

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI, GRZEGORZ DURŁO

Temperatura w profilu pionowym drzewostanu

The temperature of forest stand vertical profile

ABSTRACT

The paper presents research results on the effect of biometrical characteristics of a stand and weather conditions on the dynamics of air and soil temperatures along a vertical profile in the 30 year-old larch and spruce poletimber stands. The both stands of the montane forest type grow in a moderately cold climatic zone at an elevation of 800 m a.s.l., slope 5°, eastern exposition.

KEY WORDS

air temperature, soil temperature, forest microclimate, vertical profile

Wstęp

Zjawiska i procesy fizyczne zachodzące w mikroskali odznaczają się dużą zmiennością w czasie i przestrzeni. Chęć poznania ich zmusza do wykorzystania metod dostosowanych do charakteru i specyfiki tychże zjawisk. Jedną z nich jest metoda krótkich serii pomiarowych [Obmiński 1955, Obrębska-Starkłowa 1967, Durło 2002].

W kompleksie elementów meteorologicznych środowiska leśnego duże znaczenie odgrywa temperatura. Wywiera ona silny wpływ na rozwój roślin oraz kształtowanie się wzajemnych relacji pomiędzy poszczególnymi komponentami biocenozy leśnej. Główną rolę w kształtowaniu klimatu termicznego lasu ma położenie oraz charakter powierzchni czynnych [Ermich i in. 1966, Olszewski 1986, Drużkowski 1987, Durło i in. 1999, 2000]. O intensywności i kierunku przepływu energii cieplnej w drzewostanie decyduje z reguły powierzchnia koron drzew, gleby wraz z runem, często też podszyt [Tomanek 1953, Bednarek 1967, Obrębska-Starkłowa 1973]. Czynnikiem modelującym procesy wymiany energii są także warunki pogodowe [Obrębska-Starkłowa 1965]. Wiedza na temat dynamiki zmian poszczególnych elementów meteorologicznych jest konieczna dla leśnika, który przez czynności hodowlane aktywnie modeluje mikroklimat wnętrza lasu.

W pracy przedstawiono zmiany temperatury powietrza oraz gruntu w profilu pionowym dwóch drzewostanów w trakcie 34-godzinnej serii pomiarowej. Celem badań było pokazanie w jaki sposób skład gatunkowy, budowa, zwarcie i gęstość koron drzew, ściółka, woda gruntowa, a także wiatr, zachmurzenie i opady atmosferyczne wpływają na stosunki termiczne w drzewostanie.

Obiekt badań

Pomiary temperatury powietrza oraz gleby wykonano w 30-letnich drągowinach: świerkowej oraz modrzewiowej, położonych na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy Zdrój.

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI

Katedra Klimatologii Leśnej
Akademia Rolnicza
Al. 29 Listopada 46
31-425 Kraków
rlwilczy@cyf-kr.edu.pl

GRZEGORZ DURŁO

Katedra Klimatologii Leśnej
Akademia Rolnicza
Al. 29 Listopada 46
31-425 Kraków
rldurlo@cyf-kr.edu.pl

Obydwa, sąsiadujące ze sobą drzewostany rosły w umiarkowanie chłodnym piętrze klimatycznym, na wysokości 800 m n.p.m., przy grzbiecie na stoku o ekspozycji wschodniej i spadku 5°, na siedlisku lasu górskiego, na glebie brunatnej wylugowanej z próchnicą typu moder o miąższości ok. 10 cm. W świerczynie nie było runa, a ściółka o grubości 5 cm składała się z surowego igliwia świerkowego. Pod modrzewiami, występowało rzadkie runo trawiaste o wysokości ok. 40 cm. Ściółka o grubości ok. 3 cm składała się z igieł modrzewiowych oraz szczątków traw. W modrzewiach, w miejscu pomiaru, gleba była oddolnie oglejona do głębokości ok. 20 cm. Drzewostan modrzewiowy miał przeciętną wysokość 18 m, zwarcie 0,8, i ugałęziony był do wysokości ok. 4 m nad gruntem, świerki natomiast miały przeciętną wysokość 15 metrów, zwarcie 1,1 i ugałęzione były do wysokości 2,5 m. W obu drzewostanach nie było podszytu (ryc. 1).

Metodyka

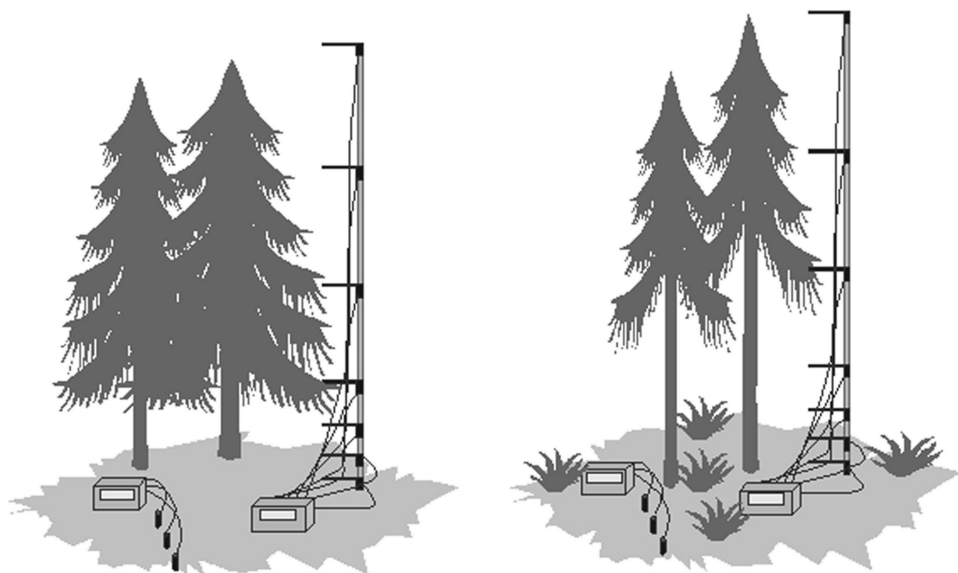
W drzewostanie modrzewiowym oraz świerkowym na masztach umieszczono czujniki termometrów termistorowych. Pomiaru temperatury powietrza wykonano nad koronami (15 m nad gruntem w świerkach i 18 m w modrzewiach), w koronach (10 m w świerkach i 12 m w modrzewiach), oraz pod koronami (2 m w świerkach i 3,5 m w modrzewiach). Na dnie lasu w warstwie przygruntowej powietrza mierzono temperaturę na wysokościach: 5, 50 oraz 150 cm nad gruntem. Temperaturę gleby mierzono na głębokości 5, 10 i 20 cm (ryc. 1).

Odczyty wykonywano co godzinę od godziny 11:00 1996-07-01 do 20:00 dnia następnego (łącznie 34 pomiary). W sąsiedztwie drzewostanów, na otwartej przestrzeni, mierzono prędkość i kierunek wiatru oraz obserwowano zachmurzenie (w skali 0-10) i opady atmosferyczne.

W trakcie pomiarów pogoda kształtowała się pod wpływem mas powietrza z kierunku południowo-zachodniego i zachodniego z typem cyrkulacji niżowej z centrum nad Skandynawią. Pierwszego dnia występowało duże zachmurzenie (8-10). Występowały chmury kłębiaste typu Cumulus i Stratocumulus. W godzinach rannych i dopołudniowych drugiego dnia zachmurzenie było małe (0-3), po południu zaś średnie do dużego (4-8). Ciągłe opady deszczu wystąpiły w pierwszym dniu między godziną 13:00 a 15:00, natomiast w drugim opady przelotne około godziny 9:00, 13:00 i 16:30. Pierwszego dnia średnia prędkość wiatru wyniosła 2 ms⁻¹, drugiego 4 ms⁻¹ w nocy zaś 2 ms⁻¹. Wiatr wiał z kierunku zachodniego oraz południowo-zachodniego.

Wyniki

W obu drzewostanach najwyższe wartości temperatury powietrza występowały w koronach drzew. Pierwszego dnia, przy pełnym zachmurzeniu, temperatura powietrza na każdej wysokości była niższa niż w trakcie dnia pogodnego (ryc. 2). W modrzewiach przez cały czas pomiarów najchłodniej było pod koronami, i tam też o godzinie 5:00 wystąpiła temperatura minimalna (7,5°C), w świerkach natomiast najchłodniej było 5 cm nad glebą, jednak minimum temperatury (7,5°C) wystąpiło nad koronami drzew (ryc. 2). Temperatura gleby wykazywała większą stabilność niż temperatura powietrza. Wartości minimalne i maksymalne opóźnione były w stosunku do odpowiednich wartości ekstremalnych w powietrzu. W dzień temperatura gleby była niższa niż temperatura powietrza. Nad ranem sytuacja częściowo odwracała się (ryc. 2). W obu drzewostanach po opadach deszczu temperatura powietrza na każdej wysokości gwałtownie obniżała się. Po pewnym czasie znowu szybko rosła. W świerkach zmiany temperatury w warstwie przygruntowej były opóźnione. Opady deszczu powodowały w modrzewiach wzrost temperatury gleby do głębokości ok. 10 cm (ryc. 2).



Ryc. 1.

Schemat posterunków pomiarowych
Scheme of measuring stations

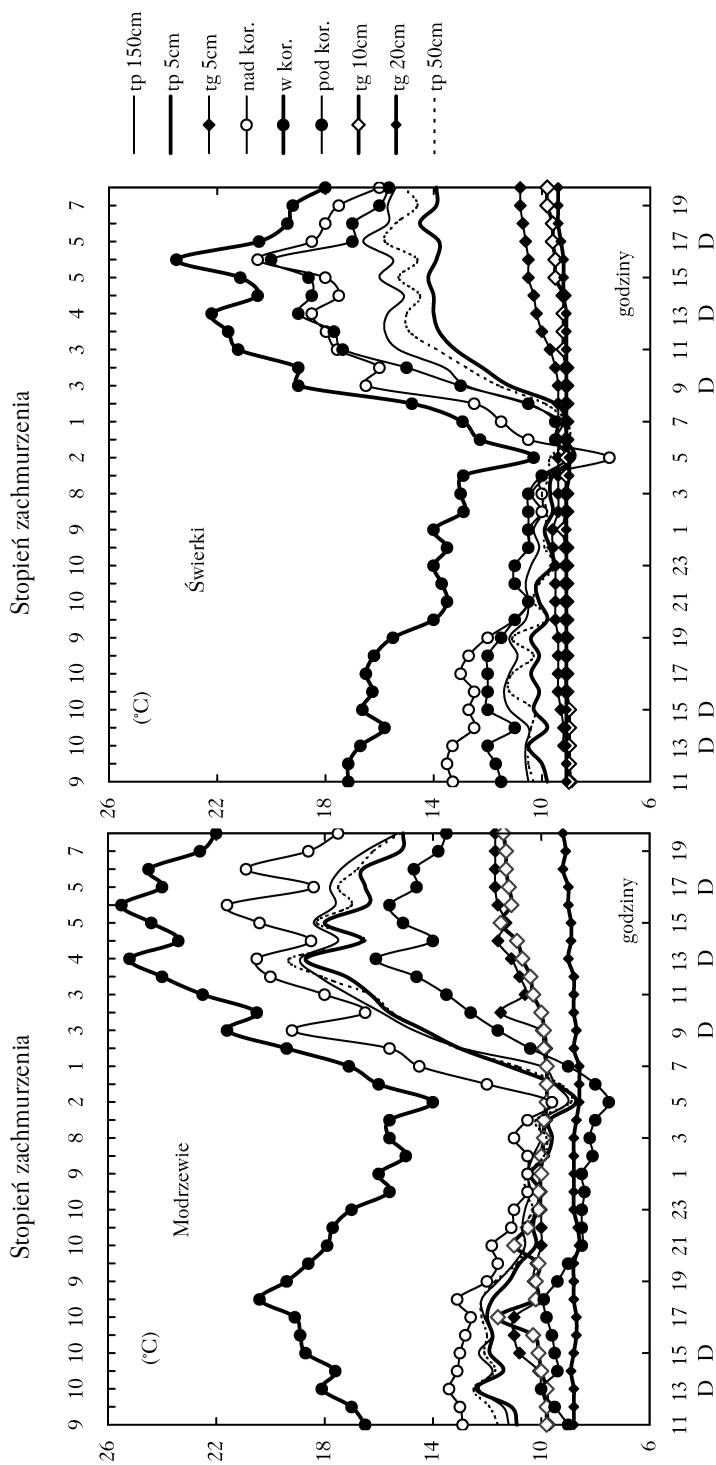
Największą średnią temperaturę miało powietrze w koronach drzew. Na każdej wysokości, z wyjątkiem warstwy tuż pod koronami, cieplej było w modrzewiach. Najniższą średnią temperaturę (10,8°C) stwierdzono w modrzewiach tuż pod koronami, w świerkach natomiast 5 cm nad gruntem (11,1°C). Największa średnia temperatura gleby na obu posterunkach była na głębokości 5 cm. Pod modrzewiami, na każdej głębokości, średnia temperatura była wyższa niż w świerkach (ryc. 3).

W koronach i nad nimi maksymalne oraz minimalne wartości temperatury powietrza były wyższe w modrzewiach. Tuż pod koronami sytuacja była odwrotna. W obu drzewostanach maksimum temperatury powietrza wystąpiło w koronach o godzinie 16:00. W warstwie przygruntowej powietrza temperatura minimalna w obu drzewostanach była podobna, natomiast maksymalna była większa w modrzewiach, szczególnie tuż nad powierzchnią traw (50 cm) (ryc. 3).

W obu drzewostanach największe amplitudy temperatury powietrza stwierdzono nad i w koronach. Przy czym większe były one w świerkach. W koronach świerków amplituda przekroczyła 13°C. W warstwie przygruntowej powietrza amplitudy były natomiast większe w modrzewiach, gdzie na wysokości 50 cm osiągnęły wartość 10,4°C (ryc. 3).

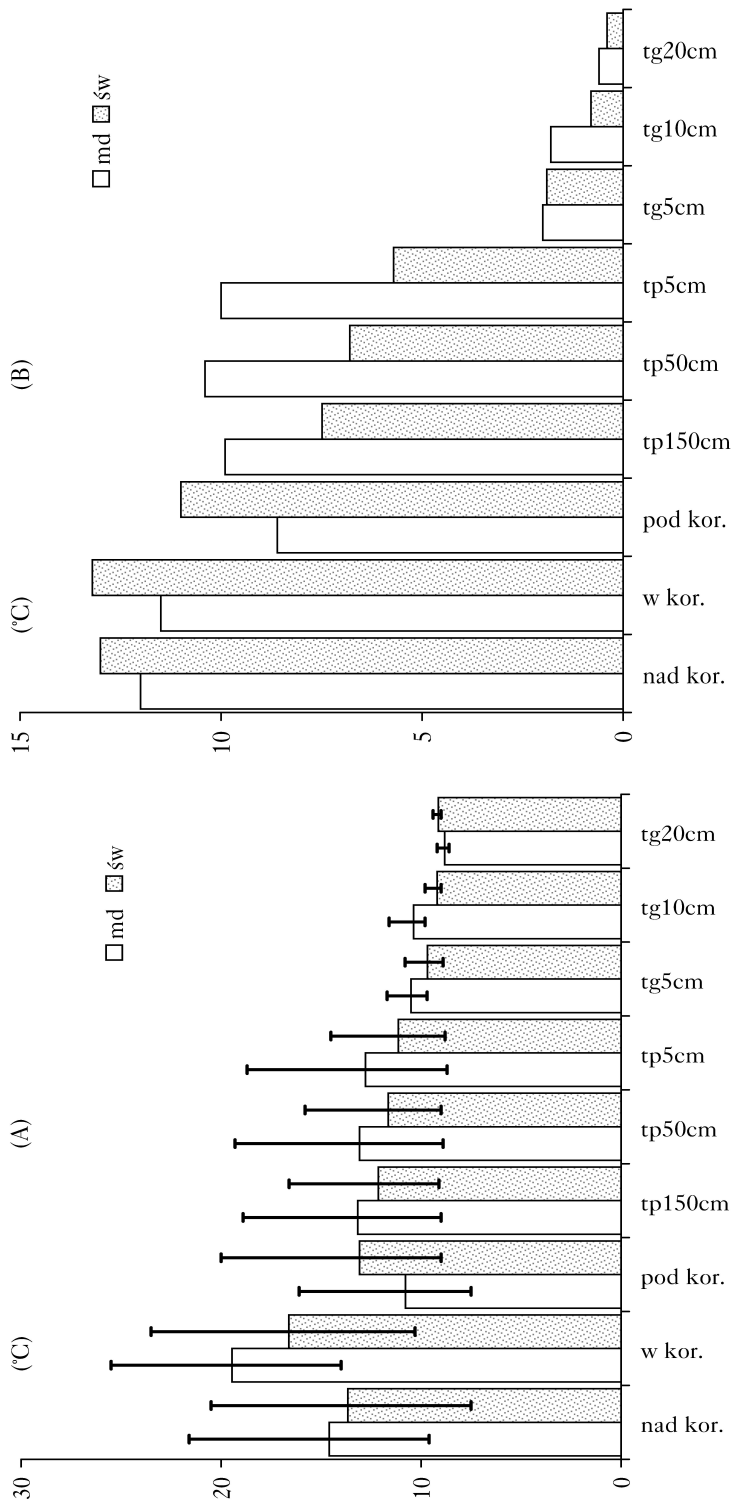
Największe amplitudy temperatury gleby wystąpiły na głębokości 5 cm. Zmniejszały się one wraz z głębokością, przy czym relatywnie większe były w modrzewiach. Ponadto amplitudy temperatury gleby były zdecydowanie mniejsze niż powietrza (ryc. 3).

Różnice temperatury powietrza pomiędzy obu drzewostanami wskazują, że w koronach, a także nad nimi cieplej było w modrzewiach, nawet o 5,0°C. Natomiast tuż pod koronami drzew cieplej było w świerczynie. W drugim dniu, kiedy wiał silny wiatr różnice temperatury na tym poziomie dochodziły do 4,5°C (ryc. 4). W warstwie przygruntowej powietrza cały czas cieplej było w modrzewiach. Wyjątkiem były wczesne godziny ranne, kiedy temperatura powietrza w obu drzewostanach wyrównywała się. Różnice temperatury w tej warstwie, pomiędzy drze-



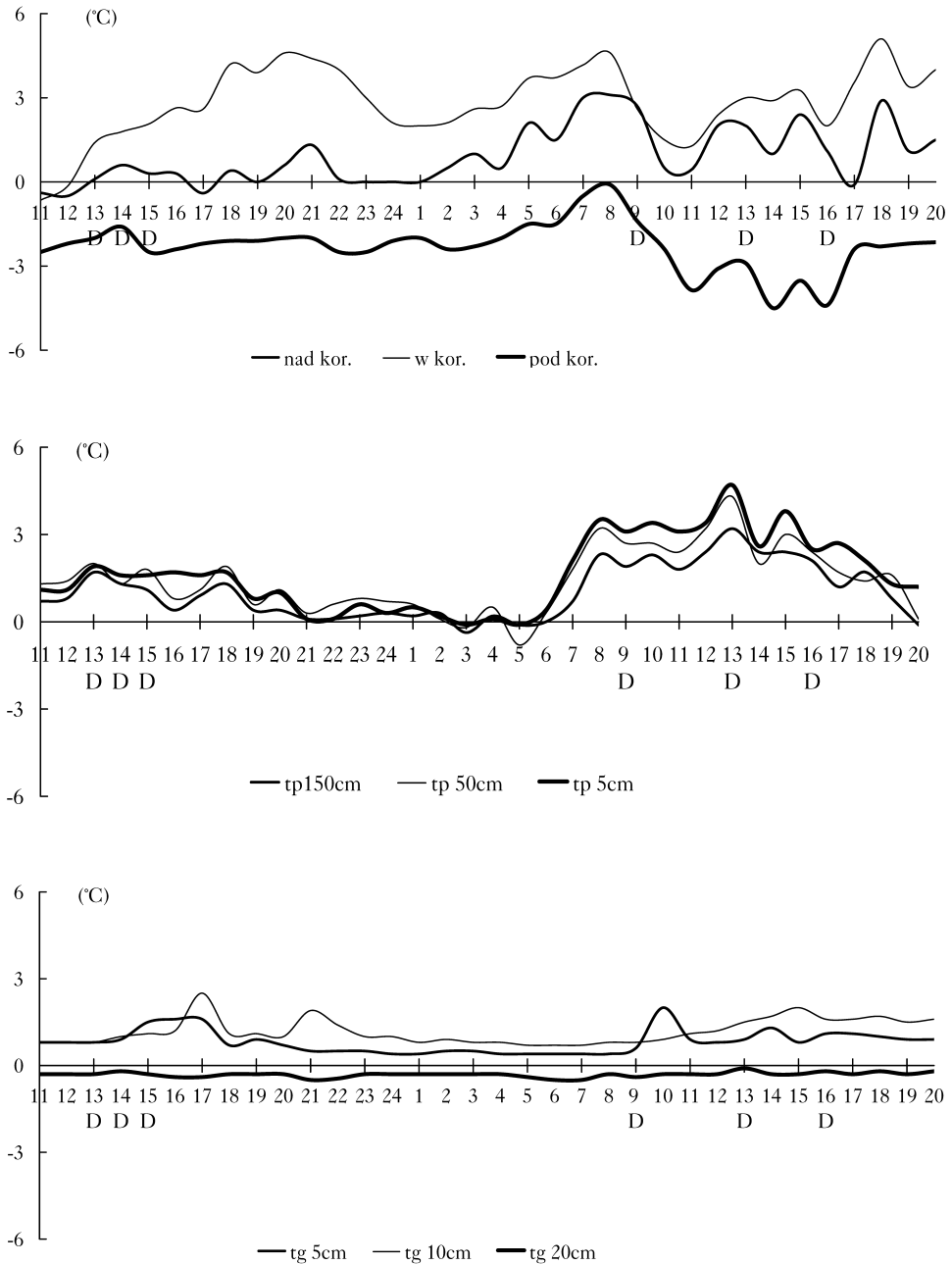
Ryc. 2.

Przebieg temperatury powietrza i gruntu; tp – temperatura powietrza, tg – temperatura gruntu, nad kor. – nad koronami, w kor. – w koronach, pod kor. – pod koronami, D – opad deszczu
 Course of air and soil temperature; tp – air temperature, tg – soil temperature, over crown. – in tree-crowns, under crown. – under tree-crowns, D – rainfall



Ryc. 3.

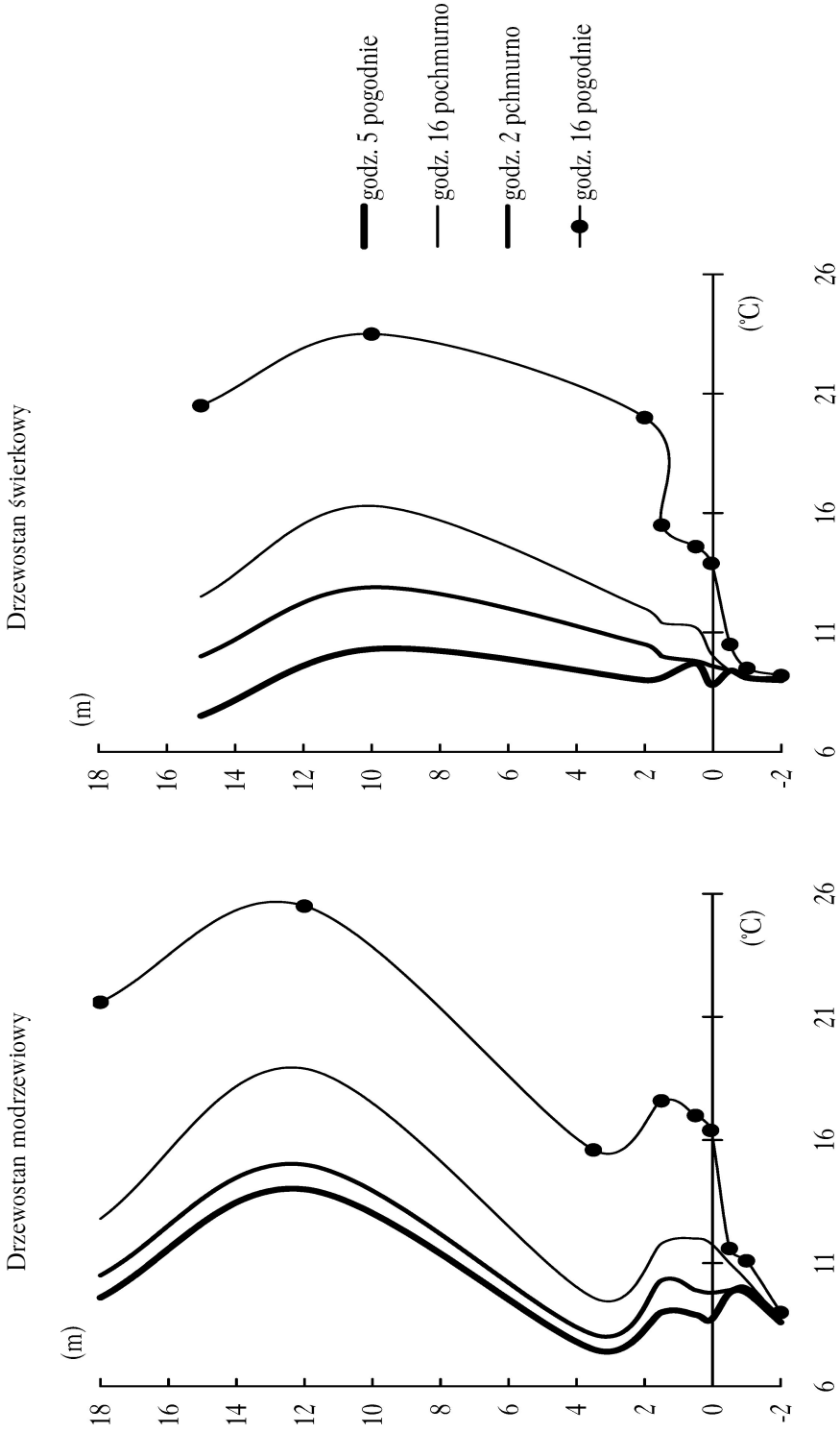
(A) – wartości średnie (słupki), minimalne i maksymalne (pionowe odcinki) oraz (B) – amplitudy (słupki) temperatury powietrza oraz gruntu; tp – temperatura powietrza, tg – temperatura gruntu, nad kor. – nad koronami, w kor. – w koronach, pod kor. – pod koronami, md – modrzewie, św – świerki
 (A) – averages value (column), minimum and maximum (vertical segment) and (B) – the amplitude (column) of air and soil temperature; tp – air temperature, tg – soil temperature, over crown. – over tree-crowns, in crown. – in tree-crowns, under crown. – under tree-crowns, md – larch, św – spruce



Ryc. 4.

Różnice temperatury powietrza między drzewostanem modrzewiowym i świerkowym: nad kor. – nad koronami, w kor. – w koronach, pod kor. – pod koronami, w przygruntowej warstwie powietrza (tp) oraz w gruncie (tg)

Difference of air temperature between larch and spruce stand: over crown. – over tree-crowns, in crown. – in tree-crowns, under crown. – under tree-crowns, near the ground (tp) and in soil (tg)



Ryc. 5.
Pionowe profile temperatury powietrza i gruntu
Vertical profiles of air and soil temperature

wostanami, były mniejsze przy pełnym zachmurzeniu. W dzień największe różnice temperatury występowały na wysokości 5 cm, najmniejsze natomiast na 150 cm (ryc. 4). W glebie, do głębokości 10 cm, przez cały czas pomiarów cieplej było w modrzewiach. Tam też, po opadach deszczu, temperatura wzrastała nawet o 2,5°C. Z kolei na głębokości 20 cm przez cały czas pomiarów cieplej było w świerczynie niż w oddolnie oglejonej glebie pod modrzewiami (ryc. 4).

Największe różnice między temperaturą w koronach i przy gruncie wystąpiły w dniu pogodnym, w godzinach popołudniowych. Mniejsze były one w czasie dnia pochmurnego, najmniejsze zaś nad ranem (ryc. 5). Profil pionowy temperatury powietrza miał w świerczynie charakter inwersyjny od powierzchni gleby do środkowej części koron. W modrzewiach zmieniał się on w tej strefie z radiacyjnego na insolacyjny. W obu drzewostanach od środkowej części koron ku wierzchołkom profil pionowy przybierał charakter insolacyjny. W świerkach profil pionowy temperatury powietrza, w każdym terminie, był bardziej wyrównany, a o godzinie 5:00 zbliżony był do izotermii. W modrzewiach, zarówno w dzień jak i w nocy, występowały dwa maksima temperatury powietrza. Pierwsze, większe wystąpiło w koronach, drugie w warstwie przygruntowej (150 cm) (ryc. 5).

Dyskusja

Wyniki badań potwierdziły znany fakt, że na wielkość i przebieg temperatury powietrza w drzewostanie ma wpływ kilka powierzchni czynnych. Były to głównie korony drzew, ale także powierzchnia gleby oraz runo. Najbardziej zwarta część powierzchni koron drzew decydowała o temperaturze powietrza w warstwie koron, jak również poza nimi.

Rzadsze i bardziej dostępne dla promieni słonecznych korony modrzewi, mimo jaśniejszej barwy, nagrzewały się w dzień silniej niż korony świerków. Przez całą dobę było tam cieplej aniżeli w świerkach. Oprócz cech gatunkowych zjawisko to może powodować, że modrzewie cechuje stosunkowo wysoka transpiracja.

Nocą ciężkie, zimne powietrze opadało łatwiej z koron modrzewi na dno lasu. W koronach świerków utrzymywało się ono natomiast do rana, wpływając w istotny sposób na minimum temperatury powietrza w tej warstwie. Stąd też największą amplitudę temperatury powietrza zanotowano w koronach świerków.

Powietrze na dnie lasu modrzewiowego w dzień nagrzewało się silniej. Nocą natomiast silniej się wychładzało niż w gęstej świerczynie. Rzadsze korony modrzewi stanowiły mniejszą przeszkodę dla promieni słonecznych. Powierzchnia gleby i traw stawała się zatem drugim, ważnym źródłem ciepła. Stąd też w dzień cieplej było przy gruncie w modrzewiach, natomiast nad ranem było tam nieco chłodniej niż w świerczynie. O wyższej amplitudzie na dnie drągownicy modrzewiowej zdecydowało zatem wysokie maksimum temperatury.

W świerkach klimat termiczny był zdecydowanie łagodniejszy. W czasie pogodnej nocy największe wypromieniowanie miało miejsce z górnej warstwy koron świerków, gdzie dodatkowo stagnowało wychłodzone powietrze. Dlatego temperatura minimalna wystąpiła tam nad koronami drzew.

Gęstość oraz zwarcie koron miało zatem istotny wpływ na to, gdzie w obu drzewostanach wystąpiła temperatura ekstremalna.

W dzień przepływ energii cieplnej skierowany był z warstwy koron w dół do dna lasu i dalej do gleby oraz w górę w kierunku szczytów koron. Szczególnie silny był on w dzień pogodny, kiedy korony były najbardziej rozgrzane. W nocy i nad ranem kierunek strumienia cieplnego zmieniał się tylko częściowo. Ciepło z wierzchnich warstw gleby płynęło w stronę wychłodzonego powietrza nad gruntem oraz w głąb gruntu, natomiast z koron płynęło w dół

i w górę, podobnie jak w ciągu dnia. W dzień pochmurny oraz w nocy strumienie ciepła słaby, przez co pionowy profil termiczny wyrównywał się stopniowo. W gęstym drzewostanie świerkowym korony drzew słabiej się nagrzewały w dzień, lecz nocą bardziej się wychładzały niż korony modrzewi. Dzięki temu nad ranem profil pionowy temperatury powietrza w świerkach przybierał typ niemal izotermiczny.

Cechą charakterystyczną termiki wnętrza lasu było występowanie inwersyjnego typu stratyfikacji pionowej temperatury powietrza, spowodowanego położeniem powierzchni czynnej. Układ ten widoczny był wyraźnie w gęstej świerczynie. W modrzewiach zaznaczały się natomiast dwa maksima temperatury: w koronach oraz nad glebą, która wraz z runem stanowiła drugą powierzchnię czynną.

Na otwartej przestrzeni wiatr z reguły niweluje przestrzenne kontrasty termiczne, natomiast w przewiewnych modrzewiach zaostriął je.

Istotny wpływ na przebieg temperatury powietrza i gleby miało zachmurzenie oraz opady atmosferyczne. Zachmurzenie obniżało temperaturę powietrza, w każdej warstwie drzewostanu, a ponadto wyrównywało ją w profilu pionowym. Parująca woda opadowa pobierała z otaczającego powietrza energię, szybko obniżając jego temperaturę. Zjawisko to widoczne było głównie w koronach, ale także przy gruncie, gdzie część wody również się dostawała. Ogrzana w koronach modrzewi woda wsiąkała w glebę powodując wzrost jej temperatury. Natomiast gęste korony świerków oraz gruba, surowa ściółka całkowicie zatrzymywały wodę opadową. Zachmurzenie nie miało większego wpływu na różnice temperatury w warstwie koron między obu drzewostanami. Odcinając dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego powodowało, że warunki termiczne w modrzewiach i świerkach były podobne. Także proces parowania, ochładzając powietrze, zmniejszał różnice temperatury pomiędzy obu drzewostanami.

Wnioski

- ✦ Główną powierzchnią czynną obu drzewostanów były korony drzew. Korony modrzewi nagrzewały się silniej niż świerków. W modrzewiach drugą powierzchnią czynną była gleba wraz z runem.
- ✦ Stratyfikacja pionowa temperatury powietrza w obu drzewostanach przybierała typ radiacyjny, sięgający środkowej części koron oraz typ insulacyjny powyżej tego poziomu.
- ✦ Najwyższe wartości temperatury powietrza wystąpiły w koronach drzew, natomiast miejsce występowania temperatury minimalnej uzależnione było od gęstości i zwarcia koron.
- ✦ Większe kontrasty termiczne na dnie lasu były w modrzewiach, natomiast w strefie koron – w świerczynie.
- ✦ Zachmurzenie oraz opady wyrównywały temperaturę powietrza w profilu pionowym obu drzewostanów, zmniejszały ponadto różnice temperatury między nimi.
- ✦ Wiatr zwiększał kontrasty termiczne w strefie pni drzewostanu modrzewiowego, nie wpływał natomiast na klimat termiczny w drągowninie świerkowej.
- ✦ Ogrzana w koronach woda opadowa zwiększała temperaturę gleby, natomiast woda gruntowa obniżała ją.

Literatura

- Bednarek A. 1967. Analiza porównawcza stosunków termicznych gleby w niektórych zespołach leśnych Białowieckiego Parku Narodowego. *Fol. For. Pol.* 13: 157-229.
- Durło G., Małek S., Wężyk P. 1999. Modyfikujący wpływ drzewostanów bukowych na wilgotność i temperaturę powietrza. W: *Klimatyczne uwarunkowania życia lasu*. *Konf. Nauk. PTL, Zakopane – maj 1999.* 141-147.

- Durło G., Małek S., Wężyk P. 2000. Charakterystyki wybranych elementów meteorologicznych na powierzchniach doświadczalnych w drzewostanach bukowych na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego oraz Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy. (W:) Monitorowanie procesów zachodzących w drzewostanach bukowych. Kat. Ekol. Lasu, AR w Krakowie. 43-56.
- Durło G. 2002. Zróżnicowanie mikroklimatyczne i bioklimatyczne Jaworzyny Krynickiej. Praca doktorska. Kat. Klimat. Leśnej, AR w Krakowie.
- Družkowski M. 1987. Stosunki termiczno-wilgotnościowe powietrza wnętrza lasu i otwartej przestrzeni na Pogórze Karpackim, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr. 14: 107-133.
- Ermich K. 1953. Badania mikroklimatyczne w zespołach roślinnych Puszczy Niepołomickiej. Acta Soc. Bot. Pol. 22. 3: 483-559.
- Ermich K., Feliksik E., Grabowski A. 1966. Stosunki mikroklimatyczne w zbiorowiskach roślinnych przy górnej granicy lasu w Polskich Tatrach Zachodnich. Zesz. Nauk. WSR w Krakowie 30, Ser. Leśnictwo 1.
- Obmiński Z. 1955. O zastosowaniu metody krótkich ciągów obserwacji w badaniach ekoklimatyczno-leśnych. Sylwan 99 1: 55-57.
- Obrębska-Starkłowa B. 1965. Charakterystyka reżimu termicznego powietrza w lesie lipowym i jodłowym przy niektórych sytuacjach pogodowych. Czas. Geogr. 36, 3: 275-290.
- Obrębska-Starkłowa B. 1967. Badania mikroklimatyczne w rezerwacie lipowym „Obrozyska” w Miliku koło Muszyny. Ochr. Przyr. 32: 279-358.
- Obrębska-Starkłowa B. 1973. Stosunki termiczne w przygrunтовой warstwie powietrza w zespole *Tilio-Carpinetum* w Gaiku-Brzezowej. Zesz. Nauk. UJ, 327, Prac. Geogr. 32: 89-102.
- Olszewski L. 1986. Rola ekosystemów leśnych w modyfikacji klimatu lokalnego Puszczy Białowieskiej. Prac. Habilit., PAN. Wrocław.
- Tomanek J. 1953. Badania nad przebiegiem temperatury gruntu i parowania w różnych biotopach leśnych Białowieskiego i Wielkopolskiego Parku Narodowego. Prace IBL 91. PWRiL, Warszawa.

SUMMARY

The temperature of forest stand vertical profile

The paper presents research results on the effect of biometrical characteristics of a stand and weather conditions on the dynamics of air and soil temperatures along a vertical profile in the 30 year-old larch and spruce poletimber stands. The both stands are the montane forest type situated in the in a moderately cold climatic zone at an elevation of 800 m a.s.l. on the slope of 5°, exposed to the east. Measurements were carried out every hour for 34 hours on 1 and 2 July 1996 during changing weather conditions. Air temperature was measured above the tree crowns, in the crowns and below the crowns, as well as 5, 50 and 150 cm above the ground level. Soil temperature was measured at the depths of 5, 10 and 20 cm.

The thermal microclimate in a stand was determined by the area of tree crowns, which emitted the energy into the stand and outside the stand. In the larch stand, the thermal balance was significantly affected by the size of the herbaceous layer and soil. The diurnal temperature of the air in larch crowns was higher than in spruce crowns. The maximum of air temperature was in the crowns while the minimum of air temperature was dependent upon crown density and closure in the both stands. The greatest difference occurred in the forest floor in the larch stands, and the in the spruce stands – in the crowns. Vertical stratification of air temperature was of a radiation type reaching the middle part of the crowns and of insolation type – above this stratum. At dawn, it approximated isotherm. The clouds and rainfalls levelled the air temperature along a vertical profile, and reduced differences in temperature between the stands. The rainfall water heated in the crowns caused the rise in the soil temperature whereas the ground water lowered it. In the larch stand, the wind increased thermal differences along the air vertical profile in the stem zone.