

SYLWAN

MIESIĘCZNIK POLSKIEGO TOWARZYSTWA LEŚNEGO

Wydawany z zasiłku Polskiej Akademii Nauk

Rok CXVII

Warszawa, październik 1973 r.

Numer 10

STANISŁAW DUNIKOWSKI, ANNA ORLICZ

Wstępne badania nad promieniowaniem słonecznym w warstwie przygruntowej drzewostanu sosnowego

Предварительные исследования солнечной радиации в припочвенном горизонте
в древостое

Preliminary studies on solar radiation in the close-to-ground layer of forest stand

Zakład Ekologii Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa uczestniczy od kilku lat w badaniach zgrupowanych w problemie węzłowym, koordynowanym przez Instytut Ekologii PAN, a dotyczących produktywności ekosystemów leśnych. Do zadań Zakładu Ekologii Lasu należy przeprowadzenie badań porównawczych w wybranych obiektach leśnych, w celu ustalenia czynników ekologicznych różnicujących ich produktywność. Fragment badań zespołowych, wykonanych wspólnie z Centralnym Obserwatorium Geofizycznym Instytutu Geofizyki PAN, dotyczących rozkładu energii promieniowania słonecznego w borze sosnowym przedstawia niniejsze opracowanie.

Jednym z podstawowych elementów wpływających na produktywności ekosystemów leśnych jest, oprócz czynników glebowych i wodnych, energia promieniowania słonecznego. Promieniowanie słoneczne wpływa bezpośrednio i pośrednio na wymianę i obieg energii w ekosystemach oraz reguluje zachodzące w nich podstawowe procesy biocenotyczne. W ekosystemach leśnych szata roślinna, a głównie drzewostan, modyfikuje składowe bilansu promieniowania przez istnienie dodatkowych warstw i powierzchni czynnych. Są to przede wszystkim: górna powierzchnia koron drzewostanu panującego i, w zależności od struktury pionowej, korony drzewostanu drugiego piętra, warstwy podrostów lub podszytów.

W badaniach ekologiczno-leśnych od wielu lat zajmowano się pomiarami składowych bilansu promieniowania słonecznego w lesie, jednak



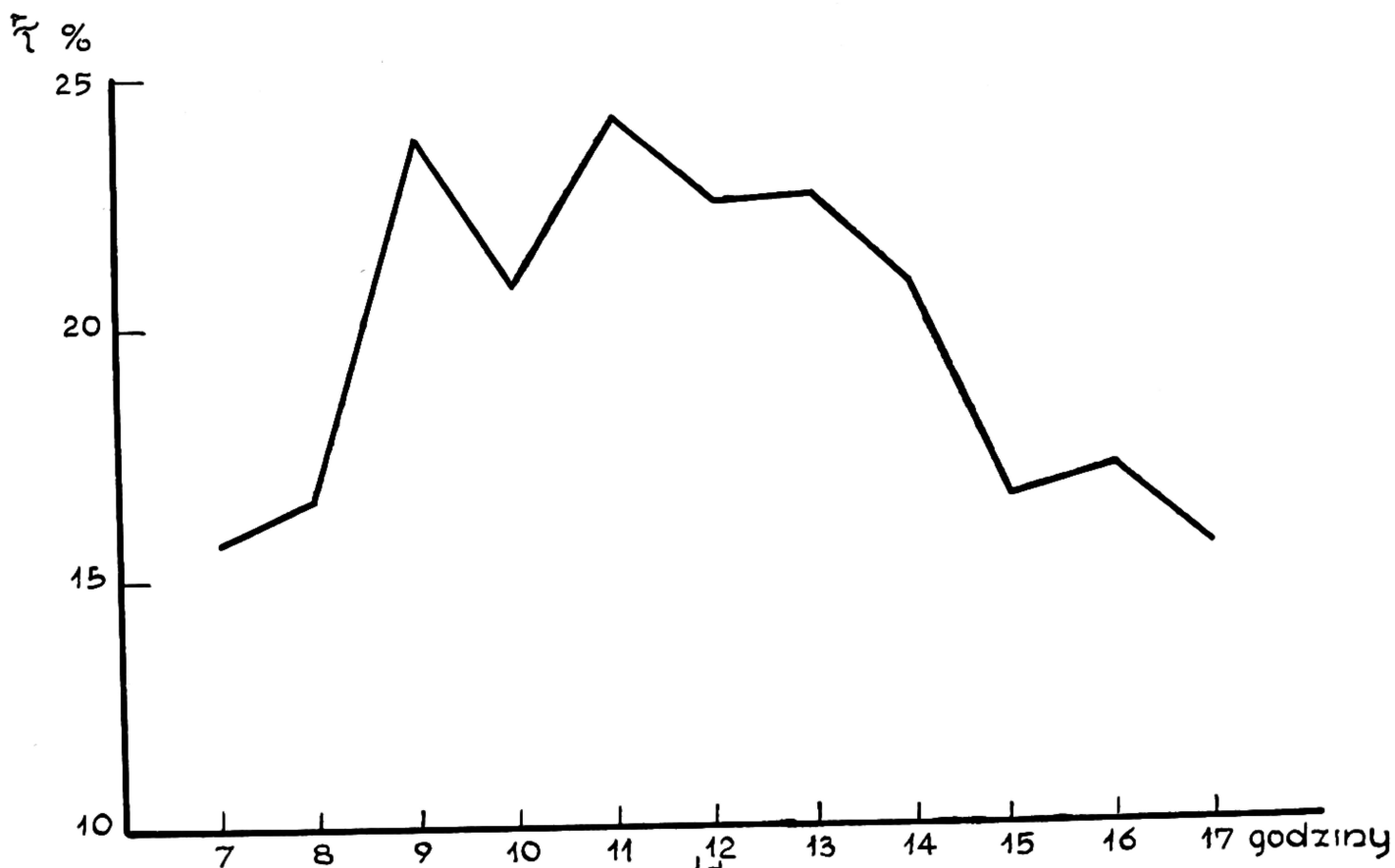
C-2584

dane uzyskiwane przez poszczególnych autorów są bardzo zróżnicowane i znacznie od siebie odbiegają. Przyczyną tego jest przede wszystkim duże zróżnicowanie składu gatunkowego i struktury badanych obiektów leśnych oraz stosowanie odmiennych metod i techniki pomiarów. Przegląd stosowanych w leśnictwie metod pomiarów promieniowania słonecznego w całym zakresie, a promieniowania w zakresie widzialnym w szczególności, podaje R o u s s e l (4).

Opierając się na wynikach wstępnych badań przeprowadzonych w Kampinoskim Parku Narodowym na powierzchni doświadczalnej chcemy zająć się jednym z elementów bilansu promieniowania, a mianowicie ilością energii promieniowania słonecznego docierającego do dna lasu oraz jej rozkładem poziomym. Obiekt badań — oddz. 161e w nadleśnictwie Kromnów — stanowi według S i k o r y (5) lity drzewostan sosnowy ze sporadyczną domieszką pojedynczej brzozy i wyraźnie zarysowaną dolną warstwą podrostów i podszytów dębowych. Typ siedliskowy lasu — bór świeży. Sosna — wiek 112 lat, przeciętna wysokość 24,3 m, średnia pierśnica 33,0 cm, zadrzewienie 1,1, liczba drzew na 1 ha 383. Dąb — wiek 39 lat, przeciętna wysokość 6,5 m, średnia pierśnica 5,0 cm, liczba drzew na 1 ha 560.

Pomiary wykonywano na 30 punktach rozmieszczonych co 3 m wzdłuż linii prostej o długości 90 m. Do pomiaru globalnego promieniowania słonecznego docierającego do dna lasu zastosowano pyranometry termoelektryczne Janiszewskiego, osadzone na przegubach dwupięścieniowych, zakończonych wysięgnikami. Miernikami były galwanometry GSA-1. Pyranometry umieszczone były 0,5 m nad gruntem. Pomiary prowadzone były od godz. 7 do 18 czasu słonecznego. Serie pomiarowe powtarzano co godzinę, a jedna seria trwała około 45 min. Ograniczony zakres czułości mierników uniemożliwiał pomiary wcześniejsze i późniejsze. Promieniowanie globalne docierające ponad korony lasu mierzono również pyranometrem termoelektrycznym, który był umieszczony na dachu budynku w osadzie leśnictwa, w odległości ok. 2 km od powierzchni doświadczalnej. W czasie pomiarów od 8 do 14 sierpnia 1972 r. trzy dni miały usłonecznienie ponad 7 godz. bez przerwy świecenia Słońca, pozostałe trzy były pochmurne bądź o zachmurzeniu zmiennym.

Ilość promieniowania słonecznego docierającego do dna lasu określana jest w bilansie promieniowania jako K'_{\downarrow} (w jednostkach energetycznych), lub jako współczynnik przenikania τ , obliczony ze stosunku K'_{\downarrow} do K_{\downarrow} i wyrażony w procentach. Wartości współczynnika przenikania (τ) cytowane w literaturze przez różnych autorów odbiegają znacznie od siebie. Np. G a y i K n o e r r (1) dla drzewostanu sosnowego (*Pinus taeda*) wiek 32 lata, wys. 23,5 m otrzymali współczynnik przenikania w ciągu 4,5 dni bezchmurnych 32,0%. G a y, K n o e r r i B r a t e n (2) dla 32-letniego drzewostanu *Pinus taeda*, przy 752 drzewach na 1 ha, o średniej pierśnicy 25,8 cm i wysokości 23,4 m dla ośmiu dni bezchmurnych jesiennych otrzymali średni współczynnik przenikania $\tau = 17,0\%$. G e i g e r (3) podaje średnią wartość współczynnika przenikania dla zwartego młodnika świerkowego — 5,5%. Według W y g o d s k i e j (8) średnia dzienna wartość współczynnika przenikania do dna lasu liściastego waha się w zależności od składu gatunkowego i bonitacji od 6,4 dla 30-letniego do 26,0% dla 220-letniego drzewostanu. S t e w a r t z a A n d e r s o n e m



Ryc. 1. Średnie wartości współczynnika przenikania τ w dniach 9—14.VIII.1972 r.

(7) również dla sosny (brak danych o drzewostanie) otrzymał wartość współczynnika tylko ok. 15,0%. Z materiałów zebranych do pracy doktorskiej przez A. Orlicz, a będących aktualnie w opracowaniu wynika że współczynnik przenikania dla młodnika sosnowego w okresie wegetacyjnym wynosi średnio 5,9%. Według naszych danych średnia wartość współczynnika przenikania w czasie od 7 do 13 sierpnia wynosi łącznie dla dni pogodnych i pochmurnych 20,1%. Przebieg średnich wartości współczynnika przenikania (τ) przedstawia ryc. 1. Dzięki rozmieszczeniu

Tabela 1

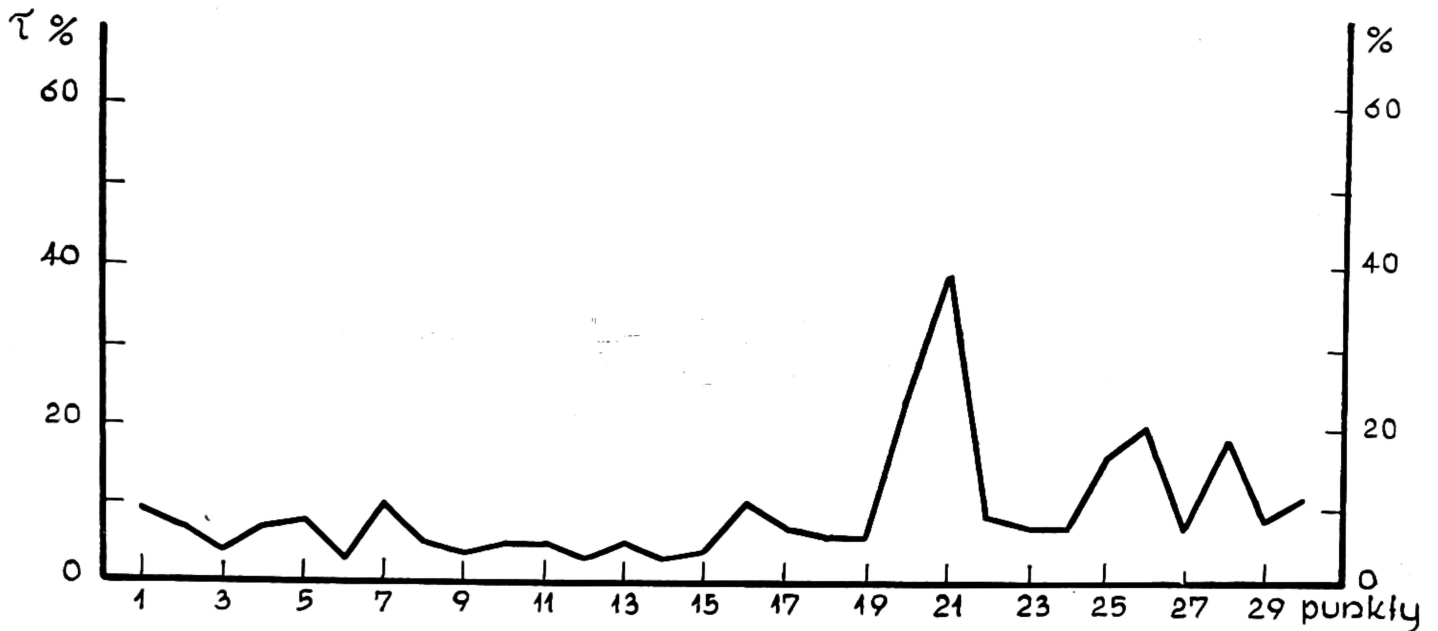
**Odchylenie standardowe i współczynnik zmienności
11 VIII 1972 r.**

Godz	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Średnie
------	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	---------

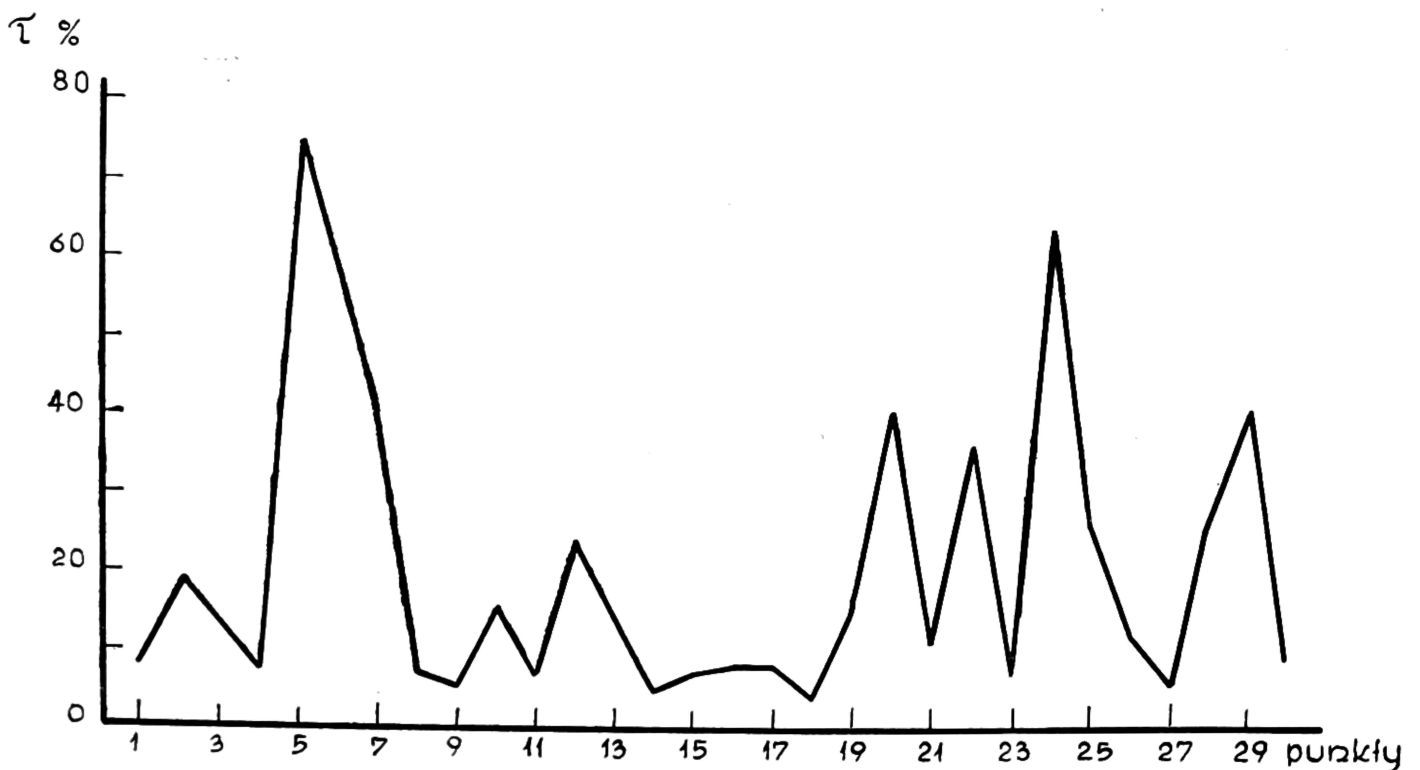
Odchylenie standardowe	0,0470	0,0679	0,2043	0,1120	0,2129	0,1973	0,1239	0,1032	0,0868	0,0178	0,0046	0,1071
------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Współczynnik zmienności	82,0	72,8	106,0	69,3	92,7	89,7	72,4	78,1	87,7	42,5	36,6	75,6
-------------------------	------	------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

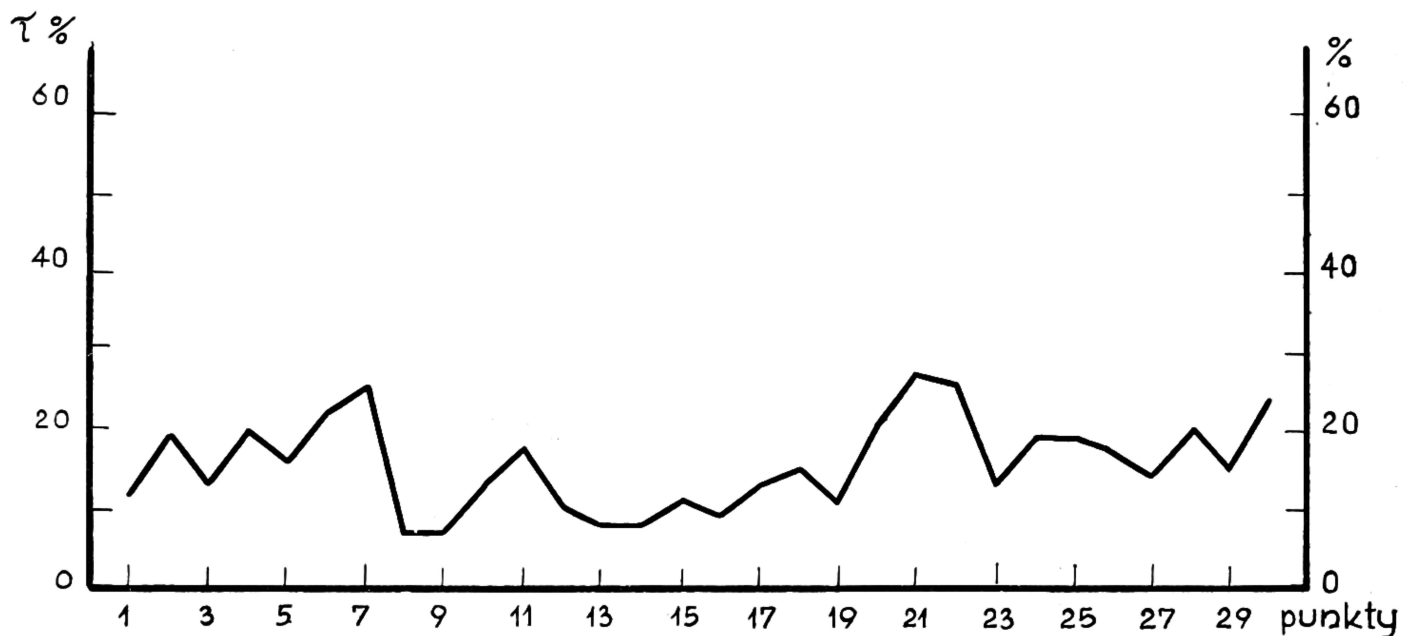
punktów pomiarowych co 3 m na linii prostej o długości 90 m możemy prześledzić jak zmienia się wartość współczynnika przenikania na dnie lasu. Dla liczbowego określenia zmienności zastosowano proste testy statystyczne — odchylenie standardowe i współczynnik zmienności. Obliczono je dla jedenastu serii pomiarowych wykonanych w dniu bezchmurnym 11 sierpnia (tab. 1). Jak widać współczynnik zmienności przyjmuje wartości bardzo duże, nawet ponad 100% średniej wartości pojedynczej serii pomiarowej. Ryciny 2, 3, 4 podają stwierdzone zróżnicowanie wartości współczynnika przenikania (τ) rano i w południe w dniu pogodnym, zaś ryciny 5, 6, 7 w dniu pochmurnym.



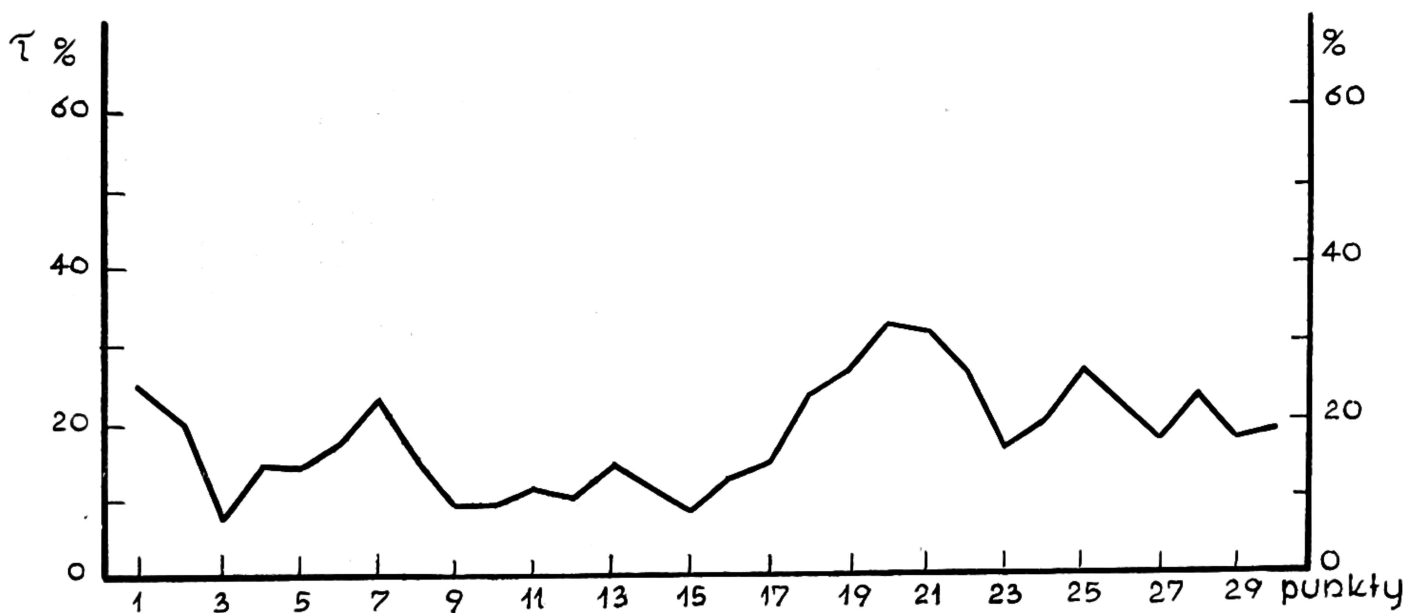
Ryc. 2. Współczynnik przenikania τ — godz. 7.00, dzień pogodny 11.VIII.1972 r.



Ryc. 3. Współczynnik przenikania τ — godz. 12.00, dzień pogodny 11.VIII.1972 r.



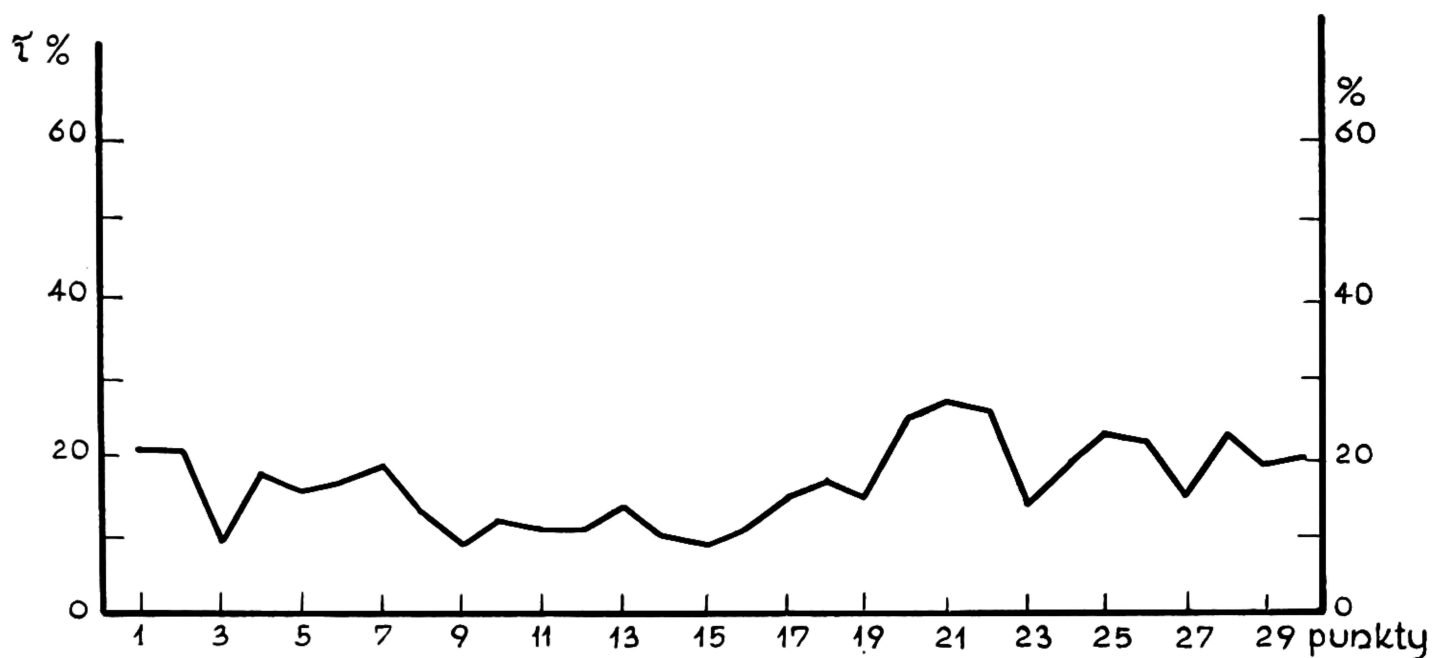
Ryc. 4. Średnie dzienne wartości współczynnika przenikania τ , dzień pogodny 11.VIII. 1972 r.



Ryc. 5. Współczynnik przenikania τ — godz. 7.00, dzień pochmurny 10.VIII.1972 r.



Ryc. 6. Współczynnik przenikania τ — godz. 12.00, dzień pochmurny 10.VIII.1972 r.



Ryc. 7. Średnie dzienne wartości współczynnika przenikania τ , dzień pochmurny

Ilość promieniowania docierającego do dna lasu zwiększa się wraz ze wzrostem wysokości Słońca nad horyzontem (h_{\odot}) tab. 2. Dla bardziej dokładnego prześledzenia powierzchniowego rozkładu wartości promieniowania słonecznego na dnie lasu opracowano szeregi rozdzielcze z całego uzyskanego materiału pomiarowego, stosując jako kryteria podziału wielkość zachmurzenia i wysokość Słońca. Wyeliminowano z opracowania serie pomiarowe wykonane przy zachmurzeniu zmiennym. Ponieważ

Tabela 2

Średnie wartości współczynnika przenikania promieniowania słonecznego w zależności od wysokości słońca i zachmurzenia

Dni	h_{\odot} małe	h_{\odot} średnie	h_{\odot} duże	h_{\odot} b. duże
pogodne	9,25	17,39	20,64	23,69
pochmurne	15,40	18,33	21,0	22,64

w czasie pomiarów wysokości Słońca wahały się od $16,1$ do $53,8^{\circ}$, przyjęto cztery przedziały jego położenia:

- h_{\odot} małe do $26,5^{\circ}$,
- h_{\odot} średnie od $26,6$ do $35,5^{\circ}$
- h_{\odot} duże od $35,6$ do $50,0^{\circ}$,
- h_{\odot} b. duże ponad $50,0^{\circ}$.

Dla współczynnika przenikania (τ) przyjęto pięciostopniowe klasy wielkości. Uzyskane dane przedstawia tabela 3.

**Częstotliwość występowania współczynnika przenikania w klasach wielkości,
w zależności od zachmurzenia i wysokości Słońca**

Lp.	Klasa wartości współczynnika przenikania (τ) w %	Dni pogodne				Dni pochmurne			
		h _☉ małe	h _☉ śred.	h _☉ duże	h _☉ b.duże	h _☉ małe	h _☉ śred.	h _☉ duże	h _☉ b.duże
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	do 5,0	18	4	—	5	3	1	2	1
2	5,1—10,0	65	50	86	52	12	12	29	14
3	10,1—15,0	27	42	58	33	9	19	50	19
4	15,1—20,0	4	15	31	23	11	21	51	15
5	20,1—25,0	5	10	21	7	13	24	41	7
6	25,1—30,0	—	10	11	8	7	5	29	19
7	30,1—35,0	—	5	16	9	4	4	12	4
8	35,1—40,0	—	4	9	7	—	1	11	2
9	40,1—45,0	—	1	9	7	—	3	3	2
10	45,1—50,0	1	1	2	5	1	—	6	1
11	50,1—55,0	—	2	4	3	—	—	1	2
12	55,1—60,0	—	—	3	4	—	—	1	3
13	60,1—65,0	—	3	4	4	—	—	1	1
14	65,1—70,0	—	1	1	2	—	—	2	—
15	70,1—75,0	—	—	1	—	—	—	—	—
16	75,1—80,0	—	1	3	4	—	—	—	—
17	80,1—85,0	—	—	1	1	—	—	1	—
18	85,1—90,0	—	—	2	1	—	—	—	—
19	90,1—95,0	—	—	2	1	—	—	—	—
20	95,1—100,0	—	1	—	2	—	—	—	—

DYSKUSJA WYNIKÓW

Na podstawie cytowanych danych liczbowych można stwierdzić, że rozkład powierzchniowy promieniowania słonecznego na dnie lasu jest bardzo nierównomierny. Oprócz czynników drzewostanowych, takich jak zwarcie i ażurowość koron drzewostanu, jego struktura pionowa, skład gatunkowy, a pośrednio i wiek, na poziome zróżnicowanie wartości promieniowania słonecznego wpływa zdecydowanie stopień i rodzaj zachmurzenia oraz wysokość Słońca nad horyzontem. W ciągu dnia zaznacza się wyraźna zależność ilości promieniowania docierającego do dna lasu od wysokości Słońca, zarówno przy pogodzie słonecznej jak i pochmurnej. Minimum występuje przy małych wysokościach — rano i wieczorem, zaś maksimum w południe.

W dniu pogodnym przy małych wysokościach Słońca wartości promieniowania na dnie badanego lasu są między poszczególnymi punktami dość wyrównane. W większości wypadków zamykają się w przedziale 5—10%. Najwyższe notowane wartości w drzewostanie dochodzą wtedy do 25%. W miarę wzrostu wysokości Słońca rozkład promieniowania na dnie lasu jest coraz bardziej zróżnicowany, osiągając w godzinach południowych

stan przedstawiony na ryc. 3. Przez korony drzew przenika wtedy znaczna ilość promieniowania bezpośredniego, które powoduje powstawanie dużej ilości tzw. „plam świetlnych”, dając w efekcie mozaikowatość pola promieniowania na dnie lasu.

Rozpatrując analogicznie jak w dni pogodne wartości promieniowania słonecznego przenikającego do dna lasu w dni pochmurne, można stwierdzić, że przy małych wysokościach Słońca są one bardziej wyrównane niż w dni pogodne. Stopniowo ze wzrostem wysokości Słońca zróżnicowanie współczynnika przenikania zwiększa się, nie jest jednak tak duże jak w dni pogodne (ryc. 6).

Na podstawie uzyskanych przez nas wyników stwierdziliśmy, że do dna lasu dociera więcej promieniowania rozproszonego niż bezpośrednio — przy tych samych wysokościach Słońca. Dopiero przy wysokościach bardzo dużych (od godz. ± 11 do 13) większa ilość energii promieniowania dochodzi do dna lasu w dni pogodne. Potwierdza to wyniki uzyskane wcześniej przez Słomkę i Dunikowskiego w badaniach nad polem światła na dnie lasu.

Dotychczas zajmowaliśmy się ustaleniem prawidłowości rozkładu promieniowania słonecznego na dnie lasu przy typowych stanach pogody, w dni bezchmurne i przy zachmurzeniu całkowitym. Jednak w większości wypadków na terenie Polski pogoda charakteryzuje się zachmurzeniem zmiennym. Ta zmienność zachmurzenia występująca w ciągu dnia jest główną przyczyną dużych wahań ilościowych w przenikaniu promieniowania do dna lasu w danym miejscu. Łącznie ze wspomnianymi uprzednio czynnikami drzewostanowymi — ażurowością koron drzewostanu panującego i dolnego piętra razem z podrostem i podszytem, strukturą pionową, składem gatunkowym itp., zmienność stopnia i rodzaj zachmurzenia powoduje mozaikowatość rozkładu promieniowania słonecznego docierającego do dna lasu. Wahania ilościowe dopływu energii słonecznej powodują zróżnicowanie warunków mikroklimatycznych oraz powstawanie zjawisk dynamicznych dążących do ich wyrównania, pośrednio zaś wpływają na nasilenie procesów rozkładu materii i obiegu energii w ekosystemie.

W roku 1973 będą kontynuowane badania nad dopływem promieniowania do ekosystemów leśnych. Program ich zostanie rozszerzony, metodyka i technika pomiarów oraz obiekty doświadczalne pozostaną te same, co pozwoli na uzyskanie dokładniejszych wyników i wyciągnięcie szczegółowych wniosków.

LITERATURA

1. Gay L. W., Knoerr K. R. — The radiation budget of a forest canopy. „Arch. Met. Geoph. Biokl.”, ser. B, 18, 1970.
2. Gay L. W., Knoerr K. R., Braaten M. O. — Solar radiation variability on the floor of a pine plantation. „Agriculture Meteorology”, Amsterdam 1970.
3. Geiger R. — Das Klima der bodennahen Luftschicht. Friedr. Vieweg und Sohn. Braunschweig, 1961.
4. Roussel L., 1972 — Photologie forestière. Paris 1972.
5. Sikora B. — Sprawozdanie z badań nad ustaleniem zasobności i produkcji

- miąższości drzewostanu na powierzchni badawczej w Nadleśnictwie Kromnów w oddz. 161e. Maszynopis. Warszawa 1972.
6. Słomka J., Dunikowski S. — Wstępne badania nad polem światła na dnie lasu. „Prace IBL” nr 200, 1958.
 7. Stewart J. B. — The albedo of a pine forest. „Quart. J. R. Met. Soc.”, 97, 1971.
 8. Wygodskaja N. N. — Rezultaty izmerenij radiacionnych charakteristik w słożnom nasażdenij. Aktinometrija i Optika Atmosfery. Talin 1968.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 18 czerwca 1973 r.

Краткое содержание

Работа представляет фрагмент комплексных исследований продуктивности лесных экосистем. Она касается распределения энергии солнечной радиации в припочвенном горизонте соснового бора в возрасте 112 лет. Измерения солнечной радиации производились термоэлектрическими пиранометрами Янишевского, в 30 пунктах размещённых через каждые 3 м вдоль прямой. Средний коэффициент проникновения равняется 20,1%. Установлена большая изменчивость в поверхностном распределении энергии солнечного излучения, на что влияет ажурность и сомкнутость корон древо-стоя, его вертикальная структура и видовой состав, а также тип и степень облачности.

Средний коэффициент изменчивости в безоблачный день равняется — 75,6%. Зарисовалась отчётливая зависимость количества энергии излучения достигающего дна леса от высоты солнца. При одних и тех же высотах солнца количество энергии излучения проникающее на дно леса в пасмурные дни больше, чем в безоблачные. Только в полдень, с 11 до 13 часов коэффициент проникновения незначительно выше в безоблачные дни, чем в пасмурные.

Summary

The paper presents a fragment of complex studies on the productivity of forest ecosystems. It concerns the distribution of solar radiation energy in the close-to-ground layer of a pine forest 112 years old. Measurements of solar radiation were taken with the aid of Janiszewski's thermoelectric pyranometers on 30 locations distributed at 3 m intervals along a straight line. Mean penetration coefficient amounts to 20.1%. High variation was found in the spatial distribution of solar radiation energy. Transparency and density of tree crowns, vertical structure of stand, its species composition, type and degree of cloudiness contribute to this variation. Mean variation coefficient amounts to 75.6% on a sunny day. An obvious relationship was found between the quantity of radiation energy reaching the forest floor and the height of sun. At the same heights of sun a greater quantity of radiation energy penetrates into forest on cloudy than on sunny days. Only during noon hours, since 11 a.m. until 1 p.m. penetration coefficient is slightly greater in sunny days than it is on cloudy ones.