajících slunečních paprsků na intervaly po 4°. Graf na obrázku 5 zobrazuje četnosti hodnot v jednotlivých intervalech. V zimních měsících dopadají sluneční paprsky pod nízkými úhly (0°–32°). Na podzim dosahují úhly hodnot až 48°, v jarních a letních měsících až 64°. Přitom v létě jsou nejčastěji zastoupeny právě nejvyšší úhly (44° až 64°). Nesymetrie pro jaro a podzim je dána definicí sezón podle klimatologických standardů, které se neřídí dny rovnodennosti a slunovratu. Většina jarních dnů (březen, duben, květen) nastává až po jarní rovnodennosti (má tedy den delší než 12 hodin) a většina podzimních dnů (září, říjen, listopad) nastává až po podzimní rovnodennosti (noc je delší než 12 hodin). V grafu jsou šedivým rámečkem vyznačeny intervaly úhlů, při kterých UVI nabývá ve většině případů hodnot větších než 3. Proto je vliv oblačnosti a nadmořské výšky testován pro úhly dopadajících paprsků větší než 40°.

Pro zobrazení ročního chodu hodnot UVI během sledovaného období na stanici SOO HK v jednotlivých dnech byly spočítány průměrné hodnoty UVI



Obr. 5 – Četnosti měření UVI v jednotlivých intervalech úhlů dopadajícího slunečního záření pro stanici Hradec Králové v období 2011–2017 v jednotlivých ročních obdobích. Přičemž zima trvá od prosince do února, jaro od března do května atd. Černá čára vyznačuje nárůst průměrných hodnot UVI. Čárkovně vyznačená oblast označuje úhly, při kterých dosahuje UVI hodnoty 3 a vyšší alespoň v 75 % případů.

z 8 sledovaných let naměřené mezi 10. a 14. hodinou (polední hodiny). Každý den je tak reprezentován jednou hodnotou.

Vliv oblačnosti byl testován pro hodnoty UVI naměřené při úhlech 44° – 56° a albedu 0,05 na stanici Hradec Králové. Výše položené stanice pro tuto analýzu nejsou vhodné, neboť se na nich často vyskytuje v poledních hodinách oblačnost. Na základě hodnot globálního záření byly vybrány případy s velkým a malým množstvím oblačnosti. Byl určen 10. a 90. percentil hodnot globálního záření pro zmíněné úhly dopadajícího slunečního záření. Případy s hodnotou globálního záření menší (větší) než 10. (90.) percentil byly vyhodnoceny jako měření při zatažené (jasné) obloze. Vliv oblačnosti na UVI byl testován pomocí Studentova t-testu pro rozdíl průměrů dvou souborů, přitom byla testována i variabilita testovaných souborů. Oba soubory dat mají normální rozdělení. Testována byla hypotéza, zda lze zamítnout rovnost průměrů testovaných souborů.

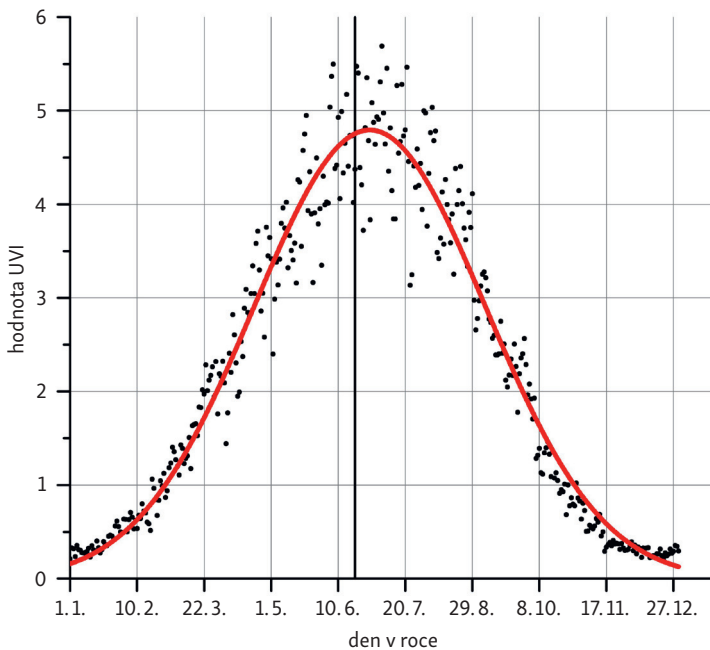
Vliv nadmořské výšky ukazují hodnoty UVI naměřené na třech stanicích umístěných v různých nadmořských výškách: Hradec Králové (278 m n. m.), Košetice (532 m n. m.) a Labská bouda (1 315 m n. m.). Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší položenou stanicí činí 1 037 m. Byla vybrána pouze měření v měsících červen až srpen a hodnoty z intervalů úhlů dopadajících slunečních paprsků 40° – 55° . Aby byl vyloučen vliv oblačnosti, byly použity jen hodnoty UVI za jasných dní (měření za jasné oblohy bylo definováno stejně jako u testování vlivu oblačnosti). Porovnáván je srovnatelný počet hodnot na jednotlivých stanicích: pro Hradec Králové 1 472, pro Košetice 1 391 a pro Labskou boudu 1 465. Stejně jak u oblačnosti byl testován rozdíl průměrů souborů se zohledněním jejich rozptylu.

5. Výsledky

5.1. Vliv výšky slunce nad obzorem

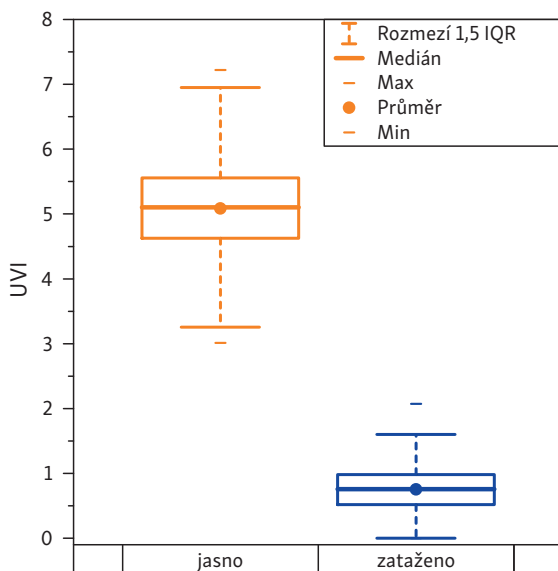
S rostoucím úhlem dopadajících slunečních paprsků hodnoty UVI rostou. Při nízkých úhlech je nárůst UVI pozvolný a hodnoty 0,5 dosahuje při úhlech 20° až 24° . Od úhlů kolem 30° roste průměrný UVI rovnoměrně o 1 při zvětšení úhlu o 10° (obr. 5). Při úhlech kolem 62° dosahují průměrné hodnoty UVI 4,5. Průměrné hodnoty UVI byly počítány ze všech měření v daných intervalech úhlů bez ohledu na množství oblačnosti.

Vliv výšky Slunce lze demonstrovat také prostřednictvím ročního chodu průměrných poledních hodnot UVI (obr. 6). Nejnižší hodnoty nastávají v zimním období, kdy sluneční paprsky dopadají pod nejnižším úhlem a významnou roli zde také hraje častý výskyt souvislé nízké oblačnosti. V podzimním a zimním období často snižují hodnoty UVI také mlhy. Nárůst UVI v jarních měsících je poněkud pomalejší než jeho pokles od konce července. Roli hrají koncentrace ozónu, které



Obr. 6 – Průměrné polední hodnoty UVI z let 2011–2017 na stanici SOO HK v průběhu kalendářního roku. Hodnoty v jednotlivých dnech (černé tečky) jsou proloženy Gaussovskou křivkou (červená linie). Svislá černá tučná linie znázorňuje den letního slunovratu (21. 6.). Zdroj: zpracováno na základě dat Českého hydrometeorologického ústavu.

Obr. 7 – Hodnoty UVI (zobrazené pomocí boxplotů s vyznačeným průměrem, mediánem, dolním a horním kvartilem a dalšími charakteristikami) při jasné (oranžový boxplot) a zatažené obloze (modrý boxplot) v letních měsících na stanici Hradec Králové pro sluneční paprsky dopadající v intervalu úhlů 44° – 56° . Zdroj: zpracováno na základě dat Českého hydrometeorologického ústavu.



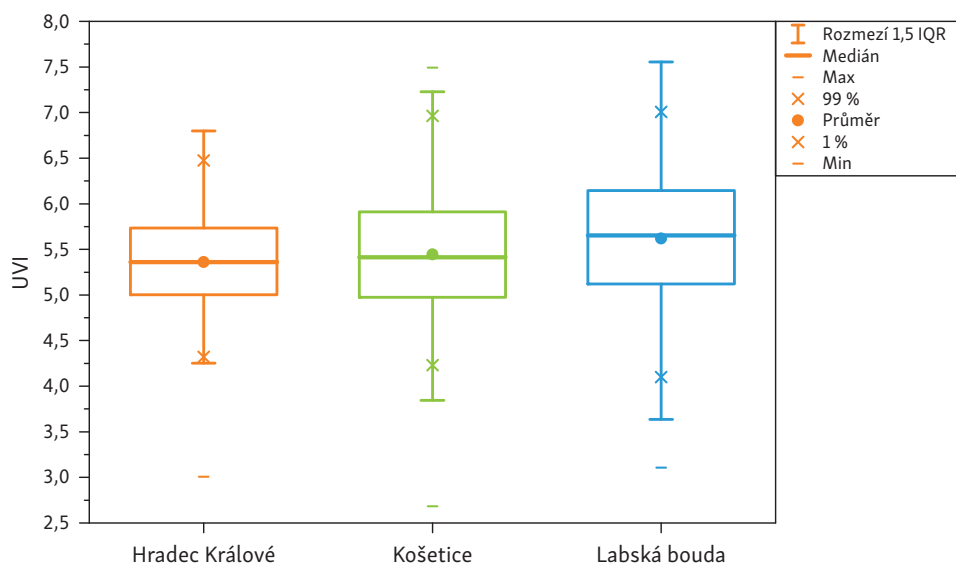
jsou na jaře v průměru o třetinu vyšší v porovnání s koncentracemi v srpnu a září. Nejvyšší průměrné polední hodnoty UVI nalézáme od 10. 6. do 20. 7. Maximální průměrná polední hodnota během sledovaného období dosáhla 5,6 a připadá na 6. červenec.

5.2. Vliv oblačnosti na UV

Oblačnost zeslabující globální záření výrazně zeslabuje i UVI. Při jasné obloze (3 201 měření) se hodnoty UVI pohybovaly nejčastěji mezi 4,6–5,6 s průměrem 5,1, při zatažené obloze (1 610 měření) byly hodnoty UVI v rozmezí 0,5–1,0 a průměr činil 0,8 (obr. 7). Zeslabení UVI při zatažené obloze je v průměru o 4,3 a hodnoty jsou tak o 85,1 % menší než při jasné obloze. Tento rozdíl je statisticky významný na hladině 0,001.

5.3. Vliv nadmořské výšky na hodnoty UVI

Hodnoty UVI na jednotlivých stanicích seřazených podle nadmořské výšky jsou znázorněny opět pomocí boxplotů (obr. 8). Průměrné hodnoty UVI na stanicích



Obr. 8 – Hodnoty UVI v letním období na stanicích Hradec Králové (oranžový boxplot), Košetice (zeleň boxplot) a Labská bouda (modrý boxplot) pro sluneční záření dopadající v intervalu úhlů 40°–55°. Zdroj: zpracováno na základě dat Českého hydrometeorologického ústavu.

Hradec Králové, Košetice a Labská bouda dosahují hodnot 5,3, 5,4 a 5,7, což by mohlo značit nárůst UVI s nadmořskou výškou. S ohledem na zvyšující se proměnlivost hodnot s rostoucí nadmořskou výškou však rozdíl hodnot není statisticky významný. Na základě vybraných dat tedy nelze vyvodit jasný závěr o závislosti UVI na nadmořské výšce.

6. Diskuse

Tato studie se zaměřuje na vliv vybraných faktorů na hodnoty UVI v Česku. Studie využívá měření ze 3 stanic na území Česka, které leží v rozdílné zeměpisné šířce. To má vliv na výšku Slunce, a tedy i hodnoty UVI obecně pozorované na jednotlivých stanicích. Jelikož se ale při hodnocení vlivu nadmořské výšky zaměřujeme na vybrané úhly dopadajících slunečních paprsků spočítané pro každý interval a každou stanicí zvlášť, nemá geografická poloha vliv na porovnávané hodnoty UVI.

Mezi zkoumané faktory nebyl zahrnut vliv ozónu, protože je v porovnání s ostatními faktory slabý (obvyklé mezidenní změny ozónu způsobují změnu intenzity erytemového UV záření v řádu jednotek procent, Madronich a kol. 1998) a věnuje se mu množství zahraničních studií (viz Kerr, Seckmeyer 2002). Nebyl také ověřován vliv albeda, neboť sněhová pokrývka je v zimním a jarním období přítomna na stanici Labská bouda téměř vždy, a naopak v nížinách je takových případů velmi málo. Není tedy možné vybrat dostatečný počet případů s a bez sněhové pokrývky s jinak stejnými parametry. Vlivem albeda se zabývají autoři, kteří mají k dispozici měření z oblastí, kde leží sníh po celý rok (např. Smolskaia a kol. 2003).

O vlivu výšky Slunce nad obzorem na hodnoty UVI existuje množství publikací. Je však obtížné najít studii, která by toto podložila dostatečným množstvím dat a porovnávala hodnoty UVI při různých úhlech dopadajících paprsků za jinak stejných podmínek. Podle Kerra a Seckmeyera (2002) je vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků za jasné oblohy závislý na vlnové délce záření, množství a rozložení ozónu a množství aerosolů přítomných v troposféře. Tyto faktory přitom nelze jednoznačně oddělit. Zde prezentujeme vliv výšky Slunce prostřednictvím ročního chodu průměrných poledních hodnot UVI (obr. 7). Graf zohledňuje společný vliv výšky slunce nad obzorem, oblačnosti i koncentrace ozónu. Průběh průměrných poledních hodnot UVI se svým tvarem shoduje s ročním chodem denních maxim UVI, liší se ale pozicí maxima. Zatímco maximální denní hodnoty UVI (obr. 3) jsou nejvyšší kolem 20. června, průměrné polední hodnoty (obr. 7) dosahují nejvyšších hodnot od 10. 6. do 20. 7. Za vysoké hodnoty UVI v červnu je zodpovědná zejména výška Slunce, nižší koncentrace ozónu pak způsobují vysoké hodnoty UVI v červenci.

Snížení UVI vlivem oblačnosti v průměru o 85 % zjištěné na stanici Hradec Králové koresponduje s typickými hodnotami CMF pro zataženou oblohu, které v závislosti na druhu a charakteru oblaků dosahují až 0,8 (Cede a kol. 2002; Calbó, Pagés, González 2005). Podle tabulky 2 odpovídá tato hodnota snížení UVI při obloze zcela zatažené nízkou oblačností. Snížení je dokonce o více než 20 % větší, než uvádí Allaart a kol. (2004). To může být způsobeno i tím, že zatažené dny zde byly definovány na základě intenzity globálního záření a zahrnují tak i případy, kdy přišlo. Pro podrobný popis vlivu oblačnosti na UVI by bylo vhodné použít údaje ze stanic SYNOP o druhu, výšce a množství oblačnosti v jednotlivých patrech a také informace o průběhu počasí a dohlednosti. Údaje SYNOP jsou však k dispozici pouze v intervalu 60 minut a jejich zpracování bude s ohledem na jejich špatnou kvalitu vyžadovat mnoho úsilí a času. Navíc tato měření se neprovádí vždy na stejných stanicích jako měření UVI. Podrobná analýzy vlivu oblačnosti je předmětem diplomové práce. Zde prezentované výsledky podávají dostatečnou informaci o tom, že při velké oblačnosti dosahuje hodnota UVI velmi nízkých hodnot a není nutné používat ochranné prostředky.

Při testování vlivu nadmořské výšky nebylo možné zohlednit atmosférický zákal (atmosférický aerosol tvořený mikroskopicky malými pevnými částicemi), který je nepochybně větší v nížinách. Ukázalo se, že s nadmořskou výškou roste nejen průměrná hodnota, ale i proměnlivost UVI za daných podmínek. Zatímco na stanici Hradec Králové se polovina všech hodnot nachází v intervalu od 5,0 do 5,7, v Košeticích je to interval 4,9 až 5,9 a na stanici Labská bouda jsou hodnoty prvního a třetího kvartilu 5,1 a 6,2. To je částečně dáno metodou výběru intervalů na základě globálního záření (hraniční hodnoty pro jasný den byly pro Hradec Králové $788 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, pro Košetice $779 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, pro Labskou boudu $745 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$). Do výběru jsou tak na stanicích Košetice a Labská bouda zahrnuty i případy, kdy obloha nebyla zcela jasná. Podle Bias a kol. (2006) výškový účinek na UV záření není lineární, silně závisí na atmosférických a povrchových parametrech a tento vliv se mění také s vlnovou délkou. Odchyly od teoretických hodnot vlivu nadmořské výšky lze částečně přičíst důvodům souvisejícím s atmosférickými podmínkami, jako je silnější oblačnost v horských oblastech, obvykle vyšší zatížení aerosolem v městských oblastech nebo rozdíly v albedu (například způsobené dlouhodobými suchými povětrnostními podmínkami; Vitt a kol. 2020). Nárůst UVI o 7 % při zvýšení nadmořské výšky o 1 000 m sice koresponduje s hodnotou zjištěnou v Bolívii (Zaratti, Forno, Garci 2003), je však v podmínkách Česka statisticky nevýznamný. Větší nárůst (okolo 11 % na 1 000 m) byl pozorován např. ve Švýcarských Alpách (Schmucki, Philipona 2002) a v západních Himalájích (Singh, Singh 2004).

7. Závěr

Článek seznamuje čtenáře s vlivem UV záření na lidské zdraví a s problematikou měření a zpracování hodnot naměřené intenzity UV záření na našem území. Vliv vybraných parametrů na hodnoty UVI v Česku je sumarizován na základě dostupné literatury a doložen analýzou hodnot naměřených v letech 2010–2017 na stanicích Hradec Králové, Košetice a Labská bouda.

Hodnoty UVI nejvíc ovlivňuje výška Slunce nad obzorem a množství oblačnosti. Výsledky studie ukazují, že průměrné hodnoty UVI nepřesahují hodnotu 1 při výšce Slunce do 30°. S rostoucím úhlem dopadajících paprsků průměrné hodnoty UVI rostou rovnoměrně o 1 s každými 10°. UVI dosahuje nejvyšších hodnot v době, kdy je Slunce na obloze nejvýše, mezi 10.–14. hodinou. V průběhu roku byly nejvyšší polední hodnoty UVI naměřeny od 10. června do 20. července. Maximální hodnota UVI 8,4 byla na stanici Hradec Králové zaznamenána dne 18. 6. 2017, zatímco na stanici Labská bouda bylo dosaženo hodnoty UVI 9,3 dne 20. 6. 2012. Svou roli v obou případech sehrály kromě jasné oblohy také nízká hodnota ozónu a extrémně čistý vzduch. V průměru se UVI během poledních hodin a za jasné oblohy pohybuje v letních měsících okolo hodnoty 5. Riziko středního stupně (UVI větší než 3, viz tabulka 1) se podle provedené analýzy objevuje od poloviny dubna do první dekády v září. Ve zbylé části roku je v místech bez sněhové pokrývky riziko spojené s UV zářením minimální.

Pro výšky Slunce nad obzorem nad 40° byl prokázán vliv oblačnosti, která zmenšuje celkové (globální) záření. V nížině za takových podmínek dochází k zeslabení UVI v průměru o 85,1%. Naopak vliv nadmořské výšky není v podmínkách Česka ze statistického hlediska významný. Při přesunu o 1 000 výškových metrů je obecný nárůst UVI o 7%, což představuje zvýšení hodnot v průměru o 0,4.

Literatura

- ALADOS-ARBOLEDAS, L., ALADOS, I., FOYO-MORENO, I., OLMO, F. J., ALCÁNTARA, A. (2003): The influence of clouds on surface UV erythral irradiance. *Atmospheric Research*, 66, 4, 273–290.
- ALLAART, M., VAN WEELE, M., FORTUIN, P., KELDER, H. (2004): An empirical model to predict the UV-index based on solar zenith angles and total ozone. *Meteorological Applications*, 11, 59–65.
- ANDERSON, K., ANDERSON, L. E., GLANZE, W. D. (1994): *Mosby's Medical, Nursing & Allied Health Dictionary* (4th ed.). Mosby, Portland, OR, USA.
- BAIS, A. F., LUBIN D., AROLA, A., BERNHARD, M., CHUBAROVA, M., ERLICK, C., GIES, H. P., KROTKOV, N., LANTZ, K., MAYER, B., MCKENZIE, R. L., PIACENTINI, R. D., SECKMEYER, G., SLUSSER, J. R., ZEREFOS, C. S. (2006): Surface Ultraviolet Radiation: Past, Present, and Future – Chapter 7. In: *Scientific Assessment of Ozone Depletion*. 7.1–7.54.

- BEDNÁŘ, J. (1989): Pozoruhodné jevy v atmosféře. Academia, Praha.
- BIENOVÁ, M., KUČEROVÁ, R. (2007): Hyperpigmentace u žen středního věku. *Medicína pro praxi*, 2, 80–82.
- BOLTON, J. N., COTTON, C. A. (2008): *The Ultraviolet Disinfection Handbook*. American Water Works Association, Denver, CO, USA.
- BRANIŠ, M., HŮNOVÁ, I. a kol. (2009): *Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší*. Karolinum, Praha.
- CALBÓ, J., PAGÉS, D., GONZÁLEZ, J. A. (2005): Empirical studies of cloud effects on UV radiation: A review. *Reviews of Geophysics*, 43, 2, RG2002.
- CCOHS (2016): Ultraviolet radiation, Canadian Centre for Occupational Health and Safety, http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/ultravioletradiation.html (10. 10. 2018).
- CCOHS (2021): Ultraviolet Radiation. Canadian Centre for Occupation Health and Safety, https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/ultravioletradiation.html (22. 2. 2021)
- CEDE, A., BLUMTHALER, M., LUCCINI, E., PIACENTINI, R. D., NUÑEZ, L. (2002): Effects of clouds on erythemal and total irradiance as derived from data of the Argentine Network, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 2223.
- CORDERO, E., NEWMAN, P. A., WEAVER, C., FLEMING, E. (2002): Stratospheric Ozone. Chapter 6. In: Mohanakumar, M. (ed.): *Stratospheric dynamics and transport of ozone and other tracer gases*. Springer, 253–304.
- ČHMÚ (2021): Ozonové a UV zpravodajství, <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/aktualni-stav-pocasi/ceska-republika/ozonove-a-uv-zpravodajstvi> (22. 2. 2021).
- DAHLBACK, A. (2008): Global monitoring of atmospheric ozone and solar UV radiation. *Solar Radiation and Human Health*, 10, 23–34.
- DE GRUIJL, F. R. (1997): Health Effects from Solar UV Radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 72, 3–4, 177–196.
- FIOLETOV, V., KERR, J. B., FERGUSSON, A. (2010): The UV Index: Definition, Distribution and Factors Affecting It. *Canadian journal of public health*, 101, 1–5.
- ILYAS, M. (1986): Ozone modification: Importance for developing countries in the tropical/equatorial region. *Stratospheric ozone*, 2, 185–191.
- JUZENIENE, A., BREKKE, P., DAHLBACK, A., ANDERSSON-ENGELS, S., REICHRATH, J., MOAN, K., HOLICK, M. F., GRANT, W. B., MOAN, J. (2011): Solar radiation and human health. *Reports on Progress in Physics*, 74, 6, 1–56.
- KERR, J. B., SECKMEYER, G. (2002): Surface ultraviolet radiation: Past and future. Chapter 5. In: Ennis, C. A. (ed.): *Scientific Assessment of Ozone Depletion*. World Meteorological Organization, Ženeva, 5.1–5.46.
- KRAJSOVÁ, I. (1993): Je opalování nebezpečné? Maxdorf, Praha.
- LAJČÍKOVÁ, A., PEKÁREK, L. (2009): Ultraviolet Radiation and Its Health Impact. *Hygiena*, 54, 2, 57–61.
- MADRONICH, S., MCKENZIE, R. L. L., BJÖRN, O., CALDWELL, M. M. (1998): Changes in biologically active radiation reaching the Earth's surface. *Journal of Photochemistry and Photobiology B*, 46, 5–19.
- MELETI, C., BAIS, A. F., KOUREMETI, N., GARANE, K., KAZADZIS, S., ZEREFOS, C. (2009): Factors affecting solar ultraviolet irradiance measured since 1990 at Thessaloniki, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 30, 4167–4179.
- METELKA, L. (2018): Hodnoty clear-sky UV indexu na území ČR. *Meteorologické zprávy*, 71, 33–38.

- SASAKI, H., SAKAMOTO, Y., SCHNIDER, C., FUJITA, N., HATSUSAKA, N., SLINEY, D. H., SASAKI, K. (2011): UV-B Exposure to the Eye Depending on Solar Altitude, Eye and contact lens, 37, 191-195.
- SCHMUCKI, D. A., PHILIPONA, R. (2002): UV radiation in the Alps: the altitude effect. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 234-239.
- SINGH, S., SINGH, R. (2004): High-altitude clear sky direct solar ultraviolet irradiance at Leh and Hanle in the Western Himalayas: Observations and model calculations High-altitude clear-sky direct solar ultraviolet irradiance at Leh and Hanle in the western Himalayas : Observation. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 109, 1-12.
- SMOLSKAIA, I., MASSEROT, D., LENOBLE, J., BROGNIEZ, C., DE LA CASINIERE, A. (2003): Retrieval of the ultraviolet effective snow albedo during 1998 winter campaign in the French Alps, *Appl. Opt.*, 42, 1583-1587.
- TOMANOVÁ, H. (2018): *Faktory ovlivňující hodnoty UV indexu v ČR*. Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie.
- VANÍČEK, K., FREI, T., LITYNSKA, Z., SCHMALWIESER, A. (1999): UV Index for the Public. Working Group 4 of the COST-713 Action "UVB Forecasting", European Union, Brussels.
- VITT, R., LASCHEWSKI, G., BAIS, A. F., DIÉMOZ, H., FOUNTOULAKIS, I. (2020): UV-Index Climatology for Europe Based on Satellite Data. *Atmosphere*, 727, 11, 1-26.
- WASSENHOVEN, L. (2003): UV Index and tanning, The ozone hole-Aircetera, <https://theozonhole.com/uvindex.htm> (17. 11. 2020).
- WHO (2002): *Global Solar UV Index-A Practical Guide*. Geneva.
- WHO (2005): *Exposure to artificial UV radiation and skin cancer*, IARC, Lyon.
- WHO (2014): *Ultraviolet radiation and the intersun Programme. Health effects of UV radiation*, http://www.who.int/uv/health/uv_health2/en/ (5. 10. 2018).
- WMO (2012): *Measurement of radiation. Chapter 7. In: Guide to Meteorological Instruments and Methods of observation*, WMO, I.7-1-I.7-40.
- ZARATTI, F., FORNO, R. N., GARCI, J. (2003): Erythemally weighted UV variations at two high-altitude locations. *Journal of Geophysical Research*, 108, 1-6.

SUMMARY

The effect of sun elevation, cloudiness, and altitude on the UV index in Czechia

The paper deals with ultraviolet (UV) radiation representing the part of incoming solar radiation with the shortest wavelength. Higher doses of UV are frequently associated with ozone loss in the stratosphere and have negative effects on many organisms including humans. Cataracts, snow blindness, and skin cancer caused by UV radiation are the most significant issues regarding damage to the human body.

To express the negative biological effect of UV radiation on human health, in 2002 the World Meteorological Organization, in cooperation with the World Health Organization, established the UV index (UVI). The definition of UVI is based on the intensity of erythema active radiation composed of UV-A and UV-B components of total UV radiation. The shortest wavelength radiation component, UV-C is completely absorbed in the upper layers of the atmosphere, and is, therefore, not considered in the definition. The UVI usually attains values between 0 and 9 in middle latitudes; a higher value UVI indicates a higher risk of harm to the human body.

Recent knowledge of UVI informs us that its magnitude changes in response to several parameters, both geographical and meteorological. The sun's elevation, which is a function of latitude, time of day, and time of year, combined with atmospheric absorption and scattering, has the strongest effect on UVI. Cloud cover, base height, and cloud structure also play an important role. The presence of snow cover can enhance UVI in the order of tenths per cent while the effects of ozone concentration, altitude or air pollution on the UVI are weak.

Measurements of UVI based on spectral intensity of UV radiation have recently been conducted at five stations in Czechia. This type of measurement is more precise than satellite measurements. In this study we analyzed data from the Hradec Králové, Košetice, and Labská Bouda stations in the period 2011–2017 to uncover the UVI variability and the general effect of selected parameters. Ten-minute mean UVI values were complemented by the mean intensity of global radiation and sunshine duration and used for the selection of sunny and cloudy intervals.

The UVI varies during the year from magnitudes near 0 up to 8 in lowlands and up to 9 in elevations above 1,000 m a.s.l. The highest daily values are generally observed around mid-day in June and July during sunny days. During the study period, the highest UVI of 8.4 at lowland station Hradec Králové was reached on June 18, 2017, and magnitude 9.3 was reached at Labská bouda on June 20, 2012. Cloudiness distinctly reduces the intensity of UV radiation as is demonstrated for the sun elevation between 44° and 56° from July to August. Mean UVI under a completely overcast sky is 85% of values typical for sunny days. The effect of altitude was investigated in the summer season (June to August) using clear-sky measurements for the sun elevation between 40° and 55°. A comparison of UVI at stations situated in elevations from 278 m a.s.l. to 1,315 m a.s.l. shows a negligible and statistically insignificant increase of UVI with altitude.

- Fig. 1 Electromagnetic radiation spectrum in nm. Source: CCOHS (2021)
- Fig. 2 UV index values during clear-sky day (Hradec Králové, August 26, 2016. Source: Metelka (2018).
- Fig. 3 Mean values of noon maxima of clear-sky UVI during the calendar year for 4 stations in Czechia. Source: Metelka (2018).
- Fig. 4 Concentration of stratospheric ozone in individual latitudes in the northern hemisphere during the year, latitude interval 10°. Source: Ilyas (1986).
- Fig. 5 UVI measurement frequency in individual intervals of solar elevation (color columns) and UVI magnitude (black curve) at the Hradec Králové station during the period 2011–2017 in individual seasons (winter consists of December, January, February, spring consists of March, April, May, etc.). The dashed area indicates the angles where UVI achieves a value of 3 or higher in at least 75% of cases.
- Fig. 6 Mean midday UVI (black dots) at the Hradec Králové station during the period 2011–2017 within the year. Gaussian curve (red line) approximation is displayed.
- Fig. 7 UVI during clear-sky (orange boxplot) and cloudy-sky (blue boxplot) in summer at the Hradec Králové station for sun elevation 44°–56°. Box and whisker plots display median/mean (thick line/cross inside the box), 1.5 of interquartile range (whiskers), maximum, and minimum (dashes above and below whiskers).
- Fig. 8 Clear-sky UVI values in summer at Hradec Králové (orange boxplot), Košetice (green boxplot), and Labská bouda (blue boxplot) for the elevation of 40°–55°.

ORCID

HELENA TOMANOVÁ

<https://orcid.org/0000-0001-8763-5620>

LUCIE POKORNÁ

<https://orcid.org/0000-0002-8987-3814>