

# OCENA HIGROKLIMATYCZNYCH WARUNKÓW WEGETACJI W POLSCE

Krzysztof M. Kozuchowski

**Kozuchowski K.M., 2013:** Ocena higroklimatycznych warunków wegetacji w Polsce (*Assessment of hygroclimatic conditions of vegetation in Poland*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 14, s. 103–111.

**Zarys treści:** W niniejszym artykule zamieszczono wyniki badania relacji między rocznymi sumami opadów i saldem promieniowania w Polsce. Określono wskaźnik suchości klimatu według Budyki (1975) i wyznaczono wysokości optymalnych dla wegetacji opadów oraz niedoborów opadowych na obszarze Polski.

**Słowa kluczowe:** klimat Polski, bilans promieniowania, opady atmosferyczne, wskaźnik suchości klimatu, higroklimatyczne warunki wegetacji roślin.

**Key words:** *climate of Poland, radiation balance, atmospheric precipitations, index of climate aridity, hygroclimatic conditions of plant vegetation.*

Krzysztof M. Kozuchowski, Uniwersytet Łódzki, Instytut Nauk Leśnych, Filia UŁ w Tomaszowie Maz., ul. Konstytucji 3 Maja 65/67; 97-200 Tomaszów Mazowiecki, kkozuchowski1@wp.pl

## 1. Wprowadzenie

Klimatyczne zasoby wilgoci stanowią w Polsce istotny czynnik, determinujący przebieg procesów wegetacji roślin. Od dawna wiadomo, że znaczną część kraju obejmuje strefa deficytu opadów w relacji do parowania z wolnej powierzchni wodnej (Schmuck 1959). Przewaga ewapotranspiracji rzeczywistej z powierzchni upraw rolnych nad opadami w sezonie wegetacyjnym występuje w Wielkopolsce i na Kujawach, na Mazowszu i Podlasiu. Również w skali całego roku klimatyczny bilans wodny na nizinach Polski Środkowej jest ujemny (Bac, Rojek 1999). Ewapotranspiracja ekosystemów leśnych dorównuje bądź też jest nieco większa od ewapotranspiracji pól uprawnych (White i in. 1992). Zważywszy ponadto, że w lasach pewna część opadów ulega intercepcji, bilans wilgoci trzeba uznać za znaczącą barierę, ograniczającą produkcję biomasy, a nawet zagrażającą istnieniu formacji leśnych. Od dawna śledzony proces tzw. stepowienia Wielkopolski (Lambor 1954, Ilnicki i in. 2012) dowo-

dzi, jak bardzo skromne są tam klimatyczne zasoby wilgoci, przy czym deficyty opadów, poza środkową Wielkopolską i Kujawami, obejmują także dużą część Mazowsza i Podlasia.

Czynnikiem kształtującym stopień suchości klimatu i decydującym o zasięgu występowania niedoborów wilgoci, oprócz wysokości opadów, jest saldo promieniowania, określające wielkość dostępnej energii, wykorzystywanej w procesie parowania.

W opracowaniu Trojana (1985) znajduje się teza, że „czynnikiem o podstawowym znaczeniu dla produkcji roślinnej jest roczny bilans promieniowania”.

Paszyński i in. (1995) piszą natomiast o „zasadzie priorytetu parowania przy ograniczonej ilości dostępnej energii” i wyjaśniają, że „wszystkie inne procesy przenoszenia energii od warstwy czynnej zachodzą tylko w takim stopniu, jaki zapewnia maksymalną intensywność procesu parowania, ograniczonego jedynie dostępnością wody”. „Dostępna energia”, czyli energia promieniowania (saldo promieniowania), jest więc czynnikiem limitującym wielkość potencjalnej

ewapotranspiracji. Cytowane wyżej opinie stanowią uzasadnienie dla wykorzystania bilansu radiacyjnego do oceny higrycznych cech klimatu i klimatycznych warunków wegetacji.

W warunkach klimatycznych Polski przeważająca część salda promieniowania rozchodowana jest w procesie ewapotranspiracji i ulega konwersji, tworząc energię utajonego ciepła parowania. W wilgotnych ekosystemach strumień ciepła utajonego stanowi nawet więcej niż 100% salda promieniowania w skali roku (Kędziora 1995).

Budyko (1975) zdefiniował tzw. radiacyjny wskaźnik suchości klimatu (*radiant index of climate aridity* – RIA), który jest ilorazem rocznego salda promieniowania ( $R_n$ ) i energii potrzebnej do wyparowania występujących w ciągu roku opadów ( $LP_a$ ):  $L$  jest tu ciepłem parowania (2,48 MJ/kg przy temperaturze 10°C),  $P_a$  – sumą rocznych opadów (mm/rok lub litr/m<sup>2</sup>/rok).

Z definicji radiacyjnego wskaźnika suchości wynika, że gdy  $R_n > LP_a$ , to  $RIA > 1$ , co oznacza, że jest dość energii, aby cały opad wyparował. Klimat, w którym  $RIA > 1$  jest więc klimatem suchym. Natomiast jeżeli  $R_n < LP_a$ , to  $RIA < 1$  i to oznacza, że saldo promieniowania nie pokrywa zapotrzebowania na energię zużywaną w procesie parowania wody opadowej, pewna ilość wody pozostaje w stanie ciekłym, a klimat jest wilgotny.

Kędziora (1995) przedstawia podobnie zdefiniowany „wskaźnik wilgotności klimatu  $W1$ ”, który jest odwrotnością radiacyjnego wskaźnika suchości:  $W1 = 1/RIA$ . Wskaźnik RIA Budyki prezentują też Kossowska-Cezak i Bajkiewicz-Grabowska (2008). Nie ma jednak dotąd charakterystyk klimatu Polski na podstawie wskaźnika suchości klimatu według Budyki.

Formacje roślinności leśnej na Ziemi występują w klimatach wilgotnych, w których radiacyjny wskaźnik suchości przyjmuje wartości z przedziału  $1/3 < RIA < 1,0$ , stepom natomiast odpowiada klimat półsuchy, w którym wskaźnik ma wartości  $1,0 < RIA < 2,0$ . Budyko (1975) podaje, że najkorzystniejsze higryczne warunki wegetacji zapewnia klimat, charakteryzujący się wartościami  $0,8 < RIA < 1,0$ . Analiza zależności między roczną wielkością produkcji pierwotnej netto (PPN) i klimatem pozwala także przyjąć, że maksimum PPN odpowiada wartości  $RIA = 0,8$  (Budyko 1975).

Wartość radiacyjnego wskaźnika suchości  $RIA = 0,8$  stanowi zatem optymalną dla wegetacji relację między saldem promieniowania i opadami atmosferycznymi. Przy danym saldzie promieniowania ( $R_n$ ) istnieje więc pewna suma opadów rocznych  $P_a$ , która spełnia warunek  $RIA = 0,8$ . Jest to najkorzystniejsza, tzn. optymalna wysokość opadu ( $P_{opt}$ ). Z kolei sumę opadów, spełnia-

jącą warunek  $RIA = 1$ , nazwać można krytyczną wysokością opadów ( $P_{cr}$ ), która określa granicę optymalnej i niedostatecznej wilgotności klimatu.

Celem niniejszego artykułu jest ocena wysokości opadów w Polsce według kryteriów, wynikających z charakterystyki stopnia suchości klimatu na podstawie wartości RIA. Obserwowane na obszarze Polski sumy opadów porównano z wartościami opadów optymalnych i opadów krytycznych. Określono także korelację średnich rocznych przyrostów biomasy w krainach i mezoregionach przyrodniczo-leśnych Polski (Trampler i in. 1990) z sumami opadów i wartościami wskaźnika suchości klimatu RIA.

Wykorzystanie wskaźnika RIA stanowi jeszcze jedną próbę oceny higroklimatycznych warunków wegetacji roślin w Polsce, stanowiącą uzupełnienie znanych od dawna ocen, wynikających z estymacji klimatycznego bilansu wodnego (Rojek 1994, Rojek, Wiercioch 1995, Bac, Rojek 1999) oraz charakterystyk warunków wilgotnościowych na podstawie takich wskaźników klimatu, jak indeks CVP Patersona (Kozuchowski 1971), hydrotermiczny indeks Sieljaninowa i kryterium Köppena (Ilnicki i in. 2012),

## 2. Materiały źródłowe

Analizę stopnia suchości klimatu przeprowadzono na podstawie publikowanych danych klimatologicznych (Chomicz 1977, Miara i in. 1987, Kozyra 2006). Wykorzystano średnie wartości salda promieniowania, opadów i wskaźnika suchości klimatu dla całego obszaru Polski nizinnej (<300 m n.p.m.). Wykonano także próbę określenia przestrzennego zróżnicowania opadów optymalnych i opadów krytycznych na obszarze Polski.

Bezpośrednie pomiary składników bilansu radiacyjnego, w tym zwłaszcza salda promieniowania, realizowane są w Polsce w niewielu punktach pomiarowych. Tworzą one na ogół krótkie serie danych wynikowych, a ponadto pomiary te dotyczą zwykle specyficznych rodzajów powierzchni czynnej: miasta, trawnika, ugoru itp. I tak na przykład Fortuniak (2010) na podstawie 3-letniej serii pomiarów w Łodzi określił średnią wartość salda promieniowania na 4,9 MJ/m<sup>2</sup>doła, Budzik (2006) podaje dla Sosnowca średnią 5-letnią wartość salda promieniowania 4,5 MJ/m<sup>2</sup>doła, Bryś (2009) ustaliła natomiast saldo promieniowania powierzchni trawiastej we Wrocławiu równe 5,02 i powierzchni ugoru – 4,83 MJ/m<sup>2</sup>doła.

Ogólniejsze oceny salda promieniowania na obszarze Polski określone zostały na podstawie równań empirycznych, w których argumentami są: temperatura,

ciśnienie pary wodnej, usłonecznienie i zachmurzenie. Są to równania Blacka i Brunta, które wykorzystywali Miara i in. (1987), Kędziora i Tamulewicz (1990), Paszyński i in. (1995), Paszczyk (1998) i in.; przedstawiono je w podręczniku Kędziory (1995). Współczynniki empiryczne tych równań bywały zmieniane, a wyniki ocen składników bilansu promieniowania odpowiednio poprawiane, o czym wspominają Miara i in. (1987), podając, że na przykład średnie saldo promieniowania zostało obniżone o wartość 0,48 MJ/m<sup>2</sup>doba w porównaniu z wynikami, opublikowanymi w Atlasie bilansu promieniowania (Paszyński 1966) Stąd też zapewne biorą się pewne rozbieżności w publikowanych ocenach salda promieniowania dla obszaru Polski.

Z danych opublikowanych przez Kozłowską-Szczęsną (1973) wynika, że saldo promieniowania w Polsce wynosi średnio 3,79 MJ/m<sup>2</sup>doba. Martyn (2000) podaje, że wartości salda zmieniają się na obszarze Polski od 3,44 do 4,59, zaś Paszyński i Niedźwiedz (1991),

że zawierają się w przedziale od 3,2 do 4,0 MJ/m<sup>2</sup>do-  
ba. Średnia salda, określona dla obszaru Wielkopolski przez Kędziorę i Tamulewicza (1990) wynosi 3,89 MJ/m<sup>2</sup>do-  
ba. Taka sama wartość została przytoczona przez Wosia (1994) oraz przez Kędziorę (1995), który ponadto podał średnie wartości salda dla obszarów leśnych: 4,06–4,32 MJ/m<sup>2</sup>do-  
ba. Paszczyk (1998) obliczył średnie saldo promieniowania dla obszaru dorzecza Bystrzycy Lubelskiej, które według tego autora równe jest wartości 3,64 MJ/m<sup>2</sup>do-  
ba. Najobszerniejsze dane o bilansie promieniowania na obszarze Polski opublikowali Miara i in. (1987). Średnia krajowa wartość salda promieniowania powierzchni trawiastej w okresie 1956–1975 wynosiła według tych badaczy 3,68 MJ/m<sup>2</sup>do-  
ba. Najmniejsza wartość została zidentyfikowana w Iwoniczu (3,22), największe w Kołobrzegu (4,03) i w Puławach (4,01 MJ/m<sup>2</sup>do-  
ba). W okresie wegetacyjnym średnie saldo promieniowania na obszarze Polski wynosiło 7,05 MJ/m<sup>2</sup>do-  
ba.

Tab. 1. Średnie roczne saldo promieniowania ( $R_n$ ) (wg Miara i in., 1987), radiacyjny wskaźnik suchości klimatu (RIA), suma roczna opadów ( $P_a$ ), wysokość rocznych opadów optymalnych ( $P_{opt}$ ) i opadów krytycznych ( $P_{cr}$ ) w wybranych miejscowościach Polski  
Tab. 1. Annual average of net radiation ( $R_n$ ) (acc. to Miara et al., 1987), radiant index of climate aridity (RIA), annual precipitation total ( $P_a$ ), annual value of precipitation optimum ( $P_{opt}$ ), annual value of critical precipitation ( $P_{cr}$ ) in selected places in Poland

Stacja $\varphi$ – szerokość geogr. [N°,'] $\lambda$ – długość geogr. [E°,'] Station $\varphi$ – latitude [N°,'] $\lambda$ – longitude [E°,']	$R_n$ MJ/m <sup>2</sup>	RIA	$P_a$ mm	$P_{opt}$ mm	$P_{cr}$ mm
Hel ( $\varphi=54\ 36\ \lambda=18\ 49$ )	1322	0,94	567	666	533
Ustka ( $\varphi=54\ 35\ \lambda=16\ 52$ )	1348	0,79	692	673	543
Gdynia ( $\varphi=54\ 31\ \lambda=18\ 34$ )	1421	1,01	566	716	573
Kołobrzeg ( $\varphi=54\ 11\ \lambda=15\ 35$ )	1472	0,93	640	741	593
Suwałki ( $\varphi=54\ 06\ \lambda=22\ 57$ )	1403	0,97	581	707	566
Chojnice ( $\varphi=53\ 42\ \lambda=17\ 33$ )	1406	0,98	580	709	567
Prabuty ( $\varphi=53\ 41\ \lambda=19\ 13$ )	1216	0,82	598	613	490
Bydgoszcz ( $\varphi=53\ 07\ \lambda=17\ 58$ )	1355	1,07	509	683	546
Białystok ( $\varphi=53\ 07\ \lambda=23\ 11$ )	1351	0,93	587	681	545
Gorzów Wlkp. ( $\varphi=52\ 44\ \lambda=15\ 15$ )	1319	0,95	562	703	532
Białowieża ( $\varphi=52\ 42\ \lambda=23\ 51$ )	1326	0,89	600	668	535
Legionowo ( $\varphi=52\ 24\ \lambda=20\ 58$ )	1322	1,10	483	666	533
Warszawa ( $\varphi=52\ 17\ \lambda=20\ 58$ )	1414	1,07	532	712	570
Kórnik ( $\varphi=52\ 15\ \lambda=17\ 06$ )	1315	1,03	517	663	530
Łódź ( $\varphi=51\ 44\ \lambda=19\ 24$ )	1344	0,98	552	677	542
Spała ( $\varphi=51\ 32\ \lambda=20\ 08$ )	1351•	0,80	627	681	545
Puławy ( $\varphi=51\ 25\ \lambda=21\ 58$ )	1465	1,07	550	738	591
Wieluń ( $\varphi=51\ 13\ \lambda=18\ 35$ )	1406	0,94	606	709	567
Opole ( $\varphi=50\ 40\ \lambda=17\ 58$ )	1289	0,85	611	650	520
Skroniów ( $\varphi=50\ 38\ \lambda=20\ 16$ )	1381	0,96	582	696	557
Polanica ( $\varphi=50\ 24\ \lambda=16\ 30$ )	1355	0,76	720	683	546
Kraków ( $\varphi=50\ 05\ \lambda=19\ 59$ )	1304	0,73	718	657	526
Iwonicz ( $\varphi=49\ 34\ \lambda=21\ 28$ )	1176	0,54	881	593	474

• – Wartość interpolowana/Value interpolated

Średnie wartości salda promieniowania, zawarte w pracy Miary i in. (1987), zostały w niniejszym opracowaniu wykorzystane do oceny indeksu stopnia suchości klimatu oraz wielkości opadów krytycznych i optymalnych. Jest to jak dotąd najszerszy materiał opisujący zróżnicowanie przestrzenne przychodów energii promieniowania na obszarze Polski. Niestety roczne wartości salda promieniowania określono w cytowanej pracy tylko dla 24 stacji meteorologicznych, rozrzuconych w różnych regionach kraju, głównie jednak w części centralnej (zob. tab. 1). Dlatego więc otrzymane obrazy zróżnicowania przestrzennego opadów optymalnych i opadów krytycznych mają jedynie orientacyjny charakter; nawiązują one w dużym stopniu do przebiegu izolinii salda promieniowania, przedstawionych w pracach Miary i in. (1987) oraz Paszyńskiego i Niedźwiedzia (1991). Są one też dość wyraźnie skorelowane z rozkładem insolacji w Polsce, który został określony już przez Mackiewicz (1953) i w znacznym stopniu potwierdzony na mapie całkowitego promieniowania słonecznego w *Atlasie klimatu Polski* (Lorenc 2005).

Do oceny wskaźnika suchości klimatu RIA wykorzystano średnie roczne sumy opadów z okresu 1951–1970, zawarte w pracy Chomicza (1977). Z konieczności uznano, że różnice, wynikające z wykorzystania niepełnie synchronicznych serii danych o promieniowaniu (1956–1975) i opadach (1951–1970) nie powinny wpłynąć na ogólny obraz wyników.

Średnie roczne sumy opadów na obszarze Polski (tzw. średnie obszarowe, krajowe) przyjmują wartości bliskie 600 mm. Jokiel i Kożuchowski (1989) podali średnią wysokość opadów rocznych w Polsce w okresie 1901–1980 jako równą 605(+/-8) mm. Zawora i in. (2000/2001) obliczyli średnią z wielolecia 1891–1990 równą 601 mm, w okresie 1951–1970 średnia krajowa suma opadów była równa 606 mm. Zawora i Ziernicka (2003) podali średnie 30-letnie z okresów po 1891 r. jako zmieniające się od 600 do 604 mm. Kożuchowski i Żmudzka (2003) ustalili średnią 50-letnią opadów wynoszącą 590 mm.

Uśrednione powierzchniowo wartości elementów klimatu mają tę zaletę, że pozwalają na uzyskanie zgeneralizowanej miary warunków klimatycznych danego obszaru, która ignoruje lokalne uwarunkowania, widoczne zwykle w danych z poszczególnych stacji meteorologicznych. Wartości średnich powierzchniowych są jednak także wynikiem sposobu uśredniania; zależą one od liczby uwzględnionych punktów pomiarowych i ich rozmieszczenia, długości serii obserwacji itd. Dlatego też do oceny średnich krajowych sum opadów i średnich wartości wskaźnika RIA wykorzystano optymalnie określoną przez Kozyrę (2006) stuletnią wysokość

opadów na obszarze Polski nizinnej (obszar poniżej 300 m n.p.m.), wynoszącą 592 mm. Została ona tu wybrana jako „norma” średniej wysokości opadów rocznych dla nizinnej części Polski (zob. tab. 2).

Tab. 2. Średnie roczne wartości dla obszaru Polski nizinnej (<300 m n.p.m.): suma opadów ( $P_a$ ), saldo promieniowania ( $R_n$ ), radiacyjny wskaźnik suchości klimatu (RIA), opady krytyczne ( $P_{cr}$ ) i opady optymalne ( $P_{opt}$ )

Tab. 2. Averaged annual values for Polish lowlands (<300 m a.s.l.): precipitation total ( $P_a$ ), net radiation ( $R_n$ ), radiant index of climate aridity (RIA) and the critical value of precipitation total ( $P_{cr}$ ) and the optimum of precipitation total ( $P_{opt}$ ).

Miara <i>Measure</i>	Wartość <i>Value</i>	Jednostka <i>Unit</i>
$P_a$	592	mm
$R_n$	3,68	MJ/m <sup>2</sup> doba
	1344,1	MJ/m <sup>2</sup> rok
RIA	0,92	–
$P_{cr}$	542	mm
$P_{opt}$	677	mm
$P_a - P_{cr}$	+50	mm
	+9,2	% ( $P_{cr}$ )
$P_a - P_{opt}$	-85	mm
	-12,6	% ( $P_{opt}$ )

### 3. Wskaźnik suchości klimatu

Na obszarze Polski wyróżnia się strefa względnie suchego klimatu, któremu odpowiadają wartości  $RIA > 1$ . Najwyższą wartość wskaźnika (1,10) zidentyfikowano w Legionowie (Kotlina Warszawska), wskaźniki  $RIA = 1,07$  – w Puławach, Warszawie i Bydgoszczy (tab. 1). Można uznać, że sucha strefa ciągnie się z południowego wschodu, od Lubelszczyzny przez Mazowsze i Kujawy po Wielkopolskę; obserwowane opady są tam mniejsze od wartości krytycznej (zob. rys. 1). Ponadto względnie sucha jest także część Wybrzeża Gdańskiego, bo w Gdyni  $RIA = 1,01$ .

Pozostała część Polski charakteryzuje się warunkami sprzyjającymi kształtowaniu się klimatu wilgotnego i ma wartości wskaźnika  $RIA < 1$ . Najwilgotniejsza jest południowa część kraju – góry i pogórza, gdzie wartości  $RIA$  zbliżają się do poziomu 0,5. Na północy i na zachodzie wskaźnik suchości zmienia się w granicach od 0,8 do 1,0, czyli określa korzystne dla roślinności warunki higroklimatyczne.

Średnia wartość wskaźnika suchości klimatu Polski (RIA), określona na podstawie średniej krajowej wartości salda promieniowania i średniej krajowej sumy rocznych opadów, wynosi 0,92. Mamy więc do czynienia

nia z klimatem wilgotnym ( $RIA < 1$ ), ale też i nieco „za suchym” ze względu na radiacyjno-higryczne warunki dla roślinności, której produkcja osiąga maksimum przy wartościach  $RIA$  około 0,8.

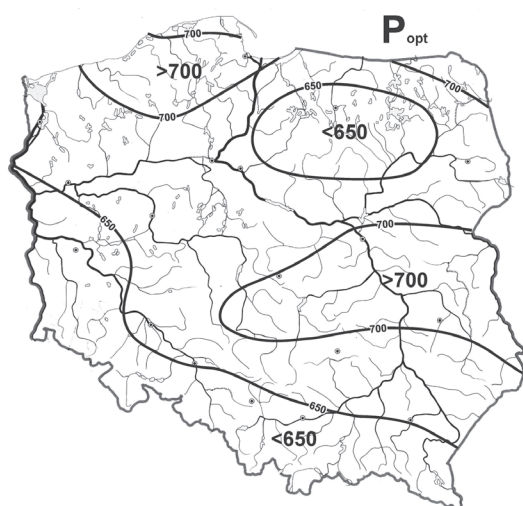
Krytyczna wysokość średniej rocznej sumy opadów na obszarze Polski wynosi 542 mm, wysokość optymalna – 677 mm. Obserwowana średnia suma opadów na obszarze kraju jest więc tylko o 9% wyższa od krytycznej wysokości opadów i prawie o 13% niższa od wysokości optymalnej (tab. 2).

#### 4. Optymalne, krytyczne i minimalne sumy opadów

Optymalne i krytyczne sumy opadów przyjmują wartości odpowiadające obserwowanym wartościom salda promieniowania: najwyższą wysokość opadów optymalnych znaleziono w Kołobrzegu (741 mm), najniższą – w Iwoniczu (593 mm). Wartości krytyczne wynoszą odpowiednio 593 i 474 mm (tab. 1).

Na rys. 1 przedstawiono przybliżony obraz zróżnicowania optymalnych sum opadów na obszarze Polski. Od wschodnich granic kraju przez południową część Mazowsza aż do południowej Wielkopolski rozciąga się strefa opadów optymalnych  $P_{opt} > 700$  mm. Podobnej wysokości opady optymalne charakteryzują także część Polski Północnej. Na Mazurach oraz w południowej i południowo-zachodniej części kraju opady optymalne są mniejsze od 650 mm.

W środkowej i środkowo-wschodniej Polsce, gdzie wskaźnik suchości  $RIA > 1$ , obserwowane średnie sumy opadów stanowią zaledwie 3/4 sum optymalnych i 91–98% sum krytycznych opadu (rys. 2). W Legionowie



Rys. 1. Optymalne wysokości rocznych sum opadów ( $P_{opt}$ , mm) na obszarze Polski

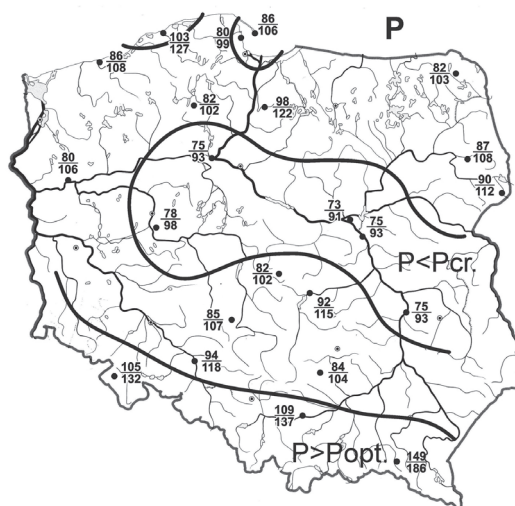
Fig. 2. Optimum values of annual precipitation totals ( $P_{opt}$ , mm) in the area of Poland

niedobór opadu  $P_a - P_{opt}$  sięga -183 mm, w Puławach -188 mm, w Bydgoszczy -174 mm, w Kórniku k. Poznania -146 mm. Opady w Legionowie są mniejsze od wartości krytycznej o 50 mm, w Puławach o 41 mm, w Bydgoszczy o 37 mm, w Kórniku o 13 mm.

Niedobory opadowe  $P_a - P_{cr}$  przyjmują wartości bliskie wartościom klimatycznego bilansu wodnego, który w skali rocznej na Mazowszu i w Wielkopolsce wynosi około -50 mm. Warto zauważyć zbieżność położenia strefy niedoborów opadowych (rys. 2) i strefy deficytu klimatycznego bilansu wodnego (Rojek 2001): obie rozciągają się od wschodnich granic kraju, obejmując Mazowsze i Wielkopolskę, a ich „mazowiecka” część jest co najmniej tak samo rozległa i sucha jak część „wielkopolska”. Ze względu na warunki klimatyczne zagrożenie stepowaniem na Mazowszu nie jest więc mniejsze niż w Wielkopolsce.

Rzeczywiste opady większe od sum krytycznych i optymalnych ( $P_a > P_{opt} > P_{cr}$ ) obserwowane są w górach i w części Wybrzeża. W pozostałej części kraju obserwowane opady są wyższe od sum krytycznych, ale też nieco niższe niż sumy optymalne (rys. 2).

Opady, podobnie jak i inne elementy klimatu, podlegają ustawicznej zmienności z roku na rok; ze względu na warunki roślinności w Polsce szczególnie istotne są ujemne odchylenia od „norm opadowych”, które – jak wykazano – oznaczają i tak niedostateczne uwilgocenie dla przeważającej części kraju. Podjęto próbę wskazania obszarów występowania najniższych sum opadów rocznych.



Rys. 2. Średnie sumy obserwowanych opadów rocznych ( $P$ ) w procentach sumy opadów optymalnych ( $P_{opt}$  – górna liczba) i opadów krytycznych ( $P_{cr}$  – dolna liczba) w Polsce

Fig. 2. Averages of the observed precipitation totals ( $P$ ) in percents of the optimum ( $P_{opt}$  – number above) and the critical totals ( $P_{cr}$  – lower number) of precipitation in Poland

Najniższe notowane roczne sumy opadów w Polsce przyjmują wartości  $<300$  mm. Największą koncentracją występowania minimów opadowych cechują się Wielkopolska, Kujawy oraz północna część Mazowsza. Przykładowo, w Czernikowie (Kujawsko-Pomorskie) minimum wynosiło 210 mm, w Unisławiu (jw.) 250 mm, w Przasnyszu (Mazowieckie) 252 mm (Chomicz 1977), w Poznaniu – 275 mm (Woś 2010). Opady poniżej 300 mm stanowią zaledwie połowę sumy opadów krytycznych, przy założeniu, że w suchych latach saldo promieniowania pozostaje stałe.

Minima opadowe zdefiniowano na podstawie średnich wieloletnich oraz skrajnych wysokości opadów rocznych: przyjęto próg 500 mm dla sum średnich ( $P_{sr}$ ) i próg 300 mm dla skrajnych, najniższych sum rocznych ( $P_{min}$ ). Przyjęte progi dla sum średnich i rocznych w przybliżeniu odpowiadają zależności, która zachodzi między minimalnymi i średnimi sumami opadów:  $P_{min} = 0,72 P_{sr} - 55,1$  (Kožuchowski 1985). Wykorzystując materiały Chomicza (1977), który przedstawił dane z okresu 1951–1970 dla 764 posterunków pomiarowych, zidentyfikowano 45 miejscowości, w których wystąpiły opady średnie, mniejsze od 500 mm lub roczne opady mniejsze od 300 mm

Minima opadowe występują w rozległym pasie ciągnącym się od Niziny Szczecińskiej do Polesia Lubelskiego. Najdalej na zachód wysuniętą stacją, która odnotowała średnie opady roczne  $P_{sr} < 500$  mm był Stargard



Rys. 3. Miejscowości, w których wystąpiły średnie sumy opadów rocznych  $P_a < 500$  mm i/lub najniższe roczne sumy opadów  $P_{min} < 300$  mm (wg Chomicz 1977, dane z okresu 1951–1970)

Fig. 3. Places where the means of precipitation totals  $P_a < 500$  mm and/or minima of annual precipitation totals  $P_{min} < 300$  mm occurred (acc. to Chomicz, 1977, data from the period of 1951–1970)

Szczeciński (499 mm). Najdalej na wschodzie opady  $P_{sr} < 500$  mm stwierdzono w Tucznej n. Bugiem (479 mm). Południkową rozciągłość pasa występowania minimów opadowych reprezentują Wieruszów w Wielkopolsce (opad roczny  $P_{min} = 296$  mm) i Świbno przy ujściu Wisły (suma roczna  $P_{min} = 295$  mm). Najniższe średnie sumy rocznych opadów i najniższe minima roczne występują w regionie Kujaw: w Brześciu Kujawskim średnia suma wynosi 433 mm, w Czernikowie odnotowano opad roczny  $P_{min} = 210$  mm (rys. 3). Niskie opady pojawiać się też mogą na wschodnich peryferiach kraju, w Zamościu na przykład odnotowano opad roczny bliski progowi  $P_{min}$  (301 mm), we Frankopolu n. Bugiem – zaledwie 285 mm. Warto podkreślić, że minima opadowe notowane we wschodniej części suchego pasa, biegnącego przez środkową Polskę, stanowią większe zagrożenie dla roślinności ze względu na panujące tam wyższe wartości salda promieniowania niż w części zachodniej.

## 5. Warunki higroklimacyjne a przyrosty biomasy

Warunki higryczne są w polskim klimacie istotnym czynnikiem warunkującym roślinność i produkcję pierwotną, a więc zarazem przyrosty masy drzewnej w lasach. Istnieje wyraźna korelacja średnich rocznych przyrostów grubizny (G) i przyrostów biomasy (B) w krainach przyrodniczo-leśnych Polski (Trampler i in. 1990) z panującymi na ich obszarze warunkami higroklimacyjnymi, które określają średnie sumy opadów rocznych ( $P_a$ ) oraz średnie wartości wskaźnika suchości klimatu (RIA) (tab. 3).

Kraina Wielkopolsko-Pomorska (III) odznacza się najniższymi wartościami przyrostów G i B; ma też najniższą sumę opadów  $P_a = 540$  mm, bliską wartości opadu krytycznego ( $P_{cr}$ ) i mniejszą o ponad 20% od opadu optymalnego ( $P_{opt}$ ). Wskaźnik suchości w krainie III przyjmuje wartość  $RIA > 1$ . Podobne charakterystyki dotyczą Krainy Mazowiecko-Podlaskiej (IV), przy czym warto zauważyć, że wskaźnik suchości klimatu RIA jest tam nieco wyższy od wskaźnika w krainie III, a opady – wyraźnie niższe od wartości krytycznej. Z drugiej strony mamy krainy górskie – Sudecką (VII) i Karpacką (VIII), w których opady są wyższe od wartości optymalnej, zaś przyrosty G i B – najwyższe w kraju.

Współczynnik korelacji rangowej średnich rocznych przyrostów biomasy ze średnimi sumami opadów w krainach przyrodniczo-leśnych Polski wynosi 0,93, z wartościami radiacyjnego wskaźnika suchości klimatu -0,90. Współczynniki korelacji rangowej rocznych przyrostów grubizny wynoszą odpowiednio 0,88 i -0,86.

Analiza regresji wykazuje, że krytycznej wartości średnich opadów w Polsce (542 mm) odpowiadają rocz-

ne przyrosty biomasy  $B = 3,38$  t/ha i przyrosty grubizny  $G = 5,97$  m<sup>3</sup>/ha. Średniej wysokości opadu optymalnego (677 mm) odpowiadają przyrosty biomasy  $B = 4,14$  t/ha i przyrosty grubizny  $G = 7,14$  m<sup>3</sup>/ha. Można w przybliżeniu ocenić, że przyrost opadu o 100 mm oznacza powiększenie rocznych przyrostów biomasy o prawie 1 t/ha i przyrostów grubizny o około 1 m<sup>3</sup>/ha.

Zanalizowano także związki między przyrostami biomasy, przyrostami grubizny i opadami oraz wskaźnikiem suchości w mezoregionach przyrodniczo-leśnych (Trampler i in., 1990). Uwzględniono 18 mezoregionów, reprezentowanych przez stacje meteorologiczne, wyszczególnione w tabeli 3. Współczynniki korelacji rangowej, określone na podstawie tej próby, są nieco słabsze od wymienionych wyżej współczynników, obliczonych na podstawie danych, charakteryzujących krainy przyrodniczo-leśne, niemniej jednak potwierdzają one pozytywny wpływ wysokości opadów i negatywny wpływ stopnia suchości klimatu na przyrosty biomasy i przyrosty grubizny w skali mezoregionów. Współczynniki korelacji zestawiono w tabeli 4. Warto zwrócić uwagę, że w przypadku mezoregionów związki korelacyjne przyrostów B i G ze wskaźnikiem RIA okazują się silniejsze od związków z opadami.

Tab. 3. Przyrosty roczne grubizny (G) i biomasy (B) (wg Trampler i in. 1990), średnie roczne sumy opadów ( $P_a$ ), wskaźniki suchości klimatu (RIA) oraz wysokości opadów optymalnych ( $P_{opt}$ ) i krytycznych ( $P_{cr}$ ) w krainach przyrodniczo-leśnych Polski

Tab. 3. Annual production of wood matter (G) and biomass (B) (acc. to Trampler at al. 1990), averages of annual precipitation totals ( $P_a$ ), indexes of climate aridity (RIA) and averages of optimum ( $P_{opt}$ ) and critical values of precipitation ( $P_{cr}$ ) in the natural wood regions in Poland

Kraina Region	G m <sup>3</sup> /ha	B t/ha	$P_a$ mm	RIA	$P_{opt}$ mm	$P_{cr}$ mm
Bałtycka I	6,3	4,1	616+	0,886	682	546
Mazursko- Podlaska II	7,1	3,8	587+	0,902	662	530
Wielkopol- sko-Pomor- ska III	5,3	3,2	540-	1,004	678	542
Mazowiecko- -Podlaska IV	5,8	3,6	545-	1,016	692	554
Śląska V	7,2	4,3	629+	0,822	647	517
Małopolska VI	6,9	4,0	633++	0,777	615	492
Sudecka VII	8,6	5,4	930++	0,589	685	548
Karpacka VIII	10,0	6,3	949++	0,546	648	518

+ +  $P_a > P_{opt}$  +  $P_a > P_{cr}$  -  $P_a < P_{cr}$

## 6. Podsumowanie

Radiacyjny wskaźnik suchości klimatu (RIA) wykazuje, że średnie sumy opadów na obszarze Polski nizinnej są mniejsze od opadów zapewniających optymalne warunki wegetacji. Strefa największych deficytów wilgoci ciągnie się od Wielkopolski i Kujaw aż do wschodnich granic kraju. W niektórych jej częściach wskaźnik suchości klimatu przyjmuje wartości  $RIA > 1$ , charakterystyczne dla klimatów suchych – „stepowych”. W tym kontekście przedstawiona w pracy P. Ilnickiego i in. (2012) teza, że „wskaźniki (klimatu Wielkopolski) nie potwierdzają występowania klimatu stepowego” może budzić wątpliwości.

Przedstawione w niniejszej pracy oceny warunków higroklimatycznych wegetacji na podstawie wskaźnika suchości Budyki (RIA) odnoszą się do ekosystemów wilgotnych, tzw. ewaporacyjnych, w których przychody energii promieniowania w całości zużywane są w procesie ewapotranspiracji. Wykazano, że w większej części kraju ekosystemy takie egzystują w warunkach klimatycznego niedoboru wilgoci. Przyrosty biomasy w lasach na obszarze Polski, zgodnie z ekologicznym „prawem minimum”, charakteryzuje pozytywna korelacja z wysokością opadów i negatywna – ze stopniem suchości klimatu.

Oceny wskaźnika suchości klimatu Polski wykonano z wykorzystaniem danych klimatycznych sprzed kilkudziesięciu lat ze względu na brak nowszych danych o bilansie promieniowania. Od tamtych lat nastąpił bezspornie istotny wzrost temperatury w Polsce (Kozuchowski 2004, 2011). Pewnym zmianom uległy również opady. Zawora i Ziernicka (2003) przedstawili znamienny rozkład wieloletnich (1891–2000) trendów opadowych na obszarze Polski: opady w północnej

Tab. 4. Współczynniki korelacji rangowej rocznych przyrostów biomasy (B) i rocznych przyrostów grubizny (G) w krainach i w mezoregionach przyrodniczo-leśnych (wg Trampler i in. 1990) z opadami ( $P_a$ ) i wartościami wskaźnika suchości klimatu (RIA)

Tab. 4. The rank correlation coefficients between annual biomass (B) and wood matter (G) production (acc. to Trampler at al. 1990) in wood regions and subregions in Poland and the annual precipitation totals ( $P_a$ ) and the index of climate aridity (RIA)

Próbka, liczebność Sample, Number of items	Krainy, n = 8 Regions, n = 8		Mezoregiony, n = 18 Subregions, n = 18	
	$P_a$	RIA	$P_a$	RIA
B	0,93	-0,90	0,62	-0,70
G	0,88	-0,86	0,68	-0,72

Polsce wykazywały tendencję zwyżkową, natomiast w pasie dzielnic środkowych – zmniejszyły się. Można więc sądzić, że ocieplenie przyczynia się do zaostrzenia deficytów wilgoci w i tak już suchej strefie na obszarze Polski Środkowej (i środkowo-wschodniej!), bo oprócz malejącej tendencji zmian opadów następuje tam również wzrost temperatury, który skutkuje przyrostem ewapotranspiracji.

## 7. Literatura

- Bac S., Rojek M., 1999:** *Meteorologia i klimatologia w inżynierii środowiska*. Wyd. Akademii Rolniczej, Wrocław, 314.
- Bryś K., 2009:** *Zmiany bilansu promieniowania powierzchni bez roślin i pokrytej trawą we Wrocławiu – Sojcu*. Acta Agrophysica, 14(2): 287–302.
- Budyko M.I., 1975:** *Klimat i życie*. PWN, Warszawa, 527.
- Budzik T., 2006:** *Pomiary promieniowania krótkofalowego i długofalowego w Sosnowcu w latach 2000–2005 z wykorzystaniem bilansomierza CNRI*. Annales UMCS, LXI, 11, sec. B, 100–106.
- Chomicz K., 1977:** *Materiały do poznania agroklimatu Polski*. Wyd. Komitetu Melioracji PAN, Warszawa, 296.
- Fortuniak K., 2010:** *Radiacyjne i turbulencyjne składniki bilansu cieplnego terenów zurbanizowanych na przykładzie Łodzi*. Wyd. UŁ, Łódź, 232.
- Ilnicki P., Farat R., Górecki K., Lewandowski P., 2012:** *Mit stepowienia Wielkopolski w świetle wieloletnich badań obiegu wody*. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego, Poznań, 400.
- Jokiel P., Kożuchowski K., 1989:** *Zmiany wybranych charakterystyk hydroklimatycznych Polski w bieżącym stuleciu*. Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, 94.
- Kędziora A., 1995:** *Podstawy agrometeorologii*. PWRiL, Poznań, ss. 264.
- Kędziora A., Tamulewicz J., 1990:** *Bilans cieplny*. W: L. Ryszkowski, J. Marcinek, A. Kędziora (red.) *Obieg wody i bariery biogeochemiczne w krajobrazie rolniczym*. Wyd. Naukowe UAM, Poznań, 47–57.
- Kossowska-Cezak U., Bajkiewicz-Grabowska E., 2008:** *Podstawy hydrometeorologii*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 253.
- Kozłowska-Szczęśna T., 1973:** *Promieniowanie pochłonięte na obszarze Polski*. Prace Geograficzne IG PAN, 99, 119.
- Kozyra J., 2006:** *Zastosowanie modelu agroklimatu Polski (MAP) do tworzenia numerycznych map opadów atmosferycznych w Polsce*. W: K. Migąła, Ropuszyński P. (red.) *Współczesna meteorologia i klimatologia w geografii i ochronie środowiska*. Wrocław, 69–76.
- Kożuchowski K., 1971:** *Bioklimat w świetle wskaźnika przyrostu masy roślinnej*. Przegl. Geofiz., XVI (XIV), 3: 225–234.
- Kożuchowski K., 1985:** *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w stuleciu 1881–1980*. Acta Geographica Lodziensia, 48: 158.
- Kożuchowski K. (red.), 2004:** *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*. UŁ, Łódź, 174.
- Kożuchowski K., 2011:** *Klimat Polski. Nowe spojrzenie*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 296.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2003:** *100-Year Series of Areally Averaged Temperatures and Precipitation Totals in Poland*. Acta Universitatis Wratislaviensis, 2542, Studia Geograficzne 75: 116–122.
- Lambor J., 1954:** *Stepowienie środkowych obszarów Polski*. Prace PIHM, 34: 48.
- Lorenc H. (red.), 2005:** *Atlas klimatu Polski*. Wyd. IMiGW, Warszawa, 116.
- Mackiewicz M., 1953:** *Rozkład przestrzenny insolacji w Polsce*. Przegl. Meteorol. i Hydrol., IV, 1–2, 5–15.
- Martyn D., 2000:** *Klimaty kuli ziemskiej*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 260.
- Miara K., Paszyński J., Grzybowski J., 1987:** *Zróżnicowanie przestrzenne bilansu promieniowania na obszarze Polski*. Przegl. Geograf., LIXC, 4: 487–509.
- Paszczyk J., 1998:** *Próba oceny bilansu promieniowania i wymiany ciepła w zlewni Bystrzycy Lubelskiej*. W: M. Nowosad (red.) *Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego*. Wyd. UMCS, Lublin, 95–100.
- Paszyński J. (red.), 1966:** *Atlas bilansu promieniowania w Polsce*. Dokumentacja Geograficzna, 4.
- Paszyński J., Niedźwiedź T., 1991:** *Klimat*. W: L. Starkel (red.) *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 296–355.
- Paszyński J., Kędziora A., Tuchółka S., Kapuściński J., Olejnik J., 1995:** *Wpływ rodzaju powierzchni czynnej na strukturę bilansu cieplnego*. W: B. Krawczyk, K. Błażejczyk, (red.) *Współczesne badania klimatologiczne*. Conf. Papers, 23, IGiPZ PAN, Warszawa, 69–92.
- Rojek M., 1994:** *Rozkład przestrzenny klimatycznych bilansów wodnych na terenie Polski w okresie 1951–1990*. Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu,



- Rojek M., Wiercioch T., 1995:** *Zmienność czasowa i przestrzenne parowania wskaźnikowego, ewapotranspiracji aktualnej i niedoborów opadowych w Polsce nizinnej w okresie 1951–1990*. Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, Monografie VI, 238: 51.
- Rojek M., 2001:** *Klimatyczny bilans wodny Polski w okresie 1961–1995*. Plansza 27. W: C. Koźmiński, B. Michalska (red.). Atlas klimatyczny ryzyka uprawy roślin w Polsce. AR i USz, Szczecin.
- Schmuck A., 1959:** *Zarys klimatologii Polski*. PWN, Warszawa, 160.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A., 1990:** *Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych*. PWRiL, Warszawa, 160.
- Trojan P., 1985:** *Bioklimatologia ekologiczna*. PWN, Warszawa, 255.
- White I.D., Mottershead D.N., Harrison S.J., 1992:** *Environmental systems. An introductory text*. Chapman and Hall, London, N.Y., Tokyo, Melbourne, Madras, 616.
- Woś A., 1994:** *Klimat Niziny Wielkopolskiej*. Wyd. Naukowe UAM, Poznań, 192.
- Woś A., 2010:** *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*. Wyd. Naukowe UAM, Poznań, 489.
- Zawora T., Janur E., Olszańska A., Skowera B., 2000/2001:** *Porównanie norm opadów atmosferycznych na obszarze Polski*. Annales UMCS, sec.B, LV/LVI, 46: 391-397.
- Zawora T., Ziernicka A., 2003:** *Precipitation Variability in Time in Poland in the Light of Multi-Annual Mean Values (1991–2000)*. Acta Universitatis Wratislavenensis, 2542, Studia Geograficzne 75: 123–128.

## ASSESSMENT OF HYGROCLIMATIC CONDITIONS OF VEGETATION IN POLAND

### Summary

The paper presents the evaluation of the radiant index of aridity for Poland's climate. This index is defined as the ratio of annual value of the long- and shortwave net radiation of the active surface ( $R_n$ ) to the heat energy required to vaporization of the annual precipitation total:  $RIA = R_n / LP$ , where  $L$  is vaporization heat (2.48 MJ/kg),  $P$  – precipitation total (mm) (Budyko 1975).

It has been assumed that average annual precipitation throughout Polish lowlands (<300 m a.s.l.) equals 592 mm, net radiation equals 1344 MJ/m<sup>2</sup> year, and thus  $RIA = 0.92$  (Tab. 1).

Forest ecosystems are to be found in climates where  $1/3 < RIA < 1$ . Values  $1 < RIA < 2$  correspond to steppes. The maximum of the primary net production corresponds to the index of aridity  $RIA = 0.8$ . Assuming the optimum of index for vegetation (0.8) the most favorable sum of the annual precipitation in Poland has been estimated as  $P_{opt.} = 677$  mm. The average actual precipitation is therefore 13% lower than the favorable one. The greatest deficits of precipitation (-20% of the optimum) occur in central and central-east parts of Poland. Precipitation exceeding the preferred values occurs in highlands and partly at the coast of the Baltic sea (Fig. 3). The critical value of precipitation ( $P_{cr.}$ ) has been estimated as corresponding to the aridity index  $RIA = 1.0$ . In a number of places in central parts of Poland (Wielkopolska, Kujawy, Mazovia) the average annual precipitation  $P < P_{cr.}$  has been identified.

Annual biomass ( $B$ ) and wood matter ( $G$ ) production in natural wood subregions in Poland are correlated with the precipitation totals ( $P_a$ ) and the indexes of climate aridity ( $RIA$ ) (Tab. 3).

