

ELŻBIETA SKÓRSKA

*Katedra Fizyki i Agrofizyki
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Papieża Pawła VI, 71-459 Szczecin
E-mail: eskorska@zut.edu.pl*

ODDZIAŁYWANIE SŁONECZNEGO PROMIENIOWANIA ULTRAFIOLETOWEGO NA ORGANIZM CZŁOWIEKA

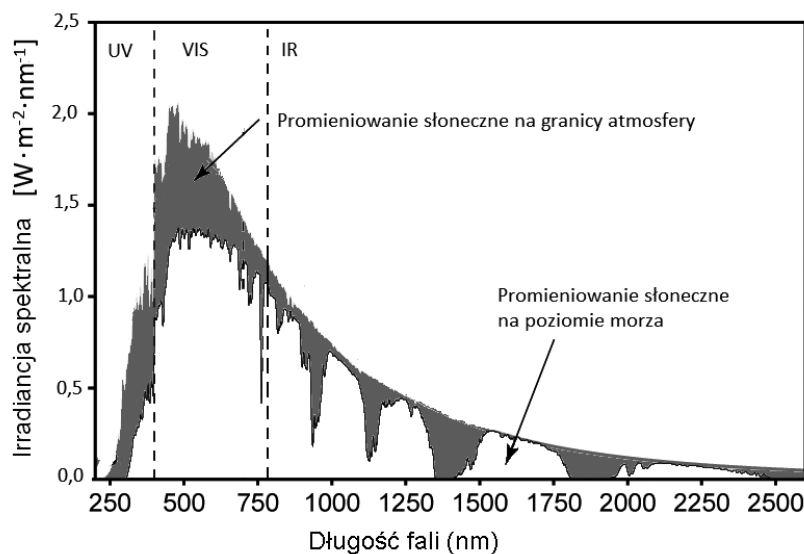
WPROWADZENIE

Słońce jest głównym źródłem energii promienistej docierającej do Ziemi; w ciągu każdej sekundy do 1 m² powierzchni leżącej na granicy atmosfery i prostopadłej do promieni słonecznych dociera około 1360 W·m⁻² (KOPP i LEAN 2011). Wielkość tę nazwano stałą słoneczną, chociaż przy zastosowaniu precyzyjnej aparatury wykazano niewielką jej zmienność w ciągu roku, związaną ze zmianą odległości Ziemi od Słońca (FRÖHLICH i LEAN 1998). Promieniowanie słoneczne docierające do granicy atmosfery ziemskiej obejmuje trzy zakresy o różnej energii i odpowiadającej jej długości fali, wyrażonej w nanometrach (1 nm=10⁻⁹m). Dwa z nich są niewidzialne dla człowieka: (i) promieniowanie ultrafioletowe (UV) o długości fali 250-380 nm oraz (ii) podczerwone (IR) od 780 nm do 2500 nm (Ryc. 1). Zakres widzialny dla człowieka (VIS), światło, to fale o długości od 380 nm do 780 nm (KOLEK 2006). Największą energią charakteryzuje się promieniowanie ultrafioletowe (UV).

Proporcje ilościowe między promieniowaniem UV:VIS:IR na granicy atmosfery ziemskiej wynoszą około 8:39:53% (WHO 1994, KOLEK 2006). Promieniowanie słoneczne, przechodząc przez atmosferę ziemską złożoną z mieszaniny gazów i pary wodnej, ulega częściowo pochłanianiu, odbiciu i rozproszeniu. Przy dużej przezroczystości atmosfery i pionowym padaniu promieni słonecznych, do powierzchni Ziemi dociera ich około 85%, w tym około 4,5% w zakresie ultrafioletowym. Dzięki pochłanianiu UV

przez ozon wytwarzany w stratosferze do powierzchni Ziemi docierają tylko fale o długości większej niż 290 nm (Ryc. 1). Udział promieniowania ultrafioletowego w promieniowaniu słonecznym zależy od szerokości geograficznej, wysokości położenia Słońca na niebie, wysokości nad poziomem morza, stopnia czystości powietrza, stężenia aerozoli i pyłów, a także od pory roku i dnia (WEBB 1998, BISZCZUK-JAKUBOWSKA i współaut. 2012, PACHOLCZYK i współaut. 2016).

Natężenie napromieniowania UV, wyrażone w W·m⁻², ma największe wartości w obszarach równikowych przy bezchmurnym niebie w okresie lata i w porze południowej (BISZCZUK-JAKUBOWSKA i CURYŁO 2010, IG PAN 2014). Zmienia się ono wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza, wzrastając średnio o około 10-12% na każde 1000 m wysokości (WHO 2002). Promieniowanie UV może być odbijane lub rozpraszane, zależnie od rodzaju powierzchni, na którą pada. Większość naturalnych powierzchni, takich jak trawa czy gleba, odbija mniej niż 10% UV, sucha piaszczysta plaża 15%, powierzchnia wody 20%, a powierzchnia śniegu nawet do 85%. Zamglenia i zachmurzenie powodują, że do powierzchni Ziemi dociera mniej bezpośredniego promieniowania UV, jednak po uwzględnieniu jego części rozproszonej sumaryczne natężenie UV nie zawsze będzie mniejsze. Promieniowanie UV przenika do czystej wody w 95%, ale tylko jego połowa do głębokości 3 m (WHO 2002, POŚCIK i współaut. 2009, PACHOLCZYK i współaut. 2016).



Ryc. 1. Widmo emisyjne promieniowania słonecznego

(wg www.wikimedia.org; autor oryginału Robert A. Rohde, licencja CC).

Celem niniejszej pracy jest scharakteryzowanie poszczególnych pasm UV, opis problemu i obaw związanych ze zwiększonym natężeniem UV-B spowodowanym ubytkiem ozonu w stratosferze, przedstawienie korzystnych i szkodliwych skutków działania słonecznego promieniowania ultrafioletowego na ludzki organizm, a także upowszechnienie informacji o monitoringu UV w Polsce.

PODZIAŁ PROMIENIOWANIA ULTRAFIOLETOWEGO NA PODZAKRESY (PASMA) I ICH CHARAKTERYSTYKA

Ze względu na działanie biologiczne promieniowanie ultrafioletowe zostało podzielone na trzy podzakresy (pasma) różniące się długością fali (WHO 2002, KOLEK 2006, BŁAŻEJCZYK i KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA 2008, POŚCIK i współaut. 2009): UV-A (315–380 nm), UV-B (280–315 nm) i UV-C (100–280 nm). Przedstawiono je na Ryc. 2.

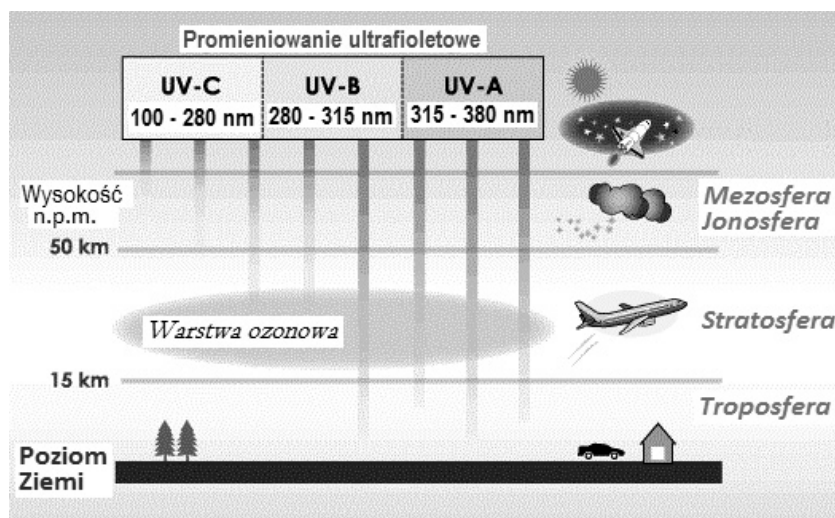
Do powierzchni Ziemi dociera promieniowanie ultrafioletowe głównie w paśmie UV-A (Ryc. 2), ponieważ w znikomym stopniu jest ono osłabiane przez gazy atmosferyczne. Jego oddziaływanie na układy biologiczne jest najłagodniejsze, jednak głębiej wnikając w skórę, powoduje jej szybsze starzenie. Promieniowanie UV-C jest uważane za zabójcze dla żywych organizmów, ponieważ w tym zakresie długości fal znajdują się maksima absorpcji tak ważnych biologicznie związków jak kwasy nukleinowe: DNA i RNA. Ta silna cytotoksyczna właściwość UV-C jest wykorzystywana m.in. do sterylizacji pomieszczeń w szpitalach, odgrzybiania instalacji klimatyzacyjnych czy uzdatniania

wody pitnej. Szczęśliwie dla ludzi, roślin i zwierząt lądowych promieniowanie UV-C jest całkowicie pochłaniane przez tlen, ozon i parę wodną zawarte w górnych warstwach atmosfery (MADRONICH 1993, BJÖRN i MCKENZI 2015).

Aktywne biologicznie promieniowanie UV-B w około 10% dociera do powierzchni Ziemi, a jego zmienność jest duża i zależna m.in. od pory roku i dnia oraz od szerokości geograficznej (WHO 1994). Pochłanianie UV-B następuje w górnych warstwach atmosfery (stratosferze) na wysokości 20–30 km nad powierzchnią Ziemi przez ozon (O_3), gaz będący trójatomową odmianą tlenu o dużej reaktywności

chemicznej. Ozon powstaje tam z tlenu cząsteczkowego (O_2) pod wpływem UV-C o długości fali od 175 nm do 242 nm (BJÖRN i MCKENZI 2015). Wysokoenergetyczne UV-C powoduje rozdzielenie cząsteczki tlenu na atomy tlenu (O), które następnie łączą się z tlenem cząsteczkowym, tworząc cząsteczki ozonu. Cząsteczki ozonu bardzo efektywnie pochłaniają promienie UV-B, dzięki czemu tylko niewielka jego część dociera ze Słońca do Ziemi. Większość ozonu znajduje się w stratosferze, ale w ostatnich dekadach wzrosło stężenie ozonu w warstwie przyziemnej, troposferze (BJÖRN 2008, IG PAN 2016). Ozon w troposferze w stężeniu większym niż $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, niekorzystny dla zdrowia człowieka (WIOŚ 2006), powstaje w wyniku fotochemicznej reakcji rozkładu dwutlenku azotu na tlenek azotu i tlen atomowy pod wpływem promieniowania UV-A i światła fioletowego. Coraz częściej jest to obserwowane w miastach z dużą liczbą samochodów (emitujących tlenki azotu) w okresie silnego nasłonecznienia, wysokiej temperatury powietrza i przy słabym wietrze. W takich warunkach lotna mieszanina ozonu, tlenków azotu i nadtlenków tworzy tzw. smog fotochemiczny, zwany także smogiem typu Los Angeles (BJÖRN i MCKENZI 2015).

Od lat 70. XX w. aż do 2000 r. rejestrowano systematyczny ubytek zawartości ozonu w stratosferze o około 3% rocznie, czego skutkiem było zwiększone promieniowanie w paśmie UV-B (WMO 2014). Główną przyczyną degradacji warstwy ozonowej jest wzmożony dopływ do niej wolnego chloru i fluoru uwalnianego w reakcjach fotoche-



Ryc. 2. Trzy pasma promieniowania ultrafioletowego i ich przenikanie przez atmosferę (wg www.theozonehole.com).

micznych ze związków chlorofluorowęglodorowych (CFC), zwanych freonami i halonami, stosowanymi do niedawna powszechnie przy produkcji aerozoli, sprzętu chłodniczego i gaśniczego. Mechanizm niszczenia ozonu wyjaśnili Mario Molina i Sherwood Roland w 1974 r., za co wraz z Paulem Crutzenem w 1995 r. otrzymali nagrodę Nobla (KOŁOS 1996). Ponadto, nad biegunami Ziemi w okresie wczesnej wiosny rejestrowane są tzw. dziury ozonowe, spowodowane uwolnieniem zgromadzonych CFC i specyficzną wirową cyrkulacją atmosferyczną. Ustalono, że dziurą ozonową jest nazywany okółbiegunowy obszar stratosfery, w którym zawartość ozonu jest mniejsza o 27%, w porównaniu z jego średnią zawartością (GARCIA 2011, WMO 2014). Dotyczy to szczególnie Antarktydy, gdzie taki obszar w 2014 r. był równy powierzchni Ameryki Północnej, a w 2015 r. przekroczył 28 mln km² i według prognoz ma się corocznie powiększać aż do 2050 r. (IMGW 2016). Mniejsze ubytki ozonu rejestrowano także nad Arktyką; rekordowy stwierdzono wiosną 2011 r. Jednak wynikający z tego wzrost natężenia UV na terenie Polski jest w tej porze roku prawie niezauważalny (IG PAN 2016). W 1987 r. 160 państw świata, w tym Polska, podpisało tzw. Protokół Montrealski (uaktualniony w 1997 r.), ustalający ograniczenie emisji substancji zubożających warstwę ozonową, zawierających w swym składzie atomy chloru, fluoru i bromu (Dz.U. 1992). Dzięki wdrożeniu ustaleń Protokołu nastąpiła znaczna redukcja emisji tych substancji, aż do 10% w 2014 r., w porównaniu z rokiem 1985, a w latach 2000-2014 zarejestrowano średni wzrost globalnego stężenia ozonu w stratosferze o około 1% rocznie (WMO 2014). Mimo to,

modele fizyczno-chemiczne klimatu nie przewidują naprawy warstwy ozonowej w średnich szerokościach geograficznych w najbliższych 2-3 dekadach (IG PAN 2014). W 2015 r. średnia roczna zawartość ozonu stratosferycznego rejestrowanego w stacji w Belsku była nieco niższa od średniej wieloletniej z lat 1963-2014. Co więcej, po 2005 r. zarejestrowano w Europie Centralnej, w tym i nad Polską, zaskakujące zmniejszenie grubości ochronnej warstwy ozonowej w sezonie wiosennym (IG PAN 2016). Według raportów Instytutu Geofizyki PAN, od początku listopada do końca marca pojawiają się „mini-dziury” ozonowe nad Belskiem. W tym czasie dzienne dawki promieniowania UV mierzone przy powierzchni Ziemi są z natury niewielkie (niska wysokość Słońca), zatem spodziewany duży wzrost poziomu UV nie jest szczególnie niebezpieczny (IG PAN 2016). Z raportów Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej wynika jednak, że epizody ubytku ozonu coraz częściej zdarzają się w okresie letnim i wiążą się ze wzrostem natężenia promieniowania UV-B (IMGW 2016).

KORZYSTNY WPŁYW SŁONECZNEGO PROMIENIOWANIA ULTRAFIOLETOWEGO NA LUDZKI ORGANIZM

Codzienna porcja słonecznego promieniowania UV jest niezbędna dla zdrowia człowieka, podobnie jak odpowiednia dawka minerałów lub witamin (STANISZ 2009, BOGH 2012). Udowodnionym medycznie korzystnym efektem działania promieniowania UV-B na skórę jest fotoaktywacja syntezy witaminy D₃, koniecznej do prawidłowego funkcjonowania gospodarki wapniowo-fosforanowej, co ma szczególne znaczenie dla dzieci, bo chroni je przed krzywicą, a osoby starsze przed osteoporozą (BRENNER i współaut. 2008, KOZŁOWSKA 2008, STANISZ 2009). Witamina D pełni ważną rolę dla ludzkiego organizmu, gdyż poprzez jej udział w metabolizmie wapnia zwiększa wchłanianie jelitowe, stymuluje tworzenie i mineralizację tkanki kostnej, a ponadto moduluje procesy wzrostu komórek w wielu narządach i tkankach, chroniąc przed niekontrolowanymi podziałami komórkowymi i ograniczając rozwój nowotworów, zwłaszcza jelita grubego i sut-

ka (REICHRATH i NÜRNBERG 2009, WĘGŁOWSKA i MILEWSKA 2011). Istnieją dwa rodzaje witaminy D, zwanej także kalcyferolem, różniące się budową: witamina D₂ (ergokalcyferol) i witamina D₃ (cholekalcyferol). Dla zapoczątkowania procesu syntezy witaminy D₃ w skórze konieczna jest obecność UV-B o długości fali 290–315 nm w ilości około 40 J·m⁻², przy czym największą efektywność wykazano przy 298 nm (BOGH 2012, CIE 2016). Zawarty w niej aktywny związek o nazwie 7-dehydrocholesterol (7-DHC) pod wpływem promieniowania UV-B ulega przekształceniu w prowitaminę D₃, po czym w ciągu kilku godzin ulega ona izomeryzacji do witaminy D₃ (KOZŁOWSKA 2008, PACHOLCZYK i współaut. 2016). Ilość fotosyntezywanej w skórze witaminy D₃ zależy od szerokości geograficznej, pory roku i dnia, wysokości n.p.m., a także od ilości pigmentu i grubości skóry (JABŁOŃSKI i CHAPLIN 2010). Przyjmuje się, że dawkę promieniowania UV-B potrzebną do wytworzenia dziennej porcji witaminy D₃ zapewnia pobyt przez 15 minut na słońcu z odsłoniętą twarzą i dłońmi (WEBB i ENGELSEN 2006, WĘGŁOWSKA i MILEWSKA 2011). Nie są znane przypadki przedawkowania tej witaminy, gdyż ewentualne nadmierne jej ilości są przekształcane w nieaktywne fotoprodukty (lumisterol i tachysterol) (WALICKA i współaut. 2008, BOGH 2012). Światowa Organizacja Zdrowia szacuje, że ponad 4 mld ludzi na świecie jest narażonych na niedobór witaminy D z powodu niewystarczającego napromieniowania UV-B (WHO 2006). W Polsce, ze względu na niski poziom UV-B od listopada do lutego, istnieje konieczność uzupełniania niedoboru witaminy D w organizmie (KRZYŚCIN i współaut. 2011). Według krajowych zaleceń w okresie od września do kwietnia, a w przypadku niedoboru słonecznego promieniowania UV także i w pozostałych miesiącach roku, osoby dorosłe powinny w ciągu doby, zależnie od masy ciała, otrzymywać doustnie witaminę D w ilości od 20–50 µg, a dzieci od 15 do 25 µg (PŁUDOWSKI i współaut. 2013).

Naturalnym skutkiem ekspozycji na promieniowanie słoneczne jest opalenizna (pigmentacja skóry) stanowiąca ochronę przed wnikaniem UV do głębszych warstw skóry (JABŁOŃSKI i CHAPLIN 2010). Jest to uzależnione od zdolności wytwarzania melaniny, przy czym wyróżnia się pigmentację natychmiastową i późną (BOWSZYC-DMOCHOWSKA 2010, PACHOLCZYK i współaut. 2014). Pigmentacja natychmiastowa zachodzi pod wpływem promieni UV-A krótko po ekspozycji. Pigmentacja późna, będąca efektem działania UV-A i UV-B, rozwija się po 24–72 godzinach od ekspozycji i utrzymuje się przez kilka tygodni. Zbyt długie wystawienie cia-

ła na promienie ultrafioletowe lub działanie substancji zakłócających wytwarzanie melaniny, np. niektórych leków bądź perfum, może spowodować nierównomierną dystrybucję barwnika w postaci widocznych przebarwień skóry (BOWSZYC-DMOCHOWSKA 2010).

Skóra poddana działaniu promieniowania UV-B w odpowiedniej dawce staje się lepiej ukrwiona, bardziej elastyczna i mniej podatna na zakażenia (KOLEK 2006). Dzięki temu jest także bardziej odporna na przyjmowanie kolejnych dawek promieniowania UV. Wiąże się to z uaktywnieniem syntezy melaniny, pełniącej funkcję naturalnego filtra przeciwsłonecznego (ROK i współaut. 2012). Melanina wykazuje także właściwości przeciwutleniające, porównywalne ze skutecznością witaminy E, oraz hamujące aktywność drobnoustrojów kolonizujących skórę. Podobnie jak w przypadku syntezy witaminy D₃, potrzeba jedynie 15 minut przebywania dziennie na słońcu, aby stopniowo uzyskać odporność skóry na promieniowanie słoneczne. Uważa się, że u osób unikających słońca częściej występują: osteoporoza, bóle mięśniowe i stawowe oraz nowotwory narządów wewnętrznych (WĘGŁOWSKA i MILEWSKA 2011).

Promieniowanie UV wpływa aktywująco na niektóre układy enzymatyczne, pobudza przysadkę mózgową, wpływa na układ oksydo-redukcyjny, działa na układ gruczołów dokrewnych. Następuje poprawa samopoczucia, przemiany materii i reaktywności organizmu (GLIWA i współaut. 2013). Zmiany w organizmie człowieka wywołane promieniowaniem ultrafioletowym dotyczą także układu oddechowego i krwiotwórczego. Uważa się, że leczniczy wpływ promieniowania UV wiąże się w dużej mierze ze zwiększeniem aktywności wodorosiarczków zawartych w organizmie, co wpływa pobudzająco na wiele zachodzących reakcji redukcyjno-oksydacyjnych hormonów, witamin i enzymów (KOLEK 2006).

SZKODLIWE DZIAŁANIE PROMIENIOWANIA UV NA ORGANIZM CZŁOWIEKA

Promieniowanie ultrafioletowe jest pochłaniane przez takie chromofory jak DNA, RNA, białka, aminokwasy aromatyczne (np. tyrozyna, tryptofan) i melanina zawarta w ludzkiej skórze (BRENNER i współaut. 2008, ROMANHOLE i współaut. 2015). W konsekwencji uruchamiane są reakcje fotochemiczne oraz wtórne interakcje z udziałem reaktywnych form tlenu, szczególnie groźne po zbyt długiej ekspozycji. Powstające szkodliwe produkty mogą być naprawiane przez specyficzne enzymy. Kiedy komórka nie jest

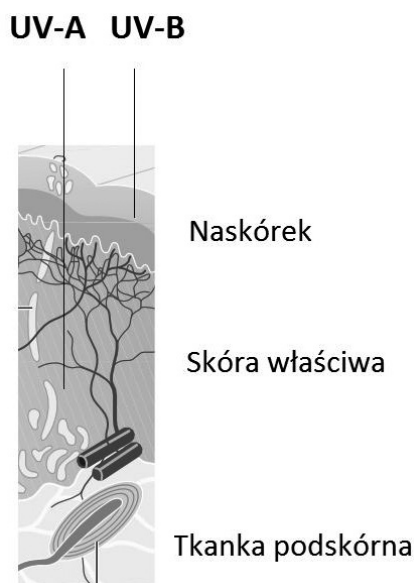
w stanie naprawić uszkodzeń, następują w niej mutacje, a w komórkach powstałych po mitozie ujawniają się zmiany mechanizmów fotoochronnych związanych z inhibicją replikacji, apoptozy bądź nawet śmiercią komórki będącej przENOŚNIKIEM mutacji (ROMANHOLE i współaut. 2015).

Powstałe zmiany w strukturze DNA można podzielić na uszkodzenia oksydacyjne, związane z tworzeniem utlenionych form zasad purynowych i pirymidynowych, oraz fotouszkodzenia, w wyniku których powstają produkty pirymidyno-pirymidonowe i dimery pirymidynowe (BOWSZYC-DMOCHOWSKA 2010). Zmiany te mogą w dalszej kolejności doprowadzić do powstania mutacji i rozwoju nowotworów takich jak: czerniak, rak podstawnokokomórkowy lub płaskokomórkowy skóry (ROK i współaut. 2012).

Skóra należy do najbardziej wrażliwych na promieniowanie UV części ludzkiego ciała (ŁASTOWIECKA-MORAS i BUGAJSKA 2011). Składa się ona z trzech warstw: naskórka w części zewnętrznej, skóry właściwej w części środkowej i tkanki podskórnej w części wewnętrznej (Ryc. 3). W skład naskórka wchodzi głównie keratynocyty i melanocyty przykryte warstwą zrogowaciałych komórek, a skóra właściwa składa się głównie z tkanek łącznej i przebiegających w niej naczyń krwionośnych. W tkance łącznej skóry właściwej zawarte są włókna kolagenowe wytwarzane przez fibroblasty, dające skórze odporność na rozciąganie, oraz włókna elastyczne nadające skórze elastyczność i sprężystość. Wskutek zmian spowodowanych długotrwałą

ekspozycją na promieniowanie ultrafioletowe właściwości wszystkich warstw skóry ulegają znacznemu pogorszeniu. Promieniowanie UV-B działa na powierzchni skóry, penetrując tylko do naskórka (Ryc. 3). Powoduje uszkodzenia naskórka i jego nadmierne rogowacenie, stany zapalne skóry, efekt „poparzenia” w postaci tzw. rumienia (erytemy), działa mutagennie, kancerogennie i genotoksyczne na poziomie molekularnym, powodując uszkodzenia DNA. Dane epidemiologiczne wskazują, że w ciągu ostatnich dekad szybkość wzrostu nowych zachorowań na nowotwory skóry w populacjach o jasnej karnacji jest jednym z największych zagrożeń zdrowia na świecie (PACHOLCZYK i współaut. 2016).

Najgroźniejszym nowotworem skóry jest czerniak złośliwy (ang. malignant melanoma, MM), chociaż jest on stosunkowo rzadki i stanowi zaledwie do 2% wszystkich nowotworów skóry (ELISZ i BROKOWSKA 2015). W populacji ludzkiej najczęściej występują nieczerniakowe nowotwory skóry, stanowiące 30% wszystkich nowotworów złośliwych wśród osób o białym kolorze skóry. Należy do nich najczęściej pojawiający się rak podstawnokokomórkowy (ang. basal cell carcinoma, BBC), który stanowi 80% wszystkich złośliwych zmian nowotworowych skóry. Ma on zwykle postać guzkową i jest umiejscowiony na skórze twarzy, z czego 30% w okolicy nosa. Cechuje się nieznaczoną złośliwością i powolnym wzrostem. Częściej jest obserwowany u osób z jaśniejszym zabarwieniem skóry powyżej 65 r.ż., co stanowi ponad 95% wszystkich przypadków tego typu raka (ELISZ i BROKOWSKA 2015). Wykazano związek między wystąpieniem raka podstawnokokomórkowego u osób młodych (do 30 r.ż.) a częstym opalaniem i korzystaniem z solariów (BORZECKI i współaut. 2005). Drugim pod względem częstości występowania jest rak kolczystokomórkowy (ang. squamous cell carcinoma, SCC), będący często skutkiem rogowacenia słonecznego, wywołuje nieraz znaczne ubytki tkanek, a w przypadku 3–5% zmian, daje przerzuty do węzłów chłonnych i narządów wewnętrznych. Charakteryzuje się szybkim wzrostem, naciekaniem miejscowym przeważnie na twarzy, głównie na nosie, małżowinie usznej oraz wardze dolnej. Nowotwór ten występuje częściej u osób posiadających jasny odcień skóry i powyżej 50 r.ż. Trzecim pod względem częstości zachorowań nowotworem skóry jest rak podstawnokolczystokomórkowy, będący formą pośrednią między dwoma powyższymi. Zachorowalność na nowotwory złośliwe skóry w Polsce w latach 2002–2012 wykazywała tendencję rosnącą zarówno w przypadku kobiet, jak i mężczyzn (ELISZ i BROKOWSKA 2015). Nieczerniakowe raki skó-



Ryc. 3. Budowa skóry ludzkiej oraz wnikanie promieni UV-A i UV-B (wg www.wikimedia.org; autor oryginału MADHERO88 (2011).

ry stanowią około 10% wszystkich nowotworów złośliwych w Polsce. Korzystanie z lamp w solariach może nawet 12-krotnie zwiększyć roczną ekspozycję na promieniowanie UV, a więc także zwiększyć ryzyko wystąpienia raków skóry (BORZECKI i współaut. 2005).

Promieniowanie UV-A przenika do skóry właściwej, chociaż bezpośredniego działania nie odczuwamy. Powoduje ono uszkodzenie włókien kolagenu i elastyny oraz ścian naczyń krwionośnych, jest główną przyczyną reakcji fototoksycznych i fotoalergiczných, a także przyczynia się do egzogennej starzenia skóry (DĘBOWSKA i współaut. 2006, GLIWA i współaut. 2013). W procesie fotostarzenia skóry może dochodzić do powstania specyficznych zmian skórnych, będących konsekwencją elastozy dosłonecznej, która polega na nadmiernym gromadzeniu nieprawidłowych włókien elastycznych w miejscach narażonych na promieniowanie słoneczne (ŁASTOWIECKA i BUGAJSKA 2011). Szkody wywołane przez promienie UV-A są nieodwracalne i najczęściej ujawniają się po wielu latach. Szacuje się, że w skórze niechronionej 80% wszystkich zmian obserwowanych podczas starzenia się człowieka jest indukowanych przez promieniowanie UV-A (DĘBOWSKA i współaut. 2008).

Poza skórą, promieniowanie UV-B drażniąc spojówkę i rogówkę oka, może doprowadzić do ich stanu zapalnego. Ponadto istnieje ryzyko powstawania zaćmy fotochemicznej i osłabienia odporności immunologicznej (WOLSKA i GAŁECKI 2010, GLIWA i współaut. 2013). Długotrwałe działanie UV na gałki oczne może prowadzić do zgrubienia spojówki gałkowej, a także uszkodzenia nabłonka rogówki oraz zmian nowotworowych (BISZCZUK i współaut. 2012, PACHOLCZYK i współaut. 2016). Chociaż uważa się, że promieniowanie ultrafioletowe w niewielkich dawkach zwiększa odporność na choroby, to jednak wykazano, że zbyt wysoki jego

poziom może ograniczać skuteczność szczepionek (WHO 2002).

Dla poszczególnych skutków wywołanych przez promieniowanie UV opracowano doświadczalnie rozkłady widmowe skuteczności biologicznej, które obrazują względną skuteczność danej reakcji w zależności od długości fali. Do najczęściej wykorzystywanych należy krzywa erytemalna, tj. skuteczność wywoływania rumienia skóry, (maksimum przy 290–298 nm). Ponadto, znane są krzywe skuteczności: wytwarzania witaminy D₃ (298 nm), wywoływaniu nieczerniakowego raka skóry (299 nm), uszkodzenia DNA (290 nm), wywoływaniu zapalenia rogówki (290 nm) (BISZCZUK-JAKUBOWSKA i CURYŁO 2010, WOLSKA i GAŁECKI 2010, BOGH 2012, CIE 2016).

INDEKS UV

Do ilościowego określenia promieniowania ultrafioletowego stosuje się różne wielkości i jednostki, w tym podane już wcześniej natężenie napromieniowania, wyrażone w W·m⁻² (CIE 2014). W programach powszechnej informacji o potencjalnie szkodliwym działaniu na zdrowie nadmiernej ekspozycji na promieniowanie ultrafioletowe oraz ostrzeżenia ludzi o konieczności stosowania środków ochronnych, wprowadzono tzw. indeks UV (IMGW 2002). Jego definicja została uznana przez Światową Organizację Zdrowia, Światową Organizację Meteorologiczną, Program Środowiskowy Narodów Zjednoczonych i Międzynarodową Komisję ds. Ochrony Przed Promieniowaniem Niejonizującym (WHO 2002). Indeks UV jest wielkością bezwymiarową o wartościach całkowitych w zakresie od 0 do 16, przy czym już przy wartości 3 lub większej zalecana jest ochrona przed UV. Jest on określony na podstawie skutku działania promieniowania na skórę człowieka w postaci rumienia i wyrażony iloczynem uśrednionego w czasie, efektywnego



Rys. 4. Osobisty miernik indeksu UV i aplikacja na iPada.

biologicznie natężenia napromieniowania [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] i współczynnika 40 [$\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$]. Przykładowo, natężenie UV o wartości 0,1 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ odpowiada indeksowi UV 4. Z kolei indeks UV o wartości 1 odpowiada 0,025 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Wartości od 0 do 2 uważane są za niskie i w systemach powszechnego informowania społeczeństwa oznaczane kolorem zielonym, od 3 do 5 – średnie (żółty), 6–7 – wysokie (pomarańczowy), 8 do 10 – bardzo wysokie (czerwony), a od 11 – ekstremalnie wysokie (fioletowy) (WHO 2002). Największe wartości rejestrowane są w obszarze równikowym. Coraz powszechniej dostępne są w sprzedaży osobiste mierniki indeksu UV (Rys. 4), a także aplikacje na smartfony (play.google.com), informujące o wartości indeksu UV na podstawie opracowanych prognoz ze światowych baz danych.

MONITORING UV-B W POLSCE

W Polsce, podobnie jak w wielu innych państwach, prowadzony jest ciągły pomiar natężenia promieniowania ultrafioletowego, przez dwa centralne ośrodki badawcze. Jeden z nich to Centralne Obserwatorium Geofizyczne Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Belsku (ok. 50 km od Warszawy), gdzie od 1975 r. jest rejestrowane biologicznie czynne ultrafioletowe promieniowanie słoneczne za pomocą aparatury o czułości widmowej zbliżonej do czułości erytemalnej (odpowiadającej tworzeniu rumienia) skóry człowieka (KRZYŚCIN i współaut. 2004, 2011). Z opublikowanych raportów można się dowiedzieć, że w 2013 r. indeks UV miał największą wartość średnią w lipcu (5,5), mniejszą w czerwcu (5,4), a najniższą w sierpniu (4,7) (IG PAN 2014). W 2015 r. wartości te były nieco wyższe i wynosiły w lipcu 6,3, w czerwcu 5,9, a w sierpniu 5,2, natomiast największą wartość indeksu UV w Belsku wynoszącą 7,4 zarejestrowano 16 czerwca 2015 r., a wartości równe lub większe niż 7,0 stwierdzono w lipcu 2015 r. pięć razy (IG PAN 2016). Autorzy raportu wykazali, że średni poziom napromieniowania UV-B w 2015 r. był o 18% wyższy niż w połowie lat 70. XX w., co przypisują zmianom zawartości ozonu w stratosferze i zmniejszonego stężeniu aerozoli atmosferycznych.

Druga jednostka rejestrująca poziom UV-B w Polsce to leżący w Legionowie, w odległości 22 km od centrum Warszawy, Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery, (poprzednia nazwa: Ośrodek Aerologii), należący do warszawskiego Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Pomiary są tam wykonywane od połowy 1993 r. przy wykorzystywaniu radiometrów zainstalowanych na stacjach w Łebie, Le-

gionowie i Zakopanem (BISZCZUK i współaut. 2012). Wyniki pomiarów służą do badań o charakterze klimatycznym (IMGW 2016). Od 2005 r. na stacjach w Legionowie, Łebie, Katowicach i Zakopanem zainstalowano dodatkowo radiometry działające w ramach sieci monitoringu, a wyniki są na bieżąco publikowane na stronie www.pogodynka.pl/indeksuv. Od maja do września można tam znaleźć wartość indeksu UV (aktualizowana co 5 minut) i prognozę indeksu UV na następny dzień.

Dostępne są także mapy zbiorcze ze średnim indeksem UV oraz wykresy indeksu (chwilowego i średniego) z wymienionych stacji (BISZCZUK i współaut. 2012). Z opublikowanych raportów wynika, że w 2015 r. najwyższą wartość indeksu UV zarejestrowano w lipcu w Zakopanem (9,5), w Katowicach 8,0, podczas gdy maksymalne wartości w Łebie i Legionowie w ciągu całego roku nie osiągnęły 7 (IMGW 2016). Na wszystkich stacjach obserwowano epizodycznie wartości indeksu UV zbliżone do ekstremów wieloletnich w seriach pomiarowych, a nawet je przekraczające. Dużo przypadków ekstremalnych wartości indeksu UV zaobserwowano na stacji w Zakopanem, zwłaszcza w sierpniu, a najwyższe wartości zanotowano w lutym i kwietniu. Ekstremalne natężenia promieniowania UV-B związane były ze znacznymi ubytkami ozonu całkowitego i utrzymującą się w tych okresach słoneczną pogodą. Wysokie wartości indeksu UV zmierzono także w lipcu w Legionowie oraz w kwietniu w Łebie i Legionowie. Autorzy raportu podkreślają ponadto, że w okresie zimowym ze względu na niski poziom promieniowania UV-B występuje problem niedoboru witaminy D₃, na który narażeni są szczególnie mieszkańcy północnej części kraju. Przykładowo, w Łebie w grudniu 2015 r. było 10 dni ze zbyt niskim poziomem UV-B, a w styczniu 8, w Zakopanem był w tym czasie tylko jeden taki dzień, a w Legionowie w grudniu 4 dni, a w styczniu 6 (IMGW 2016).

Monitoring promieniowania ultrafioletowego jest ważny przede wszystkim ze względu na osoby masowo korzystające z kąpieli słonecznych w okresie letnim, ale także z powodu ryzyka zachorowań osób pracujących na otwartych przestrzeniach (WOLSKA 2013). Najbardziej narażeni na słoneczne promieniowanie UV są: rolnicy, pracownicy budowlani wykonujący roboty stanu surowego, ratownicy wodni i marynarze. W Polsce w 2007 r. na zewnętrznych stanowiskach pracy zatrudnionych było 2,84 mln osób, czego największą grupę, około 2,1 mln osób, stanowili rolnicy narażeni często w lecie na promieniowanie o indeksie 8 (WOLSKA I GAŁECKI 2010).

ŚRODKI OCHRONNE PRZED PROMIENIOWANIEM ULTRAFIOLETOWYM

Ochronę zewnętrzną skóry przed promieniowaniem UV zapewniają produkty kosmetyczne zawierające filtry fizyczne (tlenki tytanu, cynku i żelaza, mika), filtry chemiczne (estry kwasu cynamonowego, oktokrylen, benzofenony, fenylobenzotriazole) oraz dozwolone doustnie związki wychwytyjące wolne rodniki, np. witamina E, ubiquinon, flawonoidy (STANISZ 2009). Innowacyjnym rozwiązaniem jest wprowadzenie do preparatów kosmetycznych enzymów naprawczych: fotolizazy i endonukleazy, które rozpoznają i usuwają uszkodzone fragmenty materiału genetycznego, zapobiegając w ten sposób nieodwracalnym zmianom w DNA komórek skóry (BOJAROWICZ i BARTNIKOWSKA 2014).

Każdy produkt kosmetyczny mający chronić skórę przed negatywnymi skutkami promieniowania ultrafioletowego powinien mieć podany na opakowaniu wskaźnik ochrony przeciwsłonecznej. Międzynarodowy standardyzowany wskaźnik SPF (ang. sun protection factor) dotyczy działania fotochronnego w stosunku do UV-B i jest określony jako iloraz minimalnej dawki promieniowania powodującej rumień na skórze chronionej danym preparatem i minimalnej dawki promieniowania wywołującej rumień na skórze niechronionej (BOJAROWICZ i BARTNIKOWSKA 2014). Przykładowo, krem do twarzy oznakowany jako SPF 10 oznacza, że dawka promieniowania UV-B wywołująca rumień po jego zastosowaniu jest dziesięciokrotnie większa niż dawka wywołująca taki sam rumień na skórze bez kremu. Inaczej mówiąc, jeśli bezpieczny czas przebywania na słońcu bez kremu wynosi 15 minut, to po zabezpieczeniu skóry kremem o SPF 10 można opalać się 150 minut.

Zależność między SPF a ilością odbijanego lub pochłanianego promieniowania nie jest jednak liniowa; kosmetyk o wskaźniku SPF 15 chroni skórę przed promieniowaniem UVB w 93,3%, o SPF 30 w 96,7%, a o SPF 50 w 98,3% (BOJAROWICZ i BARTNIKOWSKA 2014). Zalecana wartość SPF produktu ochrony przeciwsłonecznej dla dzieci wynosi co najmniej 30, a w przypadku jasnej karnacji powinny być stosowane preparaty SPF 50 lub 50+. W odniesieniu do preparatów kosmetycznych określających zdolność do ochrony przed promieniowaniem UV-A stosowane są symbole PPD (ang. persistent pigmentation darkening) i IDP (ang. immediate pigmentation darkening), które nie są uznane oficjalnie w skali międzynarodowej (STANISZ 2009, BOJAROWICZ i BARTNIKOWSKA 2014). Funkcjonuje także wskaźnik ochrony

dotyczący ubrań (ang. UV protection factor, UPF) (BARTKOWIAK i współaut. 2010, BOJNAROWICZ i BARTNIKOWSKA 2014). Także w przypadku tych wskaźników, im wyższa wartość liczbową, tym lepsza ochrona przed promieniowaniem.

Stosowanie preparatów promieniochronnych UV jest podstawowym elementem profilaktyki nowotworów skóry i procesu fotostarzenia. Nawet najlepszy kosmetyk nie jest jednak w stanie zagwarantować całkowitej ochrony przeciwsłonecznej, tym bardziej, że niektóre z nich mogą powodować reakcje alergiczne. Należy zatem unikać nadmiaru słońca, korzystając z udostępnianych informacji o wartości indeksu UV i stosować odpowiednią odzież, nakrycie głowy i okulary przeciwsłoneczne oznaczane jako UV 400 (nie przepuszcza promieniowania o długości fali krótszej niż 400 nm). Istotne znaczenie ma także odpowiednia dieta działająca prewencyjnie, która powinna być bogata w witaminę A, wielonienasycone kwasy tłuszczowe z grupy omega-3 oraz polifenole zawarte m.in. w zielonej herbacie (ŁASTOWIECKA i BUGAJSKA 2011, BOJAROWICZ i BARTNIKOWSKA 2014).

PODSUMOWANIE

Słoneczne promieniowanie ultrafioletowe, chociaż stanowi mniej niż 10% całkowitej energii promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi, jest bardzo ważne dla zdrowia człowieka. Spośród trzech pasm różniących się działaniem biologicznym za najważniejsze uznaje się UV-B, którego działanie jest konieczne do syntezy w ludzkiej skórze witaminy D₃, pełniącej ważną rolę nie tylko w tworzeniu i mineralizacji tkanki kostnej, ale także chroniącej przed niektórymi chorobami nowotworowymi. Należy jednak pamiętać, aby nie narażać się na zbyt dużą ekspozycję na promieniowanie słoneczne, gdyż przekroczenie dawki erytemalnej może spowodować oparzenie, a kilkakrotnie powtórzone oparzenia słoneczne w przyszłości mogą być przyczyną nowotworów skóry, z których najczęściej diagnozowany jest rak podstawnokomórkowy. Negatywny wpływ promieniowania UV-A, które przyspiesza starzenie skóry i indukuje patologiczne zmiany w jej tkankach należy ograniczać poprzez skracanie ekspozycji i stosowanie odpowiednich osłon. W okresie letnim, będąc na otwartej przestrzeni, zwłaszcza na piaszczystej plaży, a w zimie przebywając na ośnieżonych szlakach górskich, warto sprawdzać podawany w prognozach pogody tzw. indeks UV i już przy wartości 3 należy stosować nakrycia głowy, kremy zawierające filtry, a przede wszystkim okulary ochronne

z filtrem UV. Wbrew panującej modzie należy unikać korzystania z solariumów, w których stosowane są sztuczne źródła promieniowania ultrafioletowego, powodujące nie tylko doraźny efekt opalenizny, ale mogące w przyszłości być przyczyną chorób nowotworowych.

Streszczenie

Promieniowanie słoneczne jest niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu, wpływa korzystnie na samopoczucie, pobudza wydzielanie wielu hormonów, umożliwia syntezę witaminy D₃. Niewielka część jest emitowana w zakresie ultrafioletowym (UV) w trzech pasmach różniących się działaniem biologicznym: UV-A, UV-B i UV-C. Wysokoenergetyczne promieniowanie UV-C zabójcze dla żywych organizmów w całości jest pochłaniane przez tlen i ozon w górnej warstwie atmosfery. UV-B jest częściowo absorbowane przez stratosferyczną warstwę ozonową, a jego pozytywne działanie polega przede wszystkim na zdolności wytwarzania witaminy D₃ w skórze człowieka. Umiarkowana i stopniowo wydłużana ekspozycja odsłoniętych części ciała wywołuje po kilku dniach efekt opalenizny, którą należy traktować jako obronną reakcję skóry na UV-B. Zbyt długa ekspozycja przekraczająca tzw. dawkę erytemalną powoduje oparzenie słoneczne zwane rumieniem, co w późniejszym okresie może wywołać nowotwory skóry. Promienie UV-A głębiej przenikają przez skórę, powodując krótkotrwały efekt opalenizny, ale także przyspieszone jej starzenie poprzez uszkodzenie kolagenu i elastyny, wysuszenie skóry i przyspieszone tworzenie zmarszczek. Korzystając z kąpieli słonecznych, warto sprawdzać podawany w prognozach pogody tzw. indeks UV, który jest międzynarodowym wskaźnikiem, będącym liczbą od 0 do 16, proporcjonalnym do natężenia promieniowania w zakresie od 297 nm do 400 nm o krzywej widmowej odpowiadającej efektywności tworzenia rumienia. W Polsce w okresie letnim może on osiągnąć wartość 10, jednak już przy wartości 3 należy zachować środki ostrożności: nakrycie głowy, kremy z filtrami pochłaniającymi UV-B oraz okulary ochronne, UV oddziałuje bowiem nie tylko na skórę, ale także na oczy. Długotrwałe narażenie soczewek ocznych na intensywne promieniowanie o długości fali 300-320 nm może prowadzić do powstania zaćmy fotochemicznej. Powszechnie znaną dolegliwością oczu wywołaną ekspozycją na UV-B jest zapalenie spojówek, zdarzają się przypadki uszkodzenia rogówki, a nawet siatkówki oka.

LITERATURA

- BARTKOWIAK G., WOLSKA A., OWCZAREK G., 2010. Środki ochrony indywidualnej do ochrony pracowników przed zagrożeniami wywołanymi naturalnym UV. *Prace Inst. Elektrotechn.* 244, 149-160.
- BISZCZUK-JAKUBOWSKA J., CURYŁO A. 2010. *Słoneczne promieniowanie UV a zdrowie człowieka.* Prace Instyt. Elektrotechn. 244, 93-106.
- BISZCZUK-JAKUBOWSKA J., CURYŁO A., KOIS B., ZABŁOCKI G., 2012. *System informacyjny o słonecznym promieniowaniu UV w IMGW-PIB.* Prace Instyt. Elektrotechn. 255, 251-258.
- BJÖRN L. O., 2008. *Photobiology. The Science of Life and Light.* Springer.
- BJÖRN L. O., MCKENZI R. L., 2015. *Ozone depletion and the effects of ultraviolet radiation.* [W:] *Photobiology.* BJOERN L.O. (red.). Springer 22, 347-363.
- BŁAŻEJCZYK K., KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA T. 2008. *Klimat a zdrowie.* Kosmos. 57, 269-279.
- BOGH M. K. B., 2012. *Vitamin D production after UVB: Aspects of UV-related and personal factors.* Scand. J. Clin. Lab. Invest. 72 (Suppl. 243), 24-31.
- BOJAROWICZ H., BARTNIKOWSKA N., 2014. *Kosmetyki ochrony przeciwslonecznej. Cz. II. Wybór optymalnego preparatu.* Probl. Hig. Epidemiol. 95, 602-608.
- BORZECKI A., CHODOROWSKA G., STEPIEŃ K., MACIĄG J., 2005. *Nieczerniakowe raki skóry – problem nadal aktualny.* Nowa Medycyna 2
- BOWSZYC-DMOCHOWSKA M., 2010. *Działanie promieniowania ultrafioletowego na skórę. Ostre i przewlekłe uszkodzenie posłoneczne.* Homines Hominibus 6, 29-42.
- BRENNER M., HEARING V. J., WOLBER R., 2008. *The protective role of melanin against UV damage in human skin.* Photochem. Photobiol. 84, 539-549.
- CIE, 2014. *Rationalizing nomenclature for UV doses and effects on humans. Technical Report No 11.* Commission Internationale de L'Eclairage, World Meteorological Organisation.
- CIE, 2016. *Action Spectrum for the production of previtamin D₃ in human skin.* Commission Internationale de L'Eclairage 174, 1-16.
- DĘBOWSKA R., BAZELA K., ERIS I., 2008. *Fotoliza i endonukleaza w ochronie skóry przed fotostarzeniem.* Dermatol. Estet. 10, 90-96.
- Dz.U., 1992. *Protokół Montrealski w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową.* Dz.U. 92.98.490 z dnia 23 grudnia 1992 r.
- EBISZ M., BROKOWSKA M., 2015. *Szkodliwe oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego na skórę człowieka.* Hyg. Publ. Health 50, 467-473.
- FRÖHLICH C., LEAN J. 1998. *The Sun's total irradiance: cycles, trends and related climate change uncertainties since 1976.* Geophys. Res. Lett. 25, 23, 4377-4380.
- GARCIA R. R., 2011. *Atmospheric science: An Arctic ozone hole?* Nature, 478, 462-463.
- GLIWA E., GOŹDZIAŁSKA A., JAŚKIEWICZ J. 2013. *Wpływ promieniowania UV na skórę.* [W:] *Współczesne kierunki w medycynie prewencyjnej.* GOŹDZIAŁSKA A., JAŚKIEWICZ J. (red.). KAAFM, Kraków, 93-101.
- IG PAN, 2014. *Monitoring całkowitej zawartości ozonu w atmosferze oraz natężenia promieniowania UV-B na stacji Belsk w latach 2014-2016. Raport o stanie warstwy ozonowej w 2013 roku.* Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk Warszawa.
- IG PAN, 2016. *Monitoring całkowitej zawartości ozonu w atmosferze oraz natężenia promieniowania UV-B na stacji Belsk w latach 2013-2016. Raport o stanie warstwy ozonowej w 2015 roku.* Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk Warszawa.
- IMGW, 2002. *System informacyjny o słonecznym promieniowaniu UV.* Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy Warszawa.
- IMGW, 2016. *Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2013-2016.* Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy Warszawa.
- JABŁOŃSKI N. G., CHAPLIN G., 2010. *Human skin pigmentation as an adaptation to UV radiation.* PNAS 107, 8962-8968.

- KOLEK Z., 2006. *Oddziaływanie promieniowania optycznego na człowieka: korzystny wpływ i zagrożenia*. Prace Inst. Elektrotechn. 228, 269-281.
- KOŁOS R. 1996. *Znikający ozon*. Wiedza i Życie. <http://archiwum.wiz.pl/1996/96042100.asp>.
- KOOP G., LEAN J., 2011. *A new, lower value of total solar irradiance: evidence and climate significance*. Geophys. Res. Lett. 38, L01706.
- KOZŁOWSKA M., 2008. *Witamina Słońca*. Prace Inst. Elektrotechn. 237, 217-233.
- KRZYŚCIN J.W., EERME K., JANOUCH M., 2004. *Long-term variations of the UV-B radiation over Central Europe as derived from the reconstructed UV time series*. Ann. Geophys. 22, 1473-1485.
- KRZYŚCIN J. W., JAROSŁAWSKI J., SOBOLEWSKI P. S., 2011. *A mathematical model for seasonal variability of vitamin D due to solar radiation*. J. Photochem. Photobiol. B Biol. 105, 106-112.
- ŁASTOWIECKA-MORAS E., BUGAJSKA J., 2011. *Naturalne promieniowanie UV a przedwczesne starzenie się skóry człowieka*. Bezpieczeństwo Pracy 6, 8-10.
- MADHERO88, 2011. *Skin layers*. wikimedia.org/wiki/File:Skin_layers.png.
- MADRONICH S., 1993. *The atmosphere and UV-B radiation at ground level*. [W:] *Environmental UV Photobiology*. YOUNG A. R. (red.). Plenum Press, New York 1, 1-39.
- PACHOLCZYK M., CZERNICKI J., FERENC T., 2016. *Wpływ słonecznego promieniowania ultrafioletowego (UV) na powstawanie raków skóry*. Medycyna Pracy 67, 255-266.
- PLUDOWSKI P., KARCZMAREWICZ E., CHLEBNA-SOKÓŁ D., CZECH-KOWALSKA J., DEBSKI R., DOBRZAŃSKA A., i współaut., 2013. *Witamina D: rekomendacje dawkowania w populacji osób zdrowych oraz w grupach ryzyka deficytów – wytyczne dla Europy Środkowej 2013 r*. Stand. Med. Pediatria 10, 573-578.
- POŚCIK A., WOLSKA A., OWCZAREK G., 2009. *Oceńna narażenia na promieniowanie nadfioletowe z zastosowaniem indywidualnych fotochromowych dozymetrów*. CIOP PIP Warszawa.
- REICHRATH J., NÜRNBERG B., 2009. *Cutaneous vitamin D synthesis versus skin cancer development. The Janus faces of solar UV-radiation*. Dermato-Endocrinol. 1, 253-261.
- ROK J., OTREBA M., BUSZMAN E., WRZEŚNIOK D., 2012. *Melanina – z melanocyty do keratynocyty, czyli jak przebiega transport melaniny w skórze*. Annal. Acad. Med. Silesiensis 66, 60-66.
- ROMANHOLE R. C., ATAIDE J. A., MORIEL P., MAZ-ZOLA P. G., 2015. *Update on ultraviolet A and B radiation generated by the sun and artificial lamps and their effects on skin*. Int. J. Cosmetic Sci. 37, 366-370.
- STANISZ B., 2009. *Ochrona skóry przed negatywnymi skutkami promieniowania UV*. Farm. Pol. 65, 5, 363-368.
- WALICKA M., JASIK A., PACZYŃSKA M., WASOWSKI M., TAŁAJ M., MARCINOWSKA-SUCHOWIERSKA E., 2008. *Niedobór witaminy D – problem społeczny*. Post. Nauk Med. 1, 14-22.
- WEBB A. R., 1998. *Techniques for measuring solar ultraviolet radiation*. [W:] *Human Bioclimatology*. AULICIEMS A. (red.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 7-59
- WEBB A. R., ENGELSEN O., 2006. *Calculated ultraviolet exposure levels for a healthy vitamin D status*. Photochem. Photobiol. 82, 1697-1703.
- WĘGŁOWSKA J., MILEWSKA A. 2011. *Pozytywne i negatywne skutki promieniowania słonecznego*. Post. Kosmet. 2, 93-97.
- WHO, 1994. *Ultraviolet Radiation. Environmental Health Criteria 160*. World Health Organisation Geneva.
- WHO, 2002. *Global solar UV Index. A practical guide*. World Health Organisation, World Meteorological Organisation, United Nations Environment Programme, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
- WHO, 2006. *Environmental Burden of Disease Series, No. 13. Solar Ultraviolet Radiation. Global burden of disease from solar ultraviolet radiation*. LUCAS R., MCMICHAEL T., SMITH W., ARMSTRONG B. (red.) World Health Organisation.
- WIOŚ, 2006. *Ozon w 'pigulce. Cz. 1. Ozon 'zły' (w troposferze)*. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa.
- WMO, 2014. *Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 55. Scientific assessment of ozone depletion. Pursuant to Article 6 of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. World Meteorological Organization.
- WOLSKA A., 2013. *Occupational exposure to solar ultraviolet radiation of Polish outdoor workers: risk estimation method and criterion*. Int. J. Occupat. Saf. Ergon. 19, 107-116.
- WOLSKA A., GAŁECKI Ł., 2010. *Narażenie zawodowe na naturalne promieniowanie nadfioletowe w Polsce – ocena szacunkowa*. Bezp. Pracy 1, 14-17.

KOSMOS Vol. 65, 4, 657–667, 2016

ELŻBIETA SKÓRSKA

Department of Physics and Agrophysics, Faculty of Environment Management and Agriculture, West Pomerania University of Technology in Szczecin, Papieża Pawła VI, 71-459 Szczecin, e-mail: eskorska@zut.edu.pl

THE IMPACT OF THE SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION ON THE HUMAN BODY

Summary

Solar radiation is necessary for the proper functioning of the human body, has a positive effect on human mood, stimulates the secretion of several hormones, enables synthesis of vitamin D₃. A small part, approx. 8%, of the solar radiation is emitted as ultraviolet (UV) having three different ranges of biological activity: UV-A, UV-B and UV-C. The last one, which destroys living cells, is fully absorbed by oxygen and ozone in the atmosphere. UV-B is partially absorbed by the stratospheric ozone layer and exerts positive effect on the human body by inducing synthesis of vitamin D₃ in human skin. Prolonged exposure exceeding the so-called erythemal dose causes sunburn known as erythema, which may cause subsequently skin cancer. UV-A radiation penetrates through the skin deeper, causing a short-lasting tan, but also accelerates its aging by damaging collagen and elastine, drying the skin, increasing the formation of wrinkles. When sunbathing, it is worth checking the forecast of UV index, which is an internationally accepted measure of the intensity of radiation causing erythema in the range between 297 and 400 nm, having values between 0 and 16 proportional the spectral efficiency. In Poland, it can reach in the summer a value of 10, but even at the value of 3 it is necessary to use precautions such as hats, sunscreens containing UV-B filters, protective eyewear. UV affects not only the skin, but also eyes. Prolonged exposure of the eye lens to intense radiation of 300–320 nm wavelength may cause cataract. Not only can UV-B frequently cause conjunctivitis, it may also result in damage to the cornea, the lens and even the retina.