

Bodźcowość warunków termiczno-wilgotnościowych obszaru leśnego i terenu otwartego*

The effect of humidity and temperature on human well-being in the forest and on open terrain

Ewa Dragańska**, Monika Panfil, Zbigniew Szwejkowski

**Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Gospodarki Wodnej, Klimatologii i Kształtowania Środowiska, ul. Plac Łódzki 1, 10-718 Olsztyn

Tel. +48 89 5233523, e-mail: ewad@uwm.edu.pl

Abstract. Between 01.01.2010 and 31.12.2011, we conducted measurements of air temperature and relative humidity at points located deep within forest area, along the edge of the forest in the immediate vicinity of a lake and in open terrain. The thermal and humidity conditions that have a stimulating effect on human well-being were determined for the selected locations by calculating the number of hot ($t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) and very hot days ($t_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) as well as the number of frosty ($t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) and very frosty days ($t_{\min} \leq -10^{\circ}\text{C}$). The range of the stimulatory effect on human well-being by temperature was determined based on changes in the average night temperature and the amplitude of the daily air temperature. Stimulating humidity conditions were determined by comparing the relative humidity to a reference value associated with a moist feeling and calculating the number of humid days ($s \geq 18,8$ mbar).

Keywords: thermo-humidity stimulus, forest, open terrain

*Tezy zawarte w niniejszym artykule zostały zaprezentowane na II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt. „Klimatyczne uwarunkowania życia lasu”, zorganizowanej przez SGGW – Wydział Leśny, w Rogowie w dniach 16–17 czerwca 2015 r.

1. Wstęp

W pozaprodukcyjnej funkcji lasu coraz większego znaczenia nabiera wykorzystanie obszarów leśnych w turystyce i rekreacji (Paschalis-Jakubowicz 2009). Siedliska leśne stały się bardzo popularnym i atrakcyjnym miejscem zaspokajania potrzeb wypoczynkowych ludności (Kikulski 2009; Referowska-Chodak 2015), co w dużym stopniu związane jest z właściwościami terapeutycznymi i rekreacyjnymi szaty roślinnej (Krzymowska-Kostrowicka 1997). Rosnące zapotrzebowanie społeczne na turystyczno-rekreacyjne wykorzystanie lasu powoduje nie tylko obciążenie ekosystemów leśnych, często prowadząc do ich degradacji, lecz również konflikt z funkcjami produkcyjnymi i ekologicznymi lasu, stanowiąc wyzwanie dla gospodarki Lasów Państwowych (Tracz, Mazur 2003; Paschalis-Jakubowicz 2009; Kikulski 2011; Referowska-Chodak 2010, 2015.).

Zespół czynników geograficznych i meteorologicznych ma wpływ na tworzenie się swoistych cech bioklimatu (Kozłowska-Szczęsna et al. 1997; Krzymowska-Kostrowicka 1997),

stanowiących o atrakcyjności turystycznej i rekreacyjnej regionu (Błażejczyk 2004; Matzarakis 2006). Bodźce bioklimatyczne oddziałują na organizm człowieka, wywołując określone reakcje, a ich natężenie zmienia się w czasie i przestrzeni. Temperatura i wilgotność powietrza, należące do bodźców termiczno-wilgotnościowych, mają największy wpływ na odczuwanie warunków termicznych. Środowisko leśne tworzy warunki klimatyczne różniące się od warunków terenu otwartego (Drużkowski 1987; Santorski 2004; Wilczyński, Durło 2003, 2005; Oźga 2011). Określenie bodźcowości warunków termiczno-wilgotnościowych lasu stanowi element oceny jego potencjału bioklimatycznego.

Hipoteza badawcza zakłada, że siedlisko leśne modyfikując warunki klimatu, w porównaniu z panującymi w terenie otwartym, zmienia też jego bioklimat.

Celem pracy było porównanie bodźcowości warunków termicznych oraz wilgotnościowych obszaru leśnego, terenu otwartego oraz obszaru zlokalizowanego na skraju lasu w sąsiedztwie jeziora.

2. Metodyka badań

W celu określenia bodźcowości warunków termiczno-wilgotnościowych przeprowadzono eksperyment terenowy obejmujący las (L), przestrzeń otwartą (OT) oraz punkt znajdujący się na granicy lasu (GL), bezpośrednio nad zbiornikiem wodnym (ryc. 1a). Wybrane powierzchnie badawcze położone są w północno-wschodniej Polsce (tab. 1), 25 km na południowy wschód od Olsztyna (ryc. 1b) i znajdują się w Nadleśnictwie Olsztyn, leśnictwo Nowa Wieś oraz w Nadleśnictwie Jedwabno, leśnictwo Łowne Jezioro w Bałdzkim Piecu. Obszar badawczy zdominowany jest przez kontynentalne śródlądowe bory sosnowe w kompleksie boru świeżego *Peucedano-Pinetum* i boru wilgotnego *Molinio-Pinetum* oraz kontynentalnego mieszanego *Pino-Quercetum* (Matuszkiewicz 2008a). Uwzględniając geobotaniczny podział Polski, obszar badań znajduje się w regionie oznaczonym jako F.1a.2a i F.1a.2b, co oznacza przynależność do Działu Północnego Mazursko-Białoruskiego (F), Krainy Mazurskiej (1), Podkrajiny Zachodniomazurskiej (a), Okręgu Puszczy Napiwodzkiej (2), podokręgu Maruzko-Kościańskiego (a) i Stawigudzko-Butryńskiego (b) (Matuszkiewicz 2008b).

Powierzchnie badawcze L i GL zostały zlokalizowane w drzewostanie sosnowym jednogeneracyjnym, bez podrostu, miejscami z podszytem z brzozy, kruszyny i jałowca, z runem złożonym głównie z krzewinek borówki czarnej, o wysokości 30 cm oraz zwarciu 10. Punkt pomiarowy L usytuowano w obrębie Rezerwatu Jeziora Košno, do którego należy naturalny zbiornik wodny o cechach eutroficznym, o powierzchni 551,9 ha i maksymalnej głębokości 44,6 m (średnio około 13 m) oraz wąski pas lasu wokół jeziora (Jańczak 2006). Punkt pomiarowy na terenie otwartym (OT) zlokalizowano w odległości 800 m od obszaru leśnego na powierzchni trwałego użytku zielonego.

W wyznaczonych punktach (L, GL, OT) w okresie od 01.01.2010 r. do 31.12.2011 r. dokonano pomiarów temperatury powietrza oraz wilgotności względnej powietrza, w kolejnych dniach o godz. 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 i 21:00 (co 3 godziny). Do pomiarów wykorzystano czujniki iButton® (Hygrochron Temperature and Humidity Logger iButton®with 8KB Data-Log Memory) firmy Maxim Dallas (ryc. 2).

Czujniki umieszczone w osłonach radiacyjnych Onset umocowano na drzewach (punkty pomiarowe L i GL) oraz na słupie (punkt pomiarowy OT) od strony północnej na



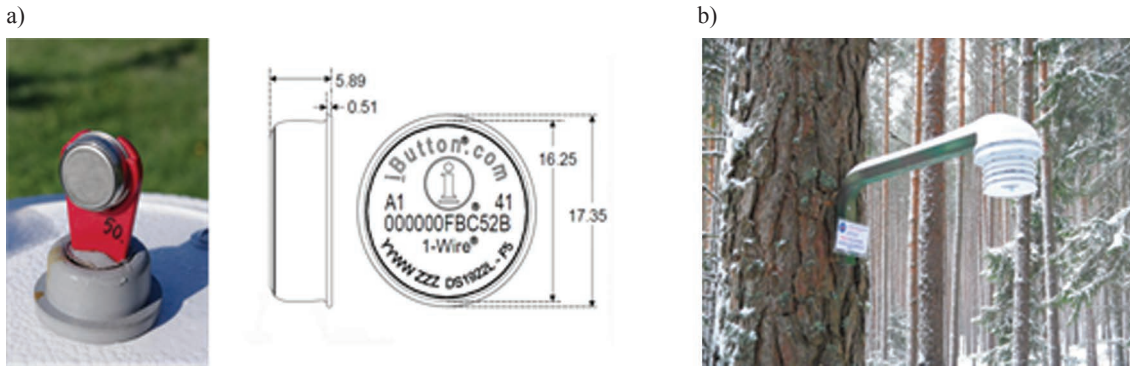
Rycina 1. Lokalizacja punktów pomiarowych (a) na obszarze badań (b); L – las, GL – granica lasu, OT – przestrzeń otwarta

Figure 1. Location of measurement points (a) and area of investigation (b); L – forest, GL – eadge of forest, OT – open terrain

Tabela 1. Położenie geograficzne punktów pomiarowych
Table 1. Geographical coordinates of measurement points

Lokalizacja Location	Szerokość geograficzna Latitude ϕ [°]	Długość geograficzna Longitude λ [°]	Wysokość n.p.m. Height asl [m]	Odległość od jeziora Košno Distance from the Kosno lake [m]
L	53,6066	20,6585	138	1541
GL	53,6354	20,6755	124	9
OT	53,5997	20,6032	148	3996

L – las, GL – granica lasu, OT – przestrzeń otwarta
L – forest, GL – eadge of forest, OT – open terrain



Rycina 2. Czujnik Maxim Dallas i jego wymiary (w mm) umieszczony w uchwycie (a) oraz przykład umocowania czujników w terenie badań (b)

Figure 2. The Maxim Dallas sensor and it's dimensions (in mm) of the handle (a) and an example of fixing the sensor in the study area (b)

standardowej wysokości 2 m n.p.g. Wybór czujników podyktowany był ich niewielkim rozmiarem oraz samowystarczalnością energetyczną, co przy tak długim okresie pomiarów i położeniu czujników w głębi lasu było niezmiernie istotne.

Dane pomiarowe wykorzystano do charakterystyki bodźcowości warunków termiczno-wilgotnościowych w układzie sezonowym, tzn. w okresie wiosny (III–V), lata (VI–VIII), jesieni (IX–XI) oraz zimy (XII–II). Określono frekwencję dni, w których temperatura maksymalna i minimalna przekraczała określone progi liczbowe, wyznaczając tak zwaną liczbę dni charakterystycznych (Błażejczyk, Kunert 2011):

- liczbę dni gorących z temperaturą maksymalną $\geq 25^{\circ}\text{C}$,
- liczbę dni upalnych z temperaturą maksymalną $\geq 30^{\circ}\text{C}$,
- liczbę dni bardzo mroźnych z temperaturą minimalną $\leq -10^{\circ}\text{C}$,
- liczbę dni mroźnych z temperaturą maksymalną $< 0^{\circ}\text{C}$.

Bodźcowość warunków termicznych scharakteryzowano na podstawie zmian średniej temperatury powietrza z dnia na dzień (Δt) oraz wartości dobowej amplitudy temperatury powietrza (dt), odnosząc je odpowiednio do poniższych kryteriów (tab. 2) (Błażejczyk 2004).

Bodźcowość warunków wilgotnościowych określono na podstawie wartości wilgotności względnej o godzinie 12 UTC, odnosząc ją do skali odczucia wilgotności (tab. 3) Wyznaczono także liczbę dni parnych, uznając za dzień parny taki, w którym aktualna prężność pary wodnej o godzinie 12 UTC osiągnęła wartość co najmniej 18,8 hPa (Kozłowska-Szczęśna et al. 1997). Wartości aktualnej prężności pary wodnej wyznaczono na podstawie wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza o godzinie 12 UTC, wykorzystując zależności między tymi parametrami (Kędziora 1995).

3. Wyniki i dyskusja

Średnia wartość temperatury powietrza, we wszystkich miesiącach, jak i w skali roku, na stanowisku pomiarowym w lesie (L) była niższa niż zanotowana na brzegu lasu czy w otwartym terenie. Porównując las i teren otwarty, różnice te sięgały od $0,1^{\circ}\text{C}$ w grudniu do $1,0^{\circ}\text{C}$ w czerwcu, w przy-

padku średniej rocznej temperatury powietrza różnica ta wyniosła $0,6^{\circ}\text{C}$ i wyniki te były zbliżone z uzyskanymi przez Drużkowskiego (1987). Nieco mniejsze różnice wartości temperatury powietrza wystąpiły między punktem w lesie (L) i na granicy lasu (GL), kształtowały się one w zakresie od $0,2^{\circ}\text{C}$ w lutym i marcu do $0,9^{\circ}\text{C}$ w październiku. Średnia roczna temperatura powietrza była o $0,5^{\circ}\text{C}$ niższa w lesie niż na jego brzegu. Najmniejsze różnice w wartości temperatury odnotowano między punktem zlokalizowanym w pobliżu jeziora a otwartym terenem. Na zróżnicowanie warunków meteorologicznych między lasem a przestrzenią otwartą wskazał Santorski (2003). Porównując wartości temperatury powietrza z lat 1991–1995 mierzone na terenie Leśnych Stacji Meteorologicznych i na odpowiadających im położeniem posterunkach meteorologicznych IMGW, reprezentujących te same krainy przyrodniczo-leśne, okazało się, że zimą (od

Tabela 2. Skala natężenia bodźców termicznych wg Bajbakovej
Table 2. The scale of thermal incentives according to Bajbakova

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Bodźce termiczne/ Thermal incentives
$\leq 2,0$	obojętne / neutral
2,1–4,0	odczuwalne / felt
4,1–6,0	znaczne / significant
$\geq 6,1$	ostre / sharp
dt	bodźce termiczne / thermal incentives
$< 4,0$	obojętne / neutral
4,0–7,9	słabo odczuwalne / weakly felt
8,0–11,9	silnie odczuwalne / strongly felt
$\geq 12,0$	ostre / sharp

Źródło / Source: Błażejczyk 2004

Δt – zmiany średniej temperatury powietrza z dnia na dzień, dt – wartości dobowej amplitudy temperatury powietrza

Δt – changes of mean air temperature from day to day, (dt) – the daily amplitude of air temperature.

Tabela 3. Skala odczucia wilgotności wg Bokša, Boguckij

Table 3. The scale of humidity incentives according to Bokša, Boguckij

Wilgotność względna powietrza f [%] Relative air humidity f [%]	Odczucie wilgotności / Humidity incentives
≤ 55,0	powietrze suche / dry air
56,0–70,0	powietrze umiarkowanie suche / moderate dry air
71,0–85,0	powietrze wilgotne / humid air
> 85,0	powietrze bardzo wilgotne / very humid air

Źródło / Source: Błażejczyk, Kunert 2011

stycznia do marca) i jesienią (październik i listopad) średnie wartości temperatury powietrza były wyższe na obszarze stacji leśnych niż stacji IMGW.

Wilgotność względna powietrza osiągała najniższe wartości na terenie otwartym, natomiast w pozostałych punktach pomiarowych jej wartości były zbliżone do siebie (tab. 4). Największe różnice w wilgotności względnej powietrza między

terenem bezleśnym a lasem występowały w okresie letnim, co potwierdzają wyniki uzyskane przez Drużkowskiego (1987).

Istotnym wskaźnikiem bodźcowości warunków termicznych jest liczba dni o charakterystycznych wartościach temperatury (ryc. 3). Najmniejszą liczbę dni gorących i upalnych w okresie letnim oraz mroźnych i bardzo mroźnych w okresie zimowym odnotowano na brzegu lasu, co spowodowane było zapewne bezpośrednim sąsiedztwem zbiornika wodnego i jego łagodzącym wpływem na ekstrema termiczne. Liczba dni charakterystycznych w lesie oraz w otwartym terenie była na porównywalnym poziomie.

Ocena stopnia bodźcowości warunków termicznych na podstawie międzydobowych zmian wielkości średniej dobowej temperatury powietrza (ryc. 4) pokazała, że przeciętnie 60% wszystkich dni w roku stanowiły sytuacje „obojętne”, czyli w najmniejszym stopniu obciążające funkcjonowanie organizmu człowieka. Najczęściej notowano je w okresie letnim od 63% (w terenie otwartym) do 70% (w lesie). Wiosną i jesienią udział bodźców obojętnych we wszystkich analizowanych lokalizacjach były popobne (przeciętnie 62% wiosną i 65% jesienią), natomiast zimą ich udział był najniższy i wynosił średnio 54%. Zmiany temperatury z dnia na dzień określane jako „odczuwalne” wykazywały stosunkowo niewielkie zróżnicowanie w przebiegu sezonowym i utrzymywały się na porównywalnym poziomie we wszystkich punktach pomiarowych, stanowiąc średnio 28% w roku.

Tabela 4. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza (°C) i wilgotności względnej (%) w punktach pomiarowych w latach 2010–2011

Table 4. The average monthly air temperature (°C) and relative humidity (%) at measuring points in 2010–2011

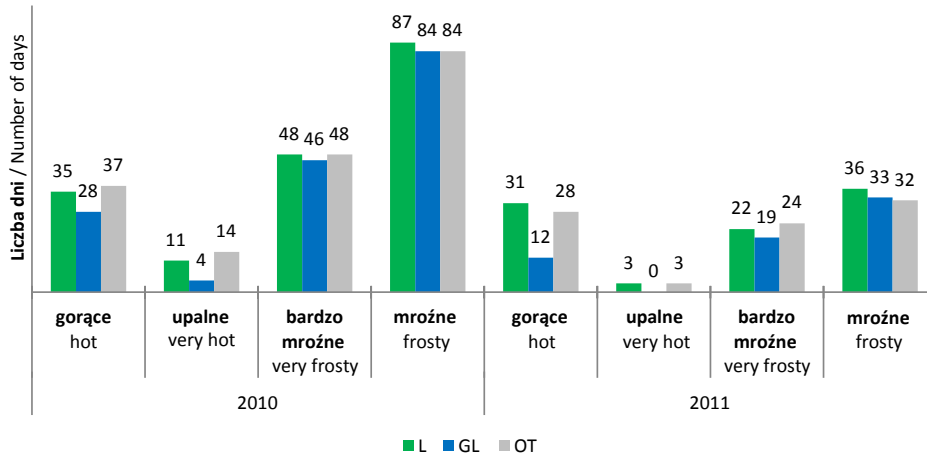
Miesiące Month	Temperatura powietrza Temperature of air			Wilgotność względna powietrza Relative air humidity		
	L	GL	OT	L	GL	OT
I	-5,9	-5,6	-5,7	97	96	92
II	-5,0	-4,8	-4,7	93	92	87
III	1,2	1,4	1,7	83	82	79
IV	7,8	8,3	8,5	74	72	69
V	12,0	12,3	12,7	80	79	74
VI	15,9	16,5	16,9	76	75	71
VII	18,5	19,0	19,3	82	81	74
VIII	17,3	18,0	18,0	83	81	73
IX	12,2	12,9	12,7	87	86	79
X	5,7	6,6	6,2	89	87	83
XI	2,9	3,4	3,3	97	97	86
XII	-2,6	-2,3	-2,5	94	97	92
Średnia roczna Annual average	7,5	8,0	8,1	86	85	79

L, GL, OT – jak w tabeli 1

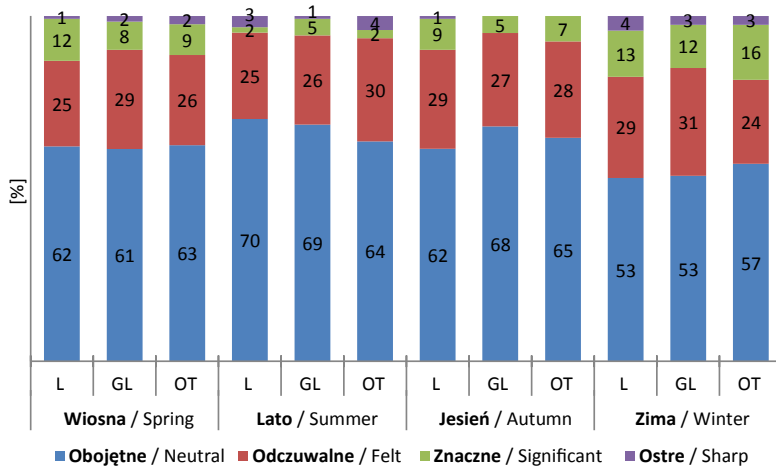
L, GL, OT – as in Table 1

Zmiany średniej temperatury dobowej z dnia na dzień, mogące negatywnie bądź rozdrażniająco wpływać na samopoczucie człowieka określane odpowiednio jako bodźce „znaczne” i „ostre”, najczęściej notowano w okresie zimowym. Jesienią w terenie otwartym i na granicy lasu nie odnotowano bodźców ostrych, tylko sporadycznie wystąpiły one w lesie.

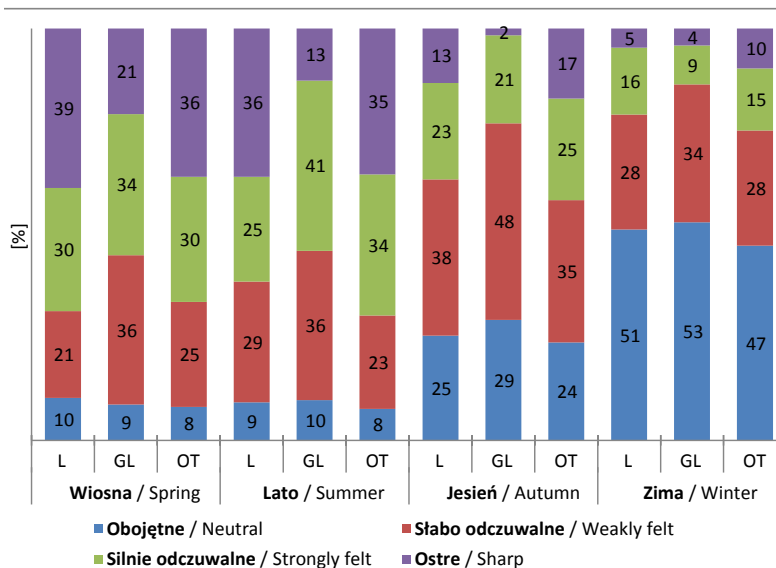
Bodźce termiczne wyznaczone na podstawie wartości dobowej amplitudy temperatury wykazywały dużą zmienność sezonową (ryc. 5). Bodźce „obojętne” najczęściej notowano w okresie zimowym, od 47% w terenie otwartym do 53% na granicy lasu. Jesienią ich udział wynosił w granicach 24–29%, natomiast wiosną i latem pojawiały się najrzadziej, tj.



Rycina 3. Liczba dni charakterystycznych w latach 2010–2011; L, GL, OT – jak na rycinie 1
Figure 3. The number of specific days in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1



Rycina 4. Częstość [%] występowania bodźców termicznych wyznaczonych na podstawie międzydobowych zmian średniej dobowej temperatury powietrza, lata 2010–2011; L, GL, OT – jak na rycinie 1
Figure 4. Occurrence frequency [%] of thermal incentives calculated based on day to day changes of the average daily air temperature in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1



Rycina 5. Częstość [%] występowania bodźców termicznych wyznaczonych na podstawie wartości amplitudy temperatury powietrza, lata 2010–2011; L, GL, OT – jak na rycinie 1
Figure 5. Occurrence frequency [%] of thermal incentives calculated based on differences of daily maximal and minimal air temperature in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1.

na poziomie 8–10%. Bodźce termiczne „słabo odczuwalne” najczęściej notowano jesienią, natomiast w pozostałych porach roku charakteryzowały się zblizoną częstością występowania. Ze względu na częstość występowania bodźców „silnie odczuwalnych” i „ostrych” okres wiosny i lata można wskazać jako najmniej korzystny. Pod tym względem stosunkowo korzystnie można ocenić okres zimowy, kiedy „ostre” zmiany dobowej amplitudy powietrza pojawiały się najrzadziej i stanowiły od 4 do 10% sytuacji.

Sezonowa analiza częstości występowania klas bodźco-wości termicznej w badanych lokalizacjach pozwala stwierdzić, że udział poszczególnych bodźców w lesie i na terenie otwartym był na zblizonym poziomie. Na granicy lasu w sąsiedztwie jeziora o każdej porze roku notowane były, ze znacznie mniejszą częstotliwością niż w dwu pozostałych punktach pomiarowych, sytuacje określane jako „ostre”. Obszar ten wyróżniał się też zdecydowanie większym udziałem bodźców „obojętnych” i „słabo odczuwalnych”.

Częstość występowania określonych odczuć wilgotności w lesie i na jego skraju była na bardzo zblizonym poziomie we wszystkich sezonach. W tych lokalizacjach wiosną i latem odczucie powietrza „suchego” i „umiarkowanie suchego” stanowiło 60% odnotowanych odczuć wilgotności. Jesienią powietrze „bardzo wilgotne” występowało z częstością 59%, zaś w zimie takie odczucie wilgotności zdecydowanie dominowało, stanowiąc 85% dni na obszarze lasu i 79% dni

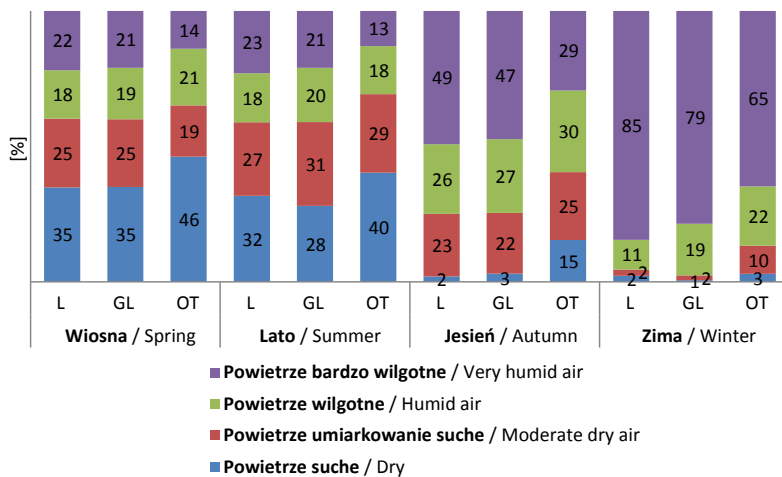
na jego skraju. Jesienią i zimą odczucie powietrza „suchego” obserwowano sporadycznie. W terenie otwartym częściej notowano powietrze suche, natomiast mniejszy udział stanowiło powietrze wilgotne (ryc. 6).

Dni parne notowano w okresie VI–VIII i zdecydowanie większa ich liczba wystąpiła w roku 2010 (ryc. 7). Największą liczbę dni parnych stwierdzono na stanowisku pomiarowym zlokalizowanym na granicy lasu, w sąsiedztwie jeziora, co związane było z większą aktualną prężnością pary wodnej wokół zbiornika wodnego.

4. Wnioski

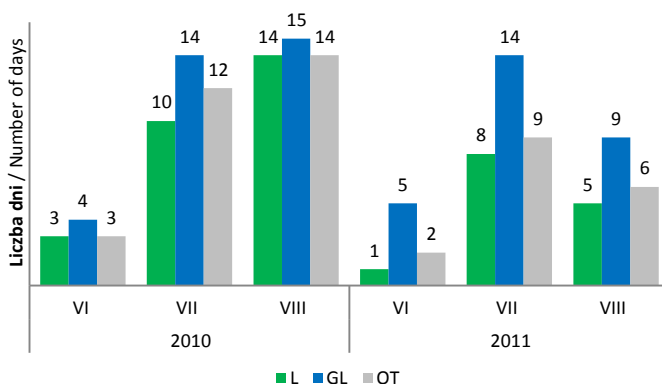
Środowisko leśne modyfikuje warunki termiczno-wilgotnościowe lokalnego klimatu. W pracy określono, jakie są relacje bioklimatyczne pomiędzy obszarem leśnym a terenem otwartym z punktu widzenia funkcji rekreacyjnej lasu. Przeprowadzone badania na obszarach leśnych i terenach otwartych w latach 2010–2011, w nadleśnictwach Olsztyn i Jedwabno, pozwoliły sformułować następujące wnioski:

1. Średnia miesięczna temperatura powietrza we wszystkich miesiącach roku była niższa w lesie niż na terenie otwartym. Średnia roczna wartość temperatury powietrza w lesie wyniosła 7,5°C i była o 0,6°C niższa niż na terenie otwartym. Średnie miesięczne i średnia roczna wartość



Rycina 6. Częstość [%] występowania odczuć wilgotności wyznaczonych na podstawie wartości wilgotności względnej powietrza, lata 2010–2011; L, GL, OT – jak na rycinie 1

Figure 6. Occurrence frequency [%] of humidity incentives calculated based on relative humidity of air in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1



Rycina 7. Liczba dni parnych w latach 2010–2011; L, GL, OT – jak na rycinie 1

Figure 7. The number of sultry days in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1

wilgotności względnej powietrza były wyższe w lesie niż w pozostałych lokalizacjach.

2. Najmniejszą liczbę dni mroźnych, bardzo mroźnych, gojących i upalnych odnotowano na brzegu lasu w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika wodnego, natomiast największa ich liczba wystąpiła na terenie otwartym. Dni parne notowano najczęściej w sąsiedztwie jeziora a rzadziej w lesie.

3. Ocena bodźcowości warunków termicznych wyznaczonych na podstawie międzydobowych zmian średniej dobowej temperatury powietrza (Δt) oraz wartości amplitudy powietrza (dt) wykazała duże zróżnicowanie częstości występowania bodźców w układzie sezonowym, zarówno na terenach otwartych, jak i obszarach leśnych. Bodźcowość termiczna lasu, jego skraju i terenu otwartego wykazała niewielkie zróżnicowanie.

4. Odczucie wilgotności wyznaczone na podstawie wartości wilgotności względnej powietrza było bardzo zróżnicowane w poszczególnych porach roku. Wiosną i latem dominowało powietrze „suche” i „umiarkowanie suche”, które zimą notowano sporadycznie. Powietrze suche przeważało wiosną na terenach otwartych (46%) w porównaniu z obszarem leśnym (35%), a w okresie lata relacja ta kształtowała się na poziomie 32% do 40%. W zimie dominowało powietrze „bardzo wilgotne”, stanowiąc 85% czasu w lesie i tylko 65% w terenie otwartym.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania

Badania terenowe zostały sfinansowane z funduszy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (projekt badawczy nr N N306 295336).

Literatura

- Błażejczyk K. 2004. Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. Prace Geograficzne 192. IGiPZ PAN, Warszawa, 291 s. ISBN 83-87954-31-4.
- Błażejczyk K., Kuchcik A., 2011. Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. Monografie 13. IGiPZ PAN, Warszawa, 368 s. ISBN 978-83-61590-47-7.
- Drużkowski M. 1987. Stosunki termiczno-wilgotnościowe powietrza wnętrza lasu i otwartej przestrzeni na Pogórzu Karpackim. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Botaniczne* 14: 107–132.
- Kędzióra A. 1995. Podstawy agrometeorologii. PWRiL, Poznań. ISBN 83-09-01641-7.

- Kikulski J. 2009. Turystyczno-rekreacyjne funkcje lasów w Polsce – obraz społecznych potrzeb w zakresie przepływu informacji. *Sylwan* 1: 62–72.
- Kikulski J. 2011. Prowadzenie gospodarki leśnej a rekreacyjne użytkowanie lasu. *Sylwan* 155(4): 269–278.
- Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B. 1997. Bioklimatologia człowieka. Monografie 1. IGiPZ PAN, Warszawa, 200 s. ISBN 83-906310-1-6.
- Krzymowska-Kostrowicka A. 1977. Geoekologia turystyki i wypoczynku. PWN, Warszawa. ISBN 83-01-12373-7.
- Matzarakis A. 2006. Weather and climate related information for tourism. *Tourism and Hospitality Planning and Development* 3(2): 99–115. DOI:10.1080/14790530600938279.
- Matuszkiewicz J.M. 2008a. Potencjalna roślinność naturalna Polski. IGiPZ PAN, Warszawa. www.igipz.pan.pl/Roslinnosc-potencjalna-zgik.html [8.11.2015].
- Matuszkiewicz J.M. 2008b. Regionalizacja geobotaniczna Polski. IGiPZ PAN, Warszawa. www.igipz.pan.pl/Regiony-geobotaniczne-zgik.html [8.11.2015].
- Jańczak J. (red.) 1996. Atlas jezior Polski. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań. ISBN 83-86001-29-1.
- Ożga W. 2011. Klimat w strefie brzegowej jeziora jako element oceny środowiska wypoczynku człowieka (na przykładzie Nadleśnictwa Przymuszewo). *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej Rogów* 3(28): 146–152.
- Paschalis-Jakubowicz P. 2009. Leśnictwo a leśna turystyka i rekreacja. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej Rogów* 4(23): 29–34.
- Referowska-Chodak E. 2010. Turystyka i rekreacja w lasach na obszarach Natura 2000 – aspekty przyrodnicze. *Sylwan* 154(12): 828–836.
- Referowska-Chodak E., 2015. Plany rozwoju infrastruktury i działalności turystycznej w parkach krajobrazowych na terenie administrowanym przez Lasy Państwowe. *Leśne Prace Badawcze* 76(4): 377–387. DOI: 10.1515/ftp-2015-0037.
- Santorski Z. 2004. Porównanie warunków meteorologicznych wybranych Leśnych Stacji Meteorologicznych i stacji IMGW. *Sylwan* 148(2): 26–35.
- Tracz H., Mazur S., 2003. Zagospodarowanie turystyczno-rekreacyjne a ochrona lasu. *Sylwan* 8: 93–96.
- Wilczyński S., Durło G. 2003. Temperatura w profilu pionowym drzewostanu. *Sylwan* 8: 19–28.
- Wilczyński S., Durło G. 2005. Zmienność wybranych parametrów wilgotności powietrza w drągowinie świerkowej i modrzewiowej na przykładzie krótkoterminowych serii pomiarowych. *Sylwan* 5: 52–61.

Wkład autorów

E.D. – koncepcja i przygotowanie opracowania, interpretacja wyników; M.P. – koncepcja i wykonanie badań terenowych; Z.Sz. – przegląd literatury, opracowanie graficzne wyników.

The effect of humidity and temperature on human well-being in the forest and on open terrain

Ewa Dragańska** , Monika Panfil , Zbigniew Szwejkowski 

**University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Faculty of Environmental Management and Agriculture, Department of Water Management, Climatology and Environmental Management, Plac Łódzki 1, 10–718 Olsztyn, Poland

Tel. +48 89 5233523, e-mail: ewad@uwm.edu.pl

Abstract. Between 01.01.2010 and 31.12.2011, we conducted measurements of air temperature and relative humidity at points located deep within forest area, along the edge of the forest in the immediate vicinity of a lake and in open terrain. The thermal and humidity conditions that have a stimulating effect on human well-being were determined for the selected locations by calculating the number of hot ($t_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) and very hot days ($t_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) as well as the number of frosty ($t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) and very frosty days ($t_{\min} \leq -10^{\circ}\text{C}$). The range of the stimulatory effect on human well-being by temperature was determined based on changes in the average night temperature and the amplitude of the daily air temperature. Stimulating humidity conditions were determined by comparing the relative humidity to a reference value associated with a moist feeling and calculating the number of humid days ($s \geq 18.8$ mbar).

Keywords: thermo-humidity stimulus, forest, open terrain

* The information included into this article has been presented at the II Polish Scientific Conference ‘Climatic conditions of forest life’ organised by the Forestry Department of the Warsaw University of Life Sciences in Rogów on 16–17 June 2015.

1. Introduction

Recreational and touristic use of forest areas gain more and more significance amongst the non-productive forest functions (Paschalis-Jakubowicz 2009). Forest sites became very popular and attractive places for satisfying the needs for rest of humans (Kikulski 2009; Referowska-Chodak 2015), which is largely linked to therapeutic and recreational characteristics of vegetative cover (Krzymowska-Kostrowicka 1997). A growing social need for touristic and recreational forest use results not only in larger pressure on forest ecosystems, which often leads to their degradation, but also in conflict with productive and environmental forest functions, which presents a certain challenge for the management practices of the State Forests (Tracz, Mazur 2003; Paschalis-Jakubowicz 2009; Kikulski 2011; Referowska-Chodak 2010, 2015).

A group of geographic and meteorological factors have an influence on the development of proper characteristics of bioclimate (Kozłowska-Szczęśna et al. 1997; Krzymow-

ska-Kostrowicka 1997), which affects touristic and recreational attractiveness of a region (Błażejczyk 2004; Matzarakis 2006). Bioclimatic stimulators affect human body by triggering certain responses whilst their intensity changes through time and space. Air temperature and humidity, which belong to the group of thermal and humidity incentives, have a largest influence on human ability to feel the thermal conditions. Forest environment creates climatic conditions that differs from the conditions of open area (Drużkowski 1987; Santorski 2004; Wilczyński, Durło 2003, 2005; Ożga 2011). Defining the stimulating effect of thermal and humidity conditions in forests is part of the evaluation of forest bioclimatic potential.

The research hypothesis states that compared to open area, forest environment also changes its bioclimate by modifying climatic conditions.

The goal of current work was to compare stimulating effects of thermal and humidity conditions of forest site, open area as well as area located along the edge of the forest in the immediate vicinity of a lake.

Submitted: 25.11.2015 r., reviewed: 2.02.2016 r., accepted after revision: 1.03.2016 r.

2. Research methods

In order to define the stimulating effect of thermal and humidity conditions, the field experiment was conducted within forest (L), open area (OT) as well as the area located along forest edge (GL) in the immediate vicinity of a lake (Fig. 1a). Selected research sites are located in the north-eastern Poland (Table 1) 25 km south east from Olsztyn (Fig. 1b) and lie within the Olsztyn Forest District, Nowa Wieś forest sub-district as well as in the Jedwabno Forest District, Łowne Jezioro forest sub-district in Białdki Piec. Continental midland pine forests including fresh pine forests *Peucedano-Pinetum* and moist pine forests *Molinio-Pinetum* as well as continental mixed forest *Pino-Quercetum* dominate the study area (Matuszkiewicz 2008a). According to the geobotanical division of Polish lands, the study area is located within the region marked as F.1a.2a and F.1a.2b, which positions it within the Northern Mazursko-Białoruski Division (F), Mazurska Province (1), Zachodniomazurska Sub-Province (a), District of Puszcza Napiwodzka (2), Sub-districts Maruzko-Kośniański (a) and Stawigudzko-Butryński (b) (Matuszkiewicz 2008b).

The research plots L and GL were set up in an even-aged pine stand without undergrowth; with patches of birch, buckthorn and juniper understory; and with ground cover consisted mainly of blackberry shrubs with the height of 30 cm and closure of 10. The measurement point L was positioned within the Košno Lake Nature Reserve, which includes the natural water reservoir with eutrophic characteristics, the area of 551.9 ha and maximum depth of 44.6 m (about 13 m, on an average) as well as a narrow strip of forest around the lake (Jańczak 2006). The measurement point in an open area was set up 800 m away from forest in the permanently green area.

Air temperature and relative air humidity were measured in the established measurement points from 01.01.2010 to 31.12.2011 during the consecutive days at 0:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 and 21:00 o'clock (for every 3 h). The measurements were done using the iButton® loggers (Hygrochron Temperature and Humidity Logger iButton® with 8KB Data-Log Memory) manufactured by Maxim Dallas (Fig. 2).

The loggers were placed within the radiation protection covers Onset and mounted on trees (L and GL measurement points) and on poles (OT measurement point) on their nor-



Figure 1. Location of measurement points (a) and area of investigation (b); L – forest, GL – eadge of forest, OT – open terrain

Table 1. Geographical coordinates of measurement points

Location	Latitude ϕ [°]	Longitude λ [°]	Height asl [m]	Distance from the Kosno lake [m]
L	53.6066	20.6585	138	1541
GL	53.6354	20.6755	124	9
OT	53.5997	20.6032	148	3996

L – forest, GL – eadge of forest, OT – open terrain

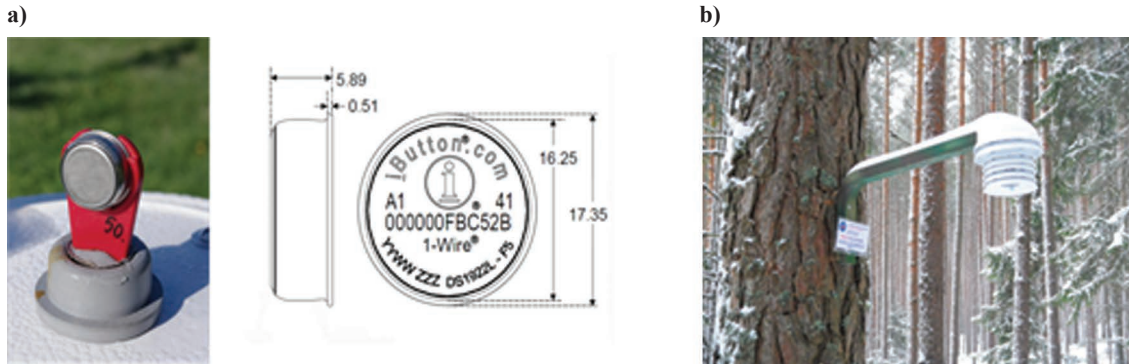


Figure 2. The Maxim Dallas sensor and its dimensions (in mm) of the handle (a) and an example of fixing the sensor in the study area (b)

them side at the standard height of 2 m above ground. Selection of loggers was dictated by their small size as well as their energy self-sufficiency, which was extremely important because of very long measurement period and location of loggers within forest interior.

The collected data were used for defining stimulating effects of thermal and humidity conditions on a seasonal bases meaning spring (March to May), summer (June to August), fall (September to November) and winter (December to February). The frequency of days when maximum and minimum temperature was outside the stated numerical boundaries was established, which presented the so-called number of specific days (Błażejczyk, Kunert 2011):

- number of hot days with maximum temperature of $\geq 25^{\circ}\text{C}$,
- number of very hot days with maximum temperature of $\geq 30^{\circ}\text{C}$,
- number of very cold days with minimum temperature of $\leq -10^{\circ}\text{C}$,
- number of cold days with maximum temperature of $< 0^{\circ}\text{C}$.

Stimulating effect of thermal factors was established based on the day-to-day changes in the mean air temperature (Δt) as well as the changes in the value of daily amplitude of air temperature (dt), comparing them to the scale of criteria presented below (Table 2) (Błażejczyk 2004).

Stimulating effect of humidity factors was defined by comparing the value of relative humidity measured at 12 o'clock UTC with the scale of humidity perception (Table 3). The number of sultry days was estimated. A sultry day was described as a day when the value of actual pressure of water vapour at 12 o'clock UTC reached minimum 18.8 hPa (Kozłowska-Szcześna et al. 1997). The value of actual water vapour pressure was stabled based on the air temperature and relative humidity at 12 o'clock UTC using the dependencies between those parameters (Kędziora 1995).

3. Results and discussion

Monthly measurements as well as annual value of the mean air temperature at the measurement point located within the forest site (L) were lower than those measured along the forest edge or in the open terrain. When comparing forest and open terrain, the differences were from 0.1°C in December to 1.0°C in June. For the mean annual temperature, the difference was 0.6°C . The results were similar to the data obtained by Drużkowski (1987). The differences between air temperature measured within the forest (L) and along the forest edge (GL) were slightly lower and reached from 0.2°C in February and March to 0.9°C in October. The mean air temperature in the forest was 0.5°C lower than that along its edge. The differences in temperature values obtained at the measurement points located in the immediate vicinity of the lake and open terrain were the lowest. Distinct meteorological conditions

Table 2. The scale of thermal incentives according to Bajbakova

$\Delta t(^{\circ}\text{C})$	Thermal incentives
≤ 2.0	neutral
2.1–4.0	felt
4.1–6.0	significant
≥ 6.1	sharp
dt	thermal incentives
< 4.0	neutral
4.0–7.9	weakly felt
8.0–11.9	strongly felt
≥ 12.0	sharp

Source: Błażejczyk 2004

Δt is the day-to-day changes in the mean air temperature; dt is the daily amplitude of air temperature.

Table 3. The scale of humidity incentives according to Bokša, Boguckij

Relative air humidity f [%]	Humidity incentives
≤ 55.0	dry air
56.0–70.0	moderate dry air
71.0–85.0	humid air
> 85.0	very humid air

Source: Błażejczyk, Kunert 2011

within forest and in open terrain were noted by Santorski (2003). Whilst comparing air temperature in 1991–1995 measured at the Forest Meteorological Stations and coinciding by location meteorological posts of the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW), which were representing the same environmental and forest districts, it was noted that in winter (from January to March) and autumn (October and November), the mean air temperature was higher at the forest stations compare to the posts of the IMGW.

Relative air humidity was the lowest in the open terrain, whilst its values at the remaining measurement points were similar (Table 4). The largest differences in relative air humidity between open terrain and forest sites were observed in summer, which agrees with the results received by Drużkowski (1987).

The number of days with distinctive temperature values serves as an important indicator of the stimulatory effect linked to thermal conditions (Fig. 3). The lowest number of hot and very hot days during summer as well as cold and very cold days during winter was noted within the forest edge, which could probably be related to a direct proximity of water reservoir and its mitigating effect on thermal extremes. The number of distinctive days within forest and in the open terrain was similar.

Evaluation of the degree of stimulating effect related to thermal conditions based on the day-to-day changes in the mean daily air temperature values (Fig. 4) indicated that on an average, 60% of all the days throughout the year were ‘neutral’ or those affecting the human activity at the lowest degree. Such days were more often registered in summer from 63% (in open terrain) to 70% (within forest). In spring and autumn, the share of neutral incentives was similar in all the analysed locations (about 62% in summer and 65% in autumn), whilst during winter, their share was the lowest and equal to about 54%. The day-to-day changes in temperature described as ‘noticeable’ had a very low differentiation amongst the seasons. They remained at the comparable level at all measurement points, being about 28% annually.

The changes in average daily temperature, which could have a negative or disturbing effect on human well-being described, respectively, as significant or severe incentives were more commonly noted in winter time. In autumn, in

Table 4. The average monthly air temperature (°C) and relative humidity (%) at measuring points in 2010–2011

Month	Temperature of air			Relative air humidity		
	L	GL	OT	L	GL	OT
I	-5.9	-5.6	-5.7	97	96	92
II	-5.0	-4.8	-4.7	93	92	87
III	1.2	1.4	1.7	83	82	79
IV	7.8	8.3	8.5	74	72	69
V	12.0	12.3	12.7	80	79	74
VI	15.9	16.5	16.9	76	75	71
VII	18.5	19.0	19.3	82	81	74
VIII	17.3	18.0	18.0	83	81	73
IX	12.2	12.9	12.7	87	86	79
X	5.7	6.6	6.2	89	87	83
XI	2.9	3.4	3.3	97	97	86
XII	-2.6	-2.3	-2.5	94	97	92
Annual average	7.5	8.0	8.1	86	85	79

L, GL, OT – as in Table 1

the open terrain and within forest edge, there were no severe incentives. They occasionally occurred only within forest.

Thermal incentives established based on the daily amplitudes of temperature were showing high seasonal variability (Fig. 5). Neutral incentives were more commonly noted in

winter, from 47% in open terrain to 53% at the forest edge. In autumn, their share was within 24–29%, whilst in spring and summer, they occurred very rarely or at the level of 8–10%.

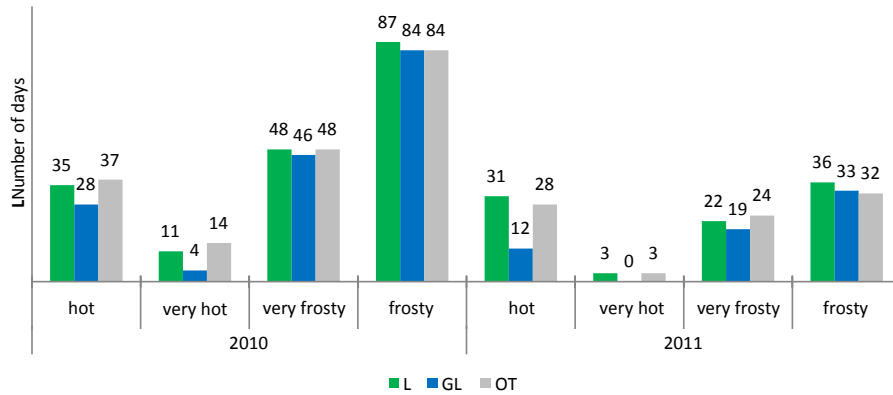


Figure 3. The number of specific days in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1

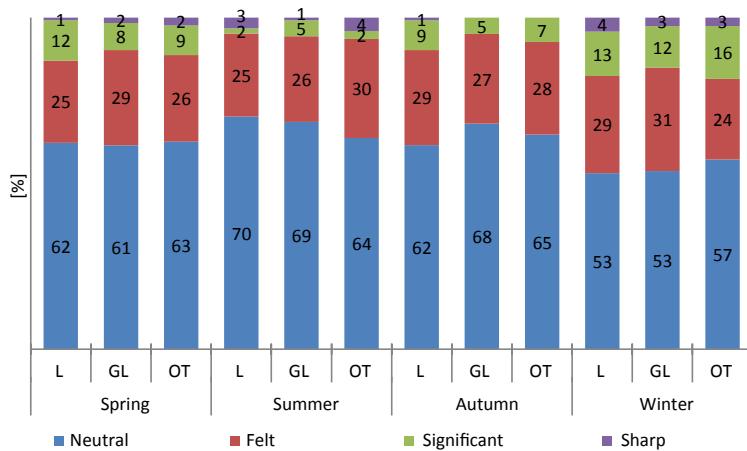


Figure 4. Occurrence frequency [%] of thermal incentives calculated based on day to day changes of the average daily air temperature in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1

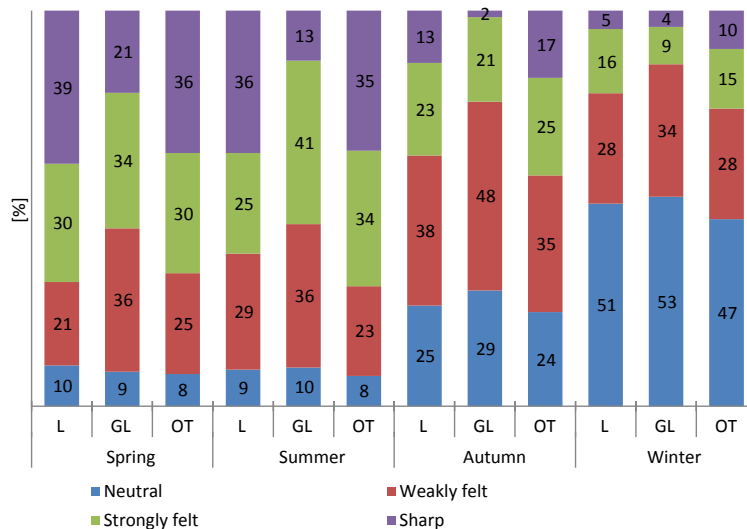


Figure 5. Occurrence frequency [%] of thermal incentives calculated based on differences of daily maximal and minimal air temperature in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1.

lar frequency of occurrence. Owing to the frequency of strongly felt and severe incentives, spring and summer could be characterised as less beneficial. In that respect, the winter could be evaluated as relatively beneficial, when severe variations in daily amplitudes of air temperature were occurring the least often and presented from 4% to 10% of situations.

Seasonal analysis of frequency of occurrence of the thermal incentives in the studied locations allowed to state that the share of specific incentives within forest and at open terrain was at the similar level. With a frequency significantly lower than that in two other measurement points, situations described as severe were noted at the forest edge with the nearby location of the lake during all the seasons. That area also had a significantly higher share of neutral and weakly felt incentives.

The frequency of occurrence of specific perception of humidity within forest and at forest edge was at the similar level during all the seasons. In those locations, in spring and summer, perception of dry and relatively dry air reached 60% of the noted humidity perceptions. In autumn, very humid air was felt with the frequency of 59%, whilst in winter, such perception of humidity was dominating, being during 85% of days within forest and 79% of days at forest

edge. In autumn and winter, perception of dry air was rarely observed. In the open terrain, dry air was noted more commonly, whilst wet air was more rare (Fig. 6).

Sultry days were noted from June to August whilst significantly higher number of such days occurred in 2010 (Fig. 7). The largest number of sultry days was observed at the measurement point located at the forest edge in the close proximity of the lake, which was linked to higher actual pressure of water vapour in the area surrounding water reservoir.

4. Conclusions

Forest environment changes thermal and humidity conditions of the local climate. The current work studied the bioclimatic relations between forest area and open terrain from the point of view of recreational forest function. The research conducted within forest areas and in the open terrain in 2010–2011 in the Olsztyn and Jedwabno Forest Districts allowed to formulate the following conclusions:

Mean monthly air temperature during all months of the year was the lowest in the forest compared to open terrain. The average annual air temperature in the forest was 7.5°C,

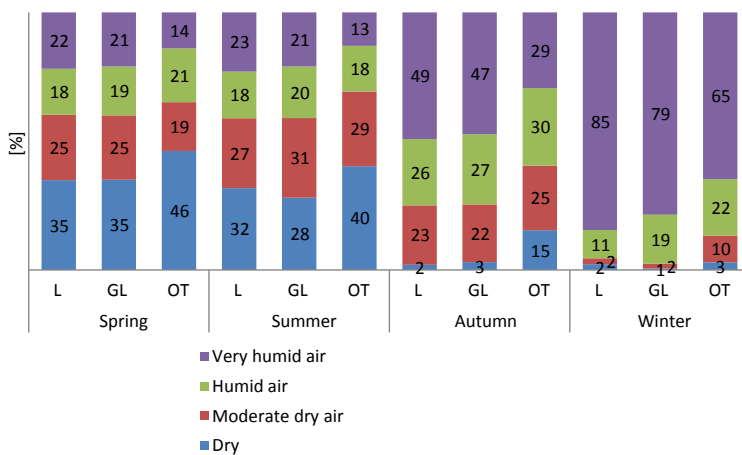


Figure 6. Occurrence frequency [%] of humidity incentives calculated based on relative humidity of air in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1

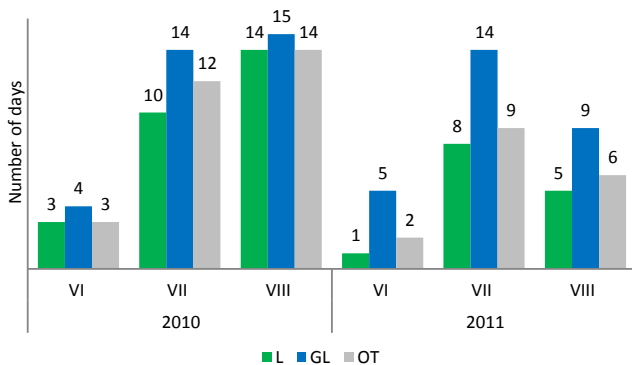


Figure 7. The number of sultry days in 2010–2011; L, GL, OT – as in Figure 1

which was 0.6°C lower than that in the open terrain. The average monthly and the average annual relative air humidity were higher in the forest than those in other locations.

The lowest number of cold, very cold, hot and sultry days were noted at the forest edge with the close proximity of water reservoir, whilst the highest number of such days was observed at the open terrain. Sultry days were more commonly noticed in the close proximity of the lake and less often in the forest.

Stimulating effect of thermal conditions evaluated based on the day-to-day changes in the mean daily air temperature (Δt) as well as the amplitude of the air temperature values (dt) was highly varied in the number of incentives throughout different seasons both at the open terrain as well as within forest areas. Thermal incentives of forest area, forest edge and open terrain showed only small differentiation.

Perception of humidity evaluated based on the relative air humidity values was highly differentiated during different seasons. In spring and summer, dry and relatively dry air was dominating, whilst in winter, it was noted only occasionally. Dry air was more common in spring in the open areas (46%) compared to forest area (35%), whilst in summer, those numbers varied at the level of 32–40%. In winter, very wet air was dominating, being 85% of the time in forest and only 65% of the time in the open terrain.

Conflict of interests

The authors declare the lack of potential conflicts.

Acknowledgements and source of funding

Field study was financed from the funds of the Ministry of Science and Higher Education (research project No. N N306295336).

References

- Błażejczyk K. 2004. Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. Prace Geograficzne 192. IGiPZ PAN, Warszawa, 291 s. ISBN 83-87954-31-4.
- Błażejczyk K., Kuchcik A., 2011. Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. Monografie 13. IGiPZ PAN, Warszawa, 368 s. ISBN 978-83-61590-47-7.
- Drużkowski M. 1987. Stosunki termiczno-wilgotnościowe powietrza wnętrza lasu i otwartej przestrzeni na Pogórzu Karpackim. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Botaniczne* 14: 107–132.
- Kędziora A. 1995. Podstawy agrometeorologii. PWRiL, Poznań. ISBN 83-09-01641-7.
- Kikulski J. 2009. Turystyczno-rekreacyjne funkcje lasów w Polsce – obraz społecznych potrzeb w zakresie przepływu informacji. *Sylwan* 1: 62–72.
- Kikulski J. 2011. Prowadzenie gospodarki leśnej a rekreacyjne użytkowanie lasu. *Sylwan* 155(4): 269–278.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B. 1997. Bioklimatologia człowieka. Monografie 1. IGiPZ PAN, Warszawa, 200 s. ISBN 83-906310-1-6.
- Krzymowska-Kostrowicka A. 1977. Geoekologia turystyki i wypoczynku. PWN, Warszawa. ISBN 83-01-12373-7.
- Matzarakis A. 2006. Weather and climate related information for tourism. *Tourism and Hospitality Planning and Development* 3(2): 99–115. DOI:10.1080/14790530600938279.
- Matuszkiewicz J.M. 2008a. Potencjalna roślinność naturalna Polski. IGiPZ PAN, Warszawa. www.igipz.pan.pl/Roslinnosc-potencjalna-zgik.html [8.11.2015].
- Matuszkiewicz J.M. 2008b. Regionalizacja geobotaniczna Polski. IGiPZ PAN, Warszawa. www.igipz.pan.pl/Regiony-geobotaniczne-zgik.html [8.11.2015].
- Jańczak J. (ed.) 1996. Atlas jezior Polski. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań. ISBN 83-86001-29-1.
- Ożga W. 2011. Klimat w strefie brzegowej jeziora jako element oceny środowiska wypoczynku człowieka (na przykładzie Nadleśnictwa Przymuszewo). *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej Rogów* 3(28): 146–152.
- Paschalis-Jakubowicz P. 2009. Leśnictwo a leśna turystyka i rekreacja. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej Rogów* 4(23): 29–34.
- Referowska-Chodak E. 2010. Turystyka i rekreacja w lasach na obszarach Natura 2000 – aspekty przyrodnicze. *Sylwan* 154(12): 828–836.
- Referowska-Chodak E., 2015. Plany rozwoju infrastruktury i działalności turystycznej w parkach krajobrazowych na terenie administrowanym przez Lasy Państwowe. *Leśne Prace Badawcze* 76(4): 377–387. DOI: 10.1515/frp-2015-0037.
- Santorski Z. 2004. Porównanie warunków meteorologicznych wybranych Leśnych Stacji Meteorologicznych i stacji IMGW. *Sylwan* 148(2): 26–35.
- Tracz H., Mazur S., 2003. Zagospodarowanie turystyczno-rekreacyjne a ochrona lasu. *Sylwan* 8: 93–96.
- Wilczyński S., Durło G. 2003. Temperatura w profilu pionowym drzewostanu. *Sylwan* 8: 19–28.
- Wilczyński S., Durło G. 2005. Zmienność wybranych parametrów wilgotności powietrza w drągowinie świerkowej i modrzewiowej na przykładzie krótkoterminowych serii pomiarowych. *Sylwan* 5: 52–61.

Author's contribution

E.D. – study conception and preparation, interpretation of the results; M.P. – study conception and field research; Z.Sz. – literary review, creating and editing graphs.