

Katarzyna Żyłowska, Jerzy Kozyra

*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

ZMIANY KLIMATYCZNEGO BILANSU WODNEGO OKRESU
WEGETACYJNEGO W POLSCE W LATACH 1971–2020*

Słowa kluczowe: klimatyczny bilans wodny, okres wegetacyjny, susza

Wstęp

Obserwowane zmiany warunków klimatycznych w XXI wieku mają wpływ na niemal wszystkie dziedziny działalności człowieka (3, 14, 15). Obszarem gospodarki, który w pierwszej kolejności odczuwa zachodzące zmiany jest rolnictwo, głównie ze względu na częstsze i bardziej intensywne występowanie susz. Skutkiem suszy są straty w plonach, które w modelach pogoda–plon dobrze określa wskaźnik klimatycznego bilansu wodnego (KBW) (2, 9, 10, 11, 18). Znalazł on zastosowanie w Systemie Monitoringu Suszy Rolniczej (SMSR) (<https://susza.iung.pulawy.pl/>) (6, 7).

Klimatyczny bilans wodny określa różnicę pomiędzy sumą opadu atmosferycznego a sumą ewapotranspiracji potencjalnej (ETP) (16). W trakcie prac nad SMSR odpowiednie progi KBW określające 20% zmniejszenie plonów w tych modelach zostały zróżnicowane dla czterech gatunków gleb oraz 14 gatunków roślin uprawnych, przez co stworzono matrycę decyzyjną do określenia obszarów zagrożonych suszą (6). Wskaźnik KBW był również wykorzystywany do analiz warunków suszy przez Farata (8), Rojka (22), Łabędzkiego i Bąka (16) oraz Kanecką-Geszke i Smarzyńską (12).

Opad atmosferyczny jest mierzony na wszystkich stacjach meteorologicznych, a także w posterunkach opadowych. Sieć posterunków opadowych jest bardzo do-

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.2. pt. „Kształtowanie retencji gleb jako elementu przeciwdziałania suszy rolniczej i racjonalnej gospodarki wodnej” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2023 r.

brze rozbudowana, głównie wzdłuż cieków wodnych, gdyż jej głównym zadaniem jest dostarczanie danych o wielkości opadu w kontekście zagadnień zagrożenia powodziowego. Zmienność opadu atmosferycznego w skali kraju w różnym ujęciu czasowym była szeroko opisywana w literaturze (4, 19, 23, 24, 25). Dostępność coraz to liczniejszych serii czasowych z pomiarów oraz danych satelitarnych i radarowych najprawdopodobniej przyczyni się do powstania kolejnych prac dotyczących tego elementu pogody.

Ewapotranspiracja to druga składowa KBW będąca wskaźnikiem, który nie jest bezpośrednio mierzony na stacjach meteorologicznych, a obliczany na podstawie innych elementów meteorologicznych. W zależności od wyboru metody obliczania ewapotranspiracji wykorzystywane są różne parametry zarówno zmienne, jak i stałe (1, 17). Pierwszy wzór na obliczenie wielkości parowania opublikował Penman w 1948 r. (20). W kolejnych latach wzór ten był modyfikowany, jedną z bardziej popularnych metod obliczania ewapotranspiracji opiera się na wzorze Penmana-Monteitha. Metoda ta jest zalecana do obliczeń ewapotranspiracji przez FAO. Ponieważ obie metody wykorzystują różne parametry, to wartości ewapotranspiracji obliczone dla tych samych punktów różnią się. Badania przeprowadzone przez Kasperską-Wołowicz i Łąbedzkiego (13) wykazały, że wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej liczone według Penmana są większe od wartości obliczonych metodą Penmana-Monteitha o około 80–100 mm w okresie wegetacyjnym. A zatem sam wybór metody obliczeniowej może spowodować uzyskanie różnych wyników. Zastosowanie wzoru Penmana wymaga wielu danych wejściowych, które są trudno dostępne. Grupa badaczy z IUNG-u zajmująca się określaniem wpływu pogody na roślinę podjęła próbę modyfikacji tego wzoru. W 1995 r. Doroszewski i Górski (5) opublikowali pracę, w której przedstawili wzór do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej wykorzystujący temperaturę powietrza, usłonecznienie oraz długość dnia. Ponieważ parametry wejściowe do tego wzoru są standardowo mierzone na stacjach meteorologicznych, może być on powszechnie stosowany.

Celem pracy jest analiza zmian klimatycznego bilansu wodnego na wybranych stacjach meteorologicznych w Polsce w latach 1971–2020 w okresie wegetacyjnym kwiecień–wrzesień.

Materiały i metody

W pracy zostały wykorzystane dobowe dane meteorologiczne z lat 1971–2020 dla 30 stacji meteorologicznych w Polsce (tab. 2), udostępnione przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB) na stronie <https://danepubliczne.imgw.pl>.

Dane dobowe zostały zagregowane do wartości miesięcznych (od kwietnia do września) dla średniej temperatury powietrza, sumy usłonecznienia oraz sumy opadu

atmosferycznego. Do obliczenia wielkości ewapotranspiracji potencjalnej wykorzystano wzór opublikowany przez Doroszewskiego i Górskiego (5):

$$ETP = -89,6 + 0,0621t^2 + 0,00448h^{1,66} + 9,1f$$

gdzie:

ETP – miesięczna ewapotranspiracja potencjalna (mm);

t – średnia miesięczna temperatura powietrza na wysokości 2 m nad powierzchnią gruntu (°C);

h – suma usłonecznienia miesięcznego (h);

f – długość środkowego dnia w miesiącu (h).

Przy użyciu tego wzoru wyznaczono wartości ewapotranspiracji potencjalnej w miesiącach od kwietnia do września. Na podstawie wartości miesięcznych wyznaczono następnie wartość ewapotranspiracji i sumy opadu atmosferycznego okresu wegetacyjnego w poszczególnych dziesięcioleciach (1971–1980, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2020).

W kolejnym kroku na podstawie różnicy pomiędzy miesięczną sumą opadu atmosferycznego a ewapotranspiracją potencjalną w poszczególnych miesiącach obliczona została wielkość klimatycznego bilansu wodnego według wzoru:

$$KBW = P - ETP$$

gdzie:

KBW – klimatyczny bilans wodny (mm);

P – suma opadu atmosferycznego (mm);

ETP – ewapotranspiracja potencjalna (mm).

Wartości miesięczne KBW zostały zagregowane dla wieloleci, a następnie wyznaczono różnice pomiędzy nimi.

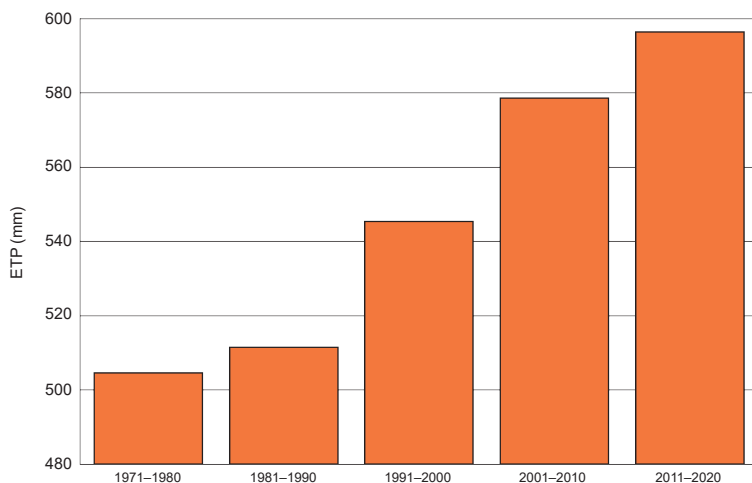
Wyniki

Ewapotranspiracja potencjalna

W okresie wegetacyjnym (kwiecień–wrzesień) w latach 1971–2020 suma ewapotranspiracji określona dla 30 punktów w Polsce wynosiła 548 mm. Najmniejsze wartości ETP w Polsce wystąpiły w miesiącach wrzesień i kwiecień; odpowiednio: 54 mm i 62 mm. W miesiącach letnich, w lipcu i czerwcu parowanie jest największe i w analizowanym okresie wynosiło odpowiednio: 118 mm i 114 mm. W pozostałych miesiącach okresu wegetacyjnego ETP uzyskało wartości średnie dla Polski wynoszące 100 mm.

Analizując wielkość średniej ewapotranspiracji potencjalnej dla Polski w poszczególnych dekadach, widać wyraźny wzrost wielkości parowania w okresie kwiecień–wrzesień (rys. 1). W latach 1971–1980 suma ewapotranspiracji w okresie wegetacyjnym wynosiła 505 mm, zaś w latach 2011–2020 – 596 mm. W porównaniu

z latami 70. XX w. nastąpił wzrost wielkości parowania w okresie wegetacyjnym o 92 mm, co średnio daje wzrost o 15 mm w każdym miesiącu. W porównaniu z okresem 1971–1980 w latach 2011–2020 nastąpił wzrost wartości sumy ewapotranspiracji potencjalnej w okresie wegetacji o 18%. Średnie wielkości ewapotranspiracji dla poszczególnych miesięcy w wieloletnich zaprezentowano w tabeli 1.



Rys 1. Średnia suma ewapotranspiracji potencjalnej w okresie kwiecień–wrzesień w Polsce w dziesięcioleciach (lata 1971–2020)

Źródło: opracowanie własne

Tabela 1

Średnie miesięczne wartości ewapotranspiracji potencjalnej oraz suma w okresie wegetacyjnym (kwiecień–wrzesień) w poszczególnych 10-leciach okresu 1971–2020

| Wielolecie | Miesiąc | | | | | | Kwiecień–Wrzesień |
|------------|----------|-----|----------|--------|----------|----------|-------------------|
| | kwiecień | maj | czerwiec | lipiec | sierpień | wrzesień | |
| 1971–1980 | 53 | 93 | 109 | 106 | 92 | 50 | 505 |
| 1981–1990 | 56 | 99 | 102 | 112 | 93 | 49 | 512 |
| 1991–2000 | 59 | 102 | 112 | 120 | 100 | 52 | 545 |
| 2001–2010 | 70 | 101 | 123 | 127 | 102 | 57 | 579 |
| 2011–2020 | 71 | 105 | 124 | 123 | 110 | 63 | 596 |
| Średnia | 62 | 100 | 114 | 118 | 100 | 54 | 548 |

Źródło: opracowanie własne

Wielkość ewapotranspiracji od kwietnia do września w poszczególnych dekadach okresu 1971–2020 była najmniejsza na stacjach położonych w południowej części kraju, zaś największe wartości wystąpiły w punktach położonych w centralnej i zachodniej Polsce. Szczegółowe wartości ETP dla poszczególnych stacji przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Wielkość ewapotranspiracji potencjalnej (ETP), sumy opadu atmosferycznego (P) i klimatycznego bilansu wodnego (KBW) w mm w okresie wegetacyjnym kwiecień–wrzesień dla 30 punktów w Polsce w dekadach dla okresu 1971–2020

| Lp. | Stacja | 1971–1980 | | | 1981–1990 | | | 1991–2000 | | | 2001–2010 | | | 2011–2020 | | |
|-----|---------------------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|
| | | ETP | P | KBW | ETP | P | KBW | ETP | P | KBW | ETP | P | KBW | ETP | P | KBW |
| 1. | Białystok | 519 | 401 | -118 | 519 | 347 | -172 | 560 | 356 | -204 | 587 | 387 | -200 | 598 | 409 | -189 |
| 2. | Bielsko-Biała | 466 | 639 | 173 | 471 | 619 | 148 | 506 | 662 | 156 | 544 | 696 | 152 | 581 | 662 | 81 |
| 3. | Chojnice | 531 | 340 | -191 | 521 | 307 | -231 | 596 | 337 | -232 | 598 | 399 | -199 | 606 | 350 | -256 |
| 4. | Gorzów Wielkopolski | 514 | 326 | -188 | 532 | 301 | -231 | 566 | 311 | -256 | 599 | 323 | -276 | 599 | 328 | -271 |
| 5. | Jelenia Góra | 452 | 466 | 14 | 459 | 437 | -23 | 499 | 451 | -48 | 525 | 479 | -46 | 574 | 452 | -122 |
| 6. | Kalisz | 510 | 345 | -166 | 539 | 305 | -234 | 556 | 323 | -234 | 597 | 321 | -276 | 596 | 293 | -303 |
| 7. | Katowice | 457 | 516 | 59 | 473 | 427 | -45 | 538 | 448 | -90 | 558 | 470 | -88 | 571 | 421 | -150 |
| 8. | Kętrzyn | 529 | 358 | -171 | 515 | 371 | -144 | 553 | 355 | -198 | 604 | 381 | -223 | 594 | 403 | -191 |
| 9. | Kielce | 490 | 380 | -110 | 501 | 353 | -148 | 529 | 395 | -134 | 556 | 418 | -137 | 575 | 378 | -198 |
| 10. | Kraków | 462 | 452 | -10 | 485 | 421 | -64 | 520 | 432 | -88 | 550 | 467 | -83 | 578 | 418 | -160 |
| 11. | Lesko | 541 | 574 | 123 | 475 | 526 | 51 | 497 | 525 | 28 | 522 | 630 | 108 | 549 | 518 | -32 |
| 12. | Leszno | 517 | 326 | -191 | 530 | 315 | -215 | 555 | 343 | -212 | 587 | 318 | -269 | 608 | 342 | -266 |
| 13. | Lublin | 515 | 389 | -104 | 525 | 337 | -196 | 569 | 341 | -188 | 588 | 355 | -196 | 598 | 345 | -231 |
| 14. | Łódź | 512 | 411 | -124 | 517 | 329 | -180 | 544 | 380 | -204 | 581 | 392 | -225 | 598 | 367 | -253 |
| 15. | Mława | 523 | 357 | -167 | 503 | 320 | -182 | 527 | 358 | -169 | 587 | 337 | -250 | 578 | 338 | -239 |
| 16. | Olsztyn | 534 | 400 | -133 | 524 | 356 | -168 | 570 | 365 | -205 | 600 | 377 | -223 | 609 | 391 | -218 |
| 17. | Opole | 487 | 430 | -58 | 510 | 400 | -110 | 558 | 390 | -168 | 587 | 393 | -194 | 605 | 352 | -253 |
| 18. | Poznań | 522 | 308 | -214 | 536 | 298 | -238 | 580 | 339 | -240 | 607 | 310 | -297 | 623 | 315 | -308 |
| 19. | Racibórz | 455 | 440 | -16 | 490 | 383 | -107 | 504 | 419 | -85 | 552 | 426 | -127 | 591 | 374 | -217 |
| 20. | Siedlce | 538 | 434 | -167 | 544 | 383 | -211 | 574 | 446 | -216 | 598 | 489 | -251 | 622 | 346 | -244 |

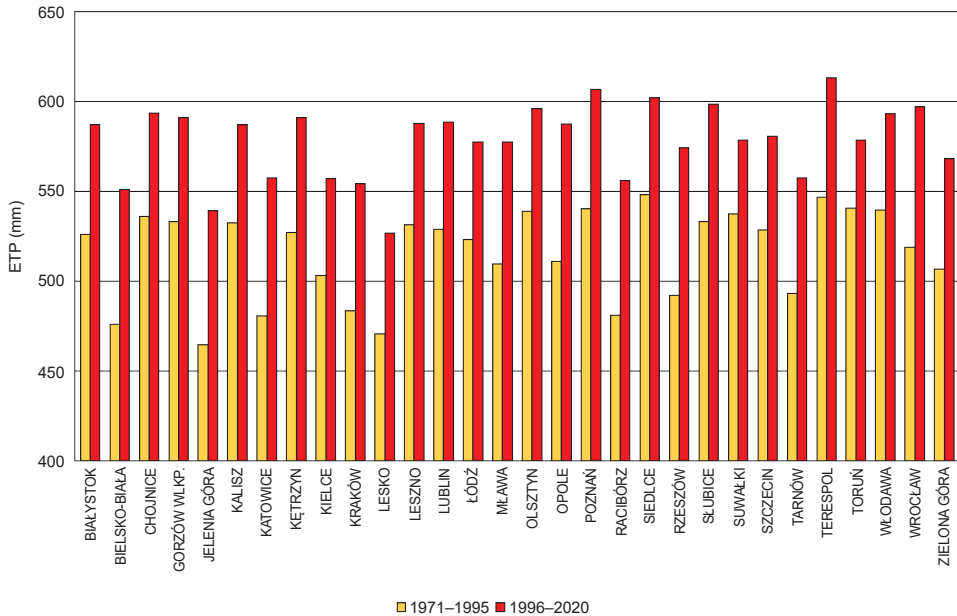
cd. tab. 2

| Lp. | Stacja | 1971–1980 | | | 1981–1990 | | | 1991–2000 | | | 2001–2010 | | | 2011–2020 | | |
|-----|--------------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|
| | | ETP | P | KBW | ETP | P | KBW | ETP | P | KBW | ETP | P | KBW | ETP | P | KBW |
| 21. | Rzeszów | 489 | 372 | -54 | 489 | 333 | -106 | 508 | 358 | -62 | 588 | 347 | -99 | 593 | 378 | -246 |
| 22. | Słubice | 514 | 338 | -175 | 532 | 329 | -203 | 565 | 316 | -250 | 597 | 349 | -248 | 621 | 320 | -301 |
| 23. | Suwalski | 537 | 376 | -161 | 529 | 375 | -155 | 559 | 332 | -227 | 588 | 378 | -210 | 578 | 384 | -195 |
| 24. | Szczecin | 525 | 296 | -229 | 512 | 282 | -231 | 561 | 343 | -218 | 578 | 333 | -245 | 597 | 315 | -282 |
| 25. | Tarnów | 476 | 529 | 53 | 490 | 446 | -44 | 526 | 478 | -48 | 551 | 541 | -10 | 583 | 431 | -151 |
| 26. | Terespol | 540 | 361 | -179 | 546 | 310 | -236 | 569 | 341 | -228 | 605 | 355 | -251 | 640 | 346 | -294 |
| 27. | Toruń | 537 | 368 | -169 | 532 | 318 | -214 | 553 | 338 | -215 | 574 | 396 | -205 | 602 | 333 | -269 |
| 28. | Włodawa | 534 | 378 | -155 | 535 | 312 | -223 | 567 | 346 | -221 | 589 | 381 | -209 | 607 | 395 | -211 |
| 29. | Wrocław | 499 | 441 | -58 | 515 | 353 | -162 | 560 | 340 | -219 | 593 | 363 | -230 | 624 | 363 | -261 |
| 30. | Zielona Góra | 504 | 333 | -171 | 497 | 330 | -167 | 521 | 359 | -162 | 570 | 327 | -243 | 595 | 342 | -254 |

Źródło: opracowanie własne

W pierwszej dekadzie analizowanego okresu najmniejsze wartości ETP w okresie wegetacyjnym były w Jeleniej Górze oraz Lesku i wynosiły odpowiednio: 452 mm i 451 mm. W tej samej dekadzie największe wartości ETP obliczono dla stacji w Terespolu, wyniosły one 540 mm. A zatem różnica między największą i najmniejszą wartością tego wskaźnika wynosi prawie 90 mm w okresie kwiecień–wrzesień.

O tym, jak duże zmiany zachodzą w wartościach ETP można zobaczyć na rysunku 2, gdzie przedstawiono średnie sumy ewapotranspiracji w okresie kwiecień–wrzesień dla dwóch wieloleci. Widać wyraźny wzrost wielkości parowania w ostatnim 25-leciu. Do 1995 r. parowanie na wybranych stacjach nie przekraczało 550 mm. W kolejnym okresie tylko na stacji w Jeleniej Górze i Lesku wartość 550 mm nie została przekroczona, natomiast w Poznaniu, Siedlcach i Terespolu ETP przekroczyła wartość 600 mm.



Rys. 2. Średnia suma ewapotranspiracji potencjalnej w okresie kwiecień–wrzesień dla 30 punktów w Polsce w wieloleciu 1971–1995 oraz 1996–2020

Źródło: opracowanie własne

Opad atmosferyczny

Opad atmosferyczny jest zjawiskiem, którego rozkład przestrzenny jak i czasowy jest bardzo zmienny. W okresie wegetacyjnym średnia wielkość opadu atmosferycznego w latach 1971–2020 wynosiła 386 mm. Najniższe opady zostały zanotowane w dekadzie 1981–1990 i wynosiły 363 mm średnio dla 30 opisywanych w artykule

punktów. Najwyższa średnia suma opadów w okresie wegetacyjnym wystąpiła w dwóch dekadach: 2001–2010 (402 mm) oraz 1971–1980 (401 mm).

Wielkość opadów w poszczególnych dekadach analizowanego okresu dla każdej stacji zaprezentowano w tabeli 2. Najwyższe opady notowane były w punktach zlokalizowanych na południu Polski – Bielsko-Biała i Lesko. Najniższe opady zaś wystąpiły w Polsce centralnej i zachodniej (Kalisz, Poznań, Szczecin). Różnica pomiędzy najniższą i najwyższą sumą opadu atmosferycznego jest znacznie większa niż w przypadku ewapotranspiracji i wynosi około 300 mm.

W okresie wegetacyjnym miesiącem z najniższymi opadami był kwiecień (tab. 3). Średnia suma opadu dla tego miesiąca w latach 1971–2020 wyniosła 37,8 mm. Najniższe opady w kwietniu były w dekadzie 2001–2020, zaś najwyższe w dekadzie 1991–2000. Różnica pomiędzy tymi wartościami wyniosła 16,3 mm, co stanowi ok. 50% sumy opadu kwietnia. Miesiącem z największą sumą opadu był lipiec ze średnią wynoszącą 86,4 mm. Jedynie w dekadzie 1981–1990 średni miesięczny opad w lipcu nie był najwyższy. Największy opad w tej dekadzie wystąpił w czerwcu, ale tylko o 7,2 mm był wyższy od opadu w lipcu. Opad w maju i wrześniu notowano na podobnym poziomie, a jego średnia wartość dla analizowanych lat wyniosła odpowiednio: 62,9 mm oraz 56,0 mm.

Tabela 3

Średnia miesięczna suma opadu atmosferycznego (mm) w latach 1971–2020

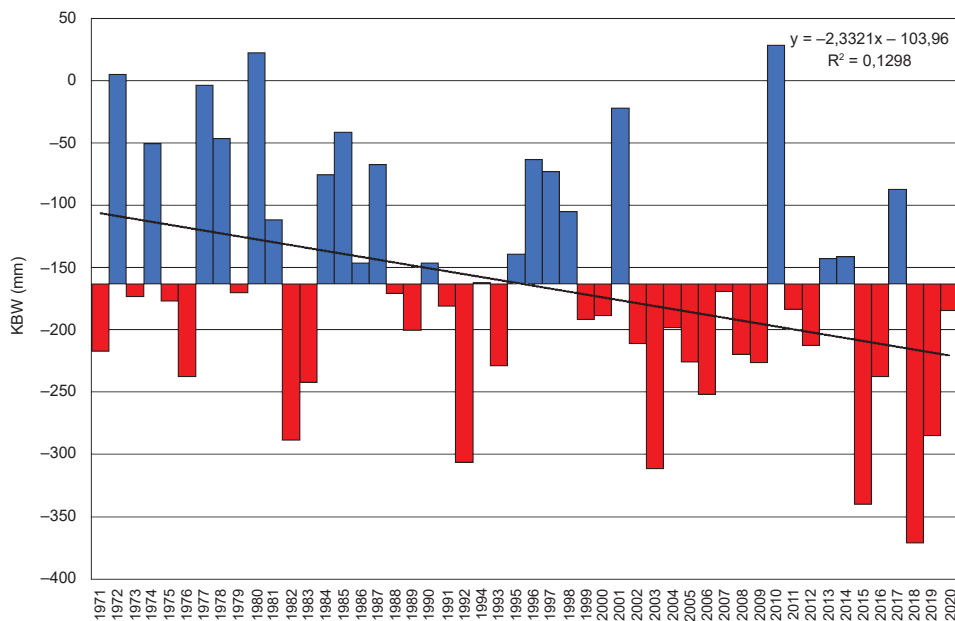
| Miesiąc | 1971–1980 | 1981–1990 | 1991–2000 | 2001–2010 | 2011–2020 | Średnia 1971–2020 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Kwiecień | 42,6 | 35,3 | 46,7 | 30,4 | 34,2 | 37,8 |
| Maj | 56,0 | 58,2 | 58,5 | 74,5 | 67,4 | 62,9 |
| Czerwiec | 80,6 | 79,7 | 71,6 | 66,9 | 72,9 | 74,3 |
| Lipiec | 91,0 | 72,5 | 86,8 | 91,5 | 90,4 | 86,4 |
| Sierpień | 74,7 | 67,1 | 60,3 | 81,8 | 56,1 | 68,0 |
| Wrzesień | 56,1 | 50,1 | 60,1 | 55,4 | 58,3 | 56,0 |
| Kwiecień–wrzesień | 401,0 | 363,0 | 383,9 | 400,5 | 379,2 | 385,5 |

Źródło: opracowanie własne

Klimatyczny bilans wodny (KBW)

Analizując sumę klimatycznego bilansu wodnego okresu wegetacyjnego (od kwietnia do września) w latach 1971–2020, możemy zaobserwować wyraźny trend malejący (rys. 3). Średnia wielkość KBW od kwietnia do września w analizowanym okresie wyniosła –163 mm. W ostatnim dwudziestoleciu tylko w pięciu latach wartość KBW była powyżej średniej (2001, 2010, 2013, 2014 i 2017). W pozostałych 15 latach wartości KBW były poniżej średniej, a największy deficyt opadów odno-

towano w 2018 r., gdzie KBW wyniosło -371 mm. Zatem wartość KBW była niższa od wartości średniej o 208 mm.



Rys. 3. Suma klimatycznego bilansu wodnego od kwietnia do września w latach 1971–2020.

Oś pionowa przecina oś poziomą w wartości średniej dla wielolecia 1971–2020, która wynosi -163 mm

Źródło: opracowanie własne

Analizując wartości KBW w poszczególnych dekadach, widać wyraźne obniżenie sumy KBW w okresie kwiecień–wrzesień. W pierwszej dekadzie analizowanego okresu (1971–1980) suma KBW wynosiła -105 mm, zaś w ostatniej z analizowanych dekad -219 mm. Porównując wartości miesięczne KBW w tym samych okresach czasowych (tab. 4), możemy zauważyć, że jedynie w maju wartości te były na zbliżonym poziomie. W pozostałych miesiącach wartości KBW zmniejszają się w każdej kolejnej analizowanej dekadzie. Miesiącem o najmniejszym deficycie wody był wrzesień, w którym średnie KBW dla analizowanego okresu wynosiły 2 mm. Z kolei miesiącami z największym niedoborem wody były maj i czerwiec, gdzie średnie wartości KBW wyniosły odpowiednio: -38 mm oraz -40 mm. Wielkości KBW dla poszczególnych punktów w Polsce zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 4

Średnie wartości klimatycznego bilansu wodnego (mm) w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego oraz suma w dekadach okresu 1971–2020

| Miesiąc | Dekada | | | | | Średnia |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| | 1971–1980 | 1981–1990 | 1991–2000 | 2001–2010 | 2011–2020 | |
| Kwiecień | –11 | –21 | –15 | –35 | –37 | –24 |
| Maj | –38 | –41 | –41 | –32 | –38 | –38 |
| Czerwiec | –29 | –22 | –43 | –53 | –52 | –40 |
| Lipiec | –16 | –40 | –33 | –37 | –33 | –32 |
| Sierpień | –18 | –26 | –39 | –21 | –55 | –32 |
| Wrzesień | 6 | 1 | 8 | –2 | –4 | 2 |
| Kwiecień–wrzesień | –105 | –149 | –164 | –181 | –219 | –163 |

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wskazała, że w wyniku zwiększenia wartości wskaźnika ewapotranspiracji potencjalnej znacząco zmniejszyły się wartości klimatycznego bilansu wodnego. Istotnych zmian nie zanotowano natomiast w przypadku sumy opadu atmosferycznego. Ten element KBW wykazuje dużą zmienność zarówno czasową, jak i przestrzenną. Niekorzystna dla rolnictwa zmiana, jaką jest zmniejszenie wartości KBW w okresie wegetacyjnym prowadzi do powstawania częstszych i bardziej intensywnych susz na terenie naszego kraju. Obserwowana tendencja zmian wartości KBW oraz prognozy klimatyczne przedstawiane w scenariuszach klimatycznych (21) pozwalają na wysunięcie wniosku, iż zjawisko suszy będzie stanowiło coraz większe wyzwanie w kolejnych latach. Zasadne wydaje się więc promowanie wszelkich działań, nie tylko w rolnictwie, mających na celu racjonalne gospodarowanie wodą. Ponadto w przypadku rolnictwa istotne będzie stosowanie praktyk umożliwiających zwiększenie możliwości retencyjnych wody w glebie.

Literatura

1. B a c S.: Metody określania ewapotranspiracji rzeczywistej i potencjalnej w warunkach polowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1968, **88**: 45-55.
2. B a r t o s i e w i c z B., J a d c z y s z y n J.: The impact of drought stress on the production of spring barley in Poland. Polish Journal of Agronomy, 2021, **45**: 3-11.
3. C h o j n i c k a-O Ź g a L., L o r e n c H. (red.): Współczesne problemy klimatu Polski. Warszawa 2019, ss. 260.
4. C z a r n e c k a M., N i d z g o r s k a-L e n c e w i c z J.: Wieloletnia zmienność opadów w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2012 (IV–VI), t. 12, **2(38)**: 45-60.

5. Doroszewski A., Górski T.: Prosty wskaźnik ewapotranspiracji potencjalnej. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCLXXI, 1995, Melior. Inż. Środ., **16**: 3-8.
6. Doroszewski A., Jadczyzsyn J., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopatka A., Koza P., Górski T., Wróblewska E.: Podstawy Systemu Monitoringu Suszy Rolniczej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2012 (IV-VI), t. 12, **2(38)**: 77-91.
7. Doroszewski A., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Jadczyzsyn J., Koza P., Łopatka A.: Monitoring suszy rolniczej w Polsce. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, 2008, t. LI, **1(416)**: 35-38.
8. Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Magier P.: Susze na obszarze Polski w latach 1951-1990. Materiały Badawcze IMGW, Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, IMGW, Warszawa 1995, **16**: 1-141.
9. Górski T., Demidowicz G., Deputat T., Górski K., Krakowiak A., Marcinkowska I., Spoz-Pać W.: Empiryczny model plonowania ziemniaka w funkcji czynników meteorologicznych. W: Materiały XXV Zjazdu Agrometeorologów. Olsztyn-Mierki, 27-29 IX 1994 r., AR Olsztyn, ss. 43-46.
10. Górski T., Demidowicz G., Deputat T., Górski K., Marcinkowska I., Spoz-Pać W.: Empiryczny model plonowania pszenicy ozimej w funkcji czynników meteorologicznych. Zeszyty Naukowe AR Wrocław, 1997, **313**: 99-109.
11. Górski T., Kozyra J., Doroszewski A.: Field crop losses in Poland due to extreme weather conditions – case studies. W: The Influence of extreme phenomenon on the natural environment and human living conditions, Liszewski S.(ed.). Łódź. ŁTN, 2008, pp. 35-49.
12. Kanecka-Geszke E., Smarzyńska K.: Ocena suszy meteorologicznej w wybranych regionach agroklimatycznych Polski przy użyciu różnych wskaźników. Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus, 2007, **6(2)**: 41-50.
13. Kasperska-Wołowicz W., Łabędzki L.: Porównanie ewapotranspiracji wskaźnikowej według Penmana i Penmana-Monteitha w różnych regionach Polski. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2004, t. 4, **2a(11)**: 123-136.
14. Kundzewicz Z.W., Kozyra J.: Ograniczenie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. Polish Journal of Agronomy, 2011, **7**: 68-81.
15. Kundzewicz Z.W., Hov O., Okruszko T. (red.): Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce. Poznań 2017, ss. 273.
16. Łabędzki L., Bąk B.: Standaryzowany Klimatyczny Bilans Wodny jako wskaźnik suszy. Acta Agrophysica, 2004, **3(1)**: 117-124.
17. Łabędzki L., Szajda J., Szuniewicz J.: Ewapotranspiracja upraw rolniczych – terminologia, definicja, metody obliczania. Przegląd stanu wiedzy. Mater. Inf., Falenty, IMUZ, 1996, **33**: 1-15.
18. Mizak K., Pudełko R., Kozyra J., Nieróbca A., Doroszewski A., Świtaj Ł., Łopatka A.: Wyniki monitoringu suszy rolniczej w uprawach pszenicy ozimej w Polsce w latach 2008-2010. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2011, t. 11, **2(34)**: 95-107.
19. Musiał E., Rojek M.S.: Ewapotranspiracja potencjalna i opady atmosferyczne we Wrocławiu-Swojcu w wieloletniu 1965-2000. Acta Agrophysica, 2007, **9(3)**: 685-698.
20. Penman H.L.: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society, 1948, **193**: 120-146.
21. Raport skrócony: Zmiany temperatury i opadu na obszarze Polski w warunkach przyszłego klimatu do roku 2100. IOŚ-PIB, Warszawa, 2020, ss. 31.
22. Rojek M.: Klimatyczny bilans wodny. W: Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce. Mapa 27. Szczecin. Wyd. AR, 2001.
23. SzYGa-Pluta K.: Zmienność czasowa i przestrzenna opadów atmosferycznych w Wielkopolsce w latach 1981-2014. Przegląd Geograficzny, 2018, **90(3)**: 495-516.

24. W i b i g J., R a d z i u n W.: Opady atmosferyczne w województwie łódzkim w latach 1961–2015. *Acta Geographica Lodziensia*, 2019, **109**: 29-47.
25. Ż y ł o w s k a K., K o z y r a J.: Zmiany warunków agroklimatycznych w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2022, **67(21)**: 9-23.
-

Adres do korespondencji:

dr Katarzyna Żyłowska; dr hab. Jerzy Kozyra
Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8,
24-100 Puławy
tel. 81 4786 768; 764
email: Katarzyna.Zylowska@iung.pulawy.pl
Jerzy.Kozyra@iung.pulawy.pl

| AUTOR | ORCID |
|--------------------|---------------------|
| Katarzyna Żyłowska | 0000-0002-6019-034X |
| Jerzy Kozyra | 0000-0002-7082-8765 |