

DANUTA AUGUSTYN

WPLYW ZMIAN OPADU I PAROWANIA Z POWIERZCHNI WODY NA BILANS WODY STAWÓW KARPIOWYCH

Abstrakt: Bilans wody stawów karpionych w okresie sezonu hodowlanego (od maja do września) kształtowany jest głównie przez opad i parowanie. Monitoring opadu i parowania w latach 1961-2000 wykazał, że suma opadu w wieloleciu całkowicie rekompensuje straty wody powstałe w wyniku parowania, jednakże wskutek znacznej czasowej zmienności opadu równowaga między opadem a parowaniem zostaje zaburzona. Największy sezonowy deficyt wody wystąpił w 1992 r., który charakteryzował się najwyższą w wieloleciu sumą wyparowanej wody i najniższą sezonową sumą opadu.

Słowa kluczowe: stawy karpione, opad na powierzchnię wody, parowanie z powierzchni wody, klimatyczny bilans wody.

1. Wstęp

Deficyt wody jest jednym z groźniejszych zjawisk powodujących pogarszanie się warunków gospodarki stawowej. Wyraźną oznaką tego zjawiska jest spadkowa tendencja rocznych i sezonowych sum opadu, przepływów wody w rzekach, a także ujemny klimatyczny bilans wody. Stawy karpione są małymi, płytkimi, nie przepływowymi zbiornikami okresowo napełnianymi wodą rzeczną, które w wyniku małej pojemności szybko reagują na zmiany warunków meteorologicznych (Szumiec, Augustyn 1996). Są obiektem chowu ryb, a ponadto pełnią w zlewni różnorodne funkcje; jedną z nich jest mała retencja. Zatrzymując nadmiar wody rzecznej w okresie wiosennym, a oddając w okresie jesiennych niżówek, stawy w dużym stopniu przyczyniają się do zwiększenia zasobów wodnych zlewni.

Retencja wody w stawach wynosi w Polsce około $600 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. W zlewni górnej Wisły karpionia gospodarka stawowa jest jednym z ważniejszych użytkowników wody. Na odcinku doliny Wisły między Skoczowem a zbiornikiem Goczałkowice użytkowanych jest około 1500 ha stawów, które magazynują $18\,000 \text{ m}^3$ wody. Zasilane są one wodami rzeczными i opadowymi.

Celem pracy jest wykazanie, na podstawie wyników wieloletnich pomiarów (1961-2000) wpływu zmienności czynników meteorologicznych (opadu i parowania) na wahania poziomu wody w stawach, w okresie od maja do września.

2. Metoda i teren badań

Badania lokalnych warunków meteorologicznych w Zakładzie Ichtiobiologii i Gospodarki Rybackiej PAN w Gołyszach rozpoczęto w 1955 r. Pomiarów na stacji meteorologicznej ($\phi = 49^{\circ}48'N$, $\lambda = 18^{\circ}48'E$, $h = 265$ m n.p.m.) obejmują temperaturę i wilgotność powietrza na wysokości 2 m nad gruntem, temperaturę powietrza na wysokości 0,05 m, temperaturę gruntu na głębokościach 0,05, 0,1, 0,2 oraz 0,5 m, opad atmosferyczny na wysokości 1 m, prędkość i kierunek wiatru, od 1961 r. – usłonecznienie, a od 1996 r. – promieniowanie słoneczne.

W 1958 r. założona została stacja ewaporometryczna. Pomiarów prowadzonych są do dzisiaj z przerwami w latach 1990-1994 oraz 1998-2001. Pomiarów parowania i opadu wykonuje się za pomocą ewaporometru i deszczomierza GGI 3000, zainstalowanych na pływającej, zakotwiczonej tratwie w odległości około 10 m od brzegu stawu. Badania prowadzono w sezonach hodowlanych tzn. od maja do września, w okresie wzrostu karpia. W pracy wykorzystano wyniki pomiarów opadu na powierzchnię stawu oraz parowania z powierzchni wody w latach 1961-2000. Przerwy w pomiarach ewaporometrycznych uzupełniono metodą regresji liniowej między wyparowaną wodą a różnicą ciśnienia pary wodnej nasyconej w temperaturze powierzchni wody i ciśnienia pary wodnej na wysokości 200 cm nad powierzchnią stawu. Przerwy w pomiarach sum opadu na powierzchni stawów uzupełniono przy pomocy równań regresji między opadem na powierzchnię stawu i na wysokości 1 m nad gruntem (Augustyn 2001).

Jako wskaźnik czasowej zmienności składowych klimatycznego bilansu wodnego przyjęto współczynnik zmienności c_v , obliczony jako iloraz odchylenia standardowego i średniej wieloletniej każdej składowej oraz współczynnik nieregularności n , obliczony jako iloraz wartości maksymalnej i minimalnej.

Teren objęty badaniami usytuowany jest w zlewni Małej Wisły między Skoczowem a zbiornikiem w Goczałkowicach (ryc. 1). Obiektem badań jest staw o powierzchni około 3,7 ha i średniej głębokości około 1,2 m, należący do Zakładu Ichtiobiologii i Gospodarki Rybackiej PAN w Gołyszach.

3. Wyniki i ich dyskusja

3.1. Opad na powierzchnię stawu

Średnia sezonowa suma opadu na powierzchnię stawu wynosi 551 mm. Ekstremalne wartości opadu wahały się od 327 mm w sezonie 1992 r., do 900 mm w sezonie 1966 r. O zmienności sezonowych sum opadu świadczą znaczne wartości współczynników zmienności i nieregularności (tab. 1). Analiza statystyczna 40-letnich szeregów czasowych wykazała, że opad na powierzchnię stawu charakteryzował się, nieistotną statystycznie, tendencją malejącą (ryc. 2). Sezonowe sumy opadu charakteryzowały duże zmiany z roku na rok: od -440 do 308 mm. Największa bezwzględna różnica sezonowej sumy opadu stanowiła 81% średniej wieloletniej sumy opadów.

Zaobserwowano 23 sezony z opadem niższym od średniej wieloletniej; najwięcej (7) w dziesięcioleciu 1991-2000. Do bardzo suchych (51-74% średniej



Ryc. 1. Teren badań
Fig. 1. Map of study area

wieloletniej) należą, w kolejności wysokości opadów, sezony: 1992, 1979, 1964, 1983. Nie obserwowano sezonów skrajnie suchych (<50%).

Czterokrotnie w wieloleciu wystąpił czteromiesięczny okres w sezonie z sumą opadu niższą od średniej z wielolecia. W najbardziej suchym sezonie 1992 roku (59%

Tab. 1. Średnie miesięczne sumy opadu (mm) na powierzchnię stawu oraz współczynniki zmienności (c_v) i nieregularności (n) w wieloletniu 1961-2000

Table 1. Average monthly multi-annual (1961-2000) sums of precipitation, coefficients of variation (c_v), irregularity index (n)

Parametr \ Miesiące	V	VI	VII	VIII	IX	Σ V-IX
średnia	106	126	126	110	83	551
c_v	40	35	54	50	53	21
n	8	7	7	42	27	3

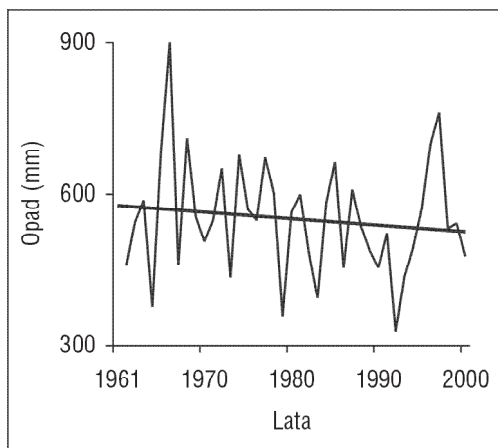
średniej wieloletniej) suma opadów maja, lipca i sierpnia wahała się od 18 do 48% średniej z wielolecia, w pozostałych miesiącach sezonu opad należał do przeciętnych. Suchy sezon 1992 r. był piątym kolejnym sezonem z niższą niż zwykle sumą opadu. Od 1988 do 1994 r. obserwowano sezony z sumą opadu niższą niż zwykle.

Miesięczne sumy opadu cieplej pory roku (od maja do września) również charakteryzowały się znaczną zmiennością, o czym świadczą wysokie wartości miar dyspersji (tab.1). We wszystkich miesiącach sezonu, oprócz września, obserwowano nieistotną statystycznie tendencję spadkową. Miesięczne sumy opadu cechują się również znaczną zmiennością z roku na rok, największą sierpień oraz lipiec. Maj wykazuje tendencję do wzrostu zmienności z roku na rok, w pozostałych miesiącach różnice malały.

Miesiące skrajnie suche i bardzo suche (< 74% średniej) najczęściej występowały w lipcu - 17 razy, z tego po 6 przypada na dziesięciolecia 1981-1990 i 1991-2000.

3.2. Parowanie wody z powierzchni stawów

Średnia wieloletnia (1961-2000) suma wody wyparowanej z powierzchni stawów w sezonie hodowlanym jest dosyć znaczna; stanowiła średnio 83% sumy opadu. Wielkości te wahały się od 42% – w przeciętnym sezonie 1966 r. do 175% – w bardzo ciepłym i suchym sezonie 1992 r. Średnia wieloletnia suma wody wyparowanej z powierzchni stawu wynosiła 457 mm i wahała się od 347 mm



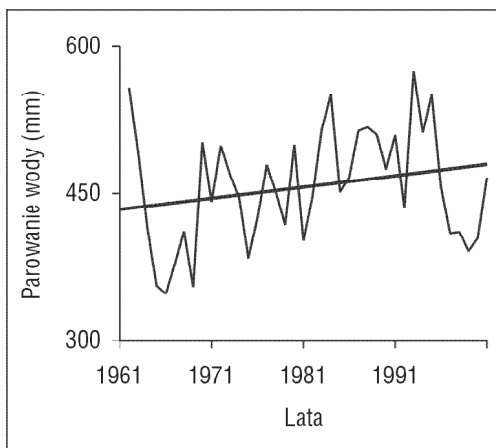
Ryc. 2. Sezonowy przebieg średnich wieloletnich (1961-2000) sum opadu wraz z wyznaczonym trendem liniowym

Fig. 2. Multi-annual (1961-2000) course of seasonal (May-September) sums of precipitation and their linear trend

– w chłodnym i wilgotnym sezonie 1965 r. do 574 mm – w suchym i ciepłym sezonie 1992 r. Wieloletnie sezonowe sumy parowania wykazały istotną statystycznie ($p < 0,05$) tendencję rosnącą ($+1 \text{ mm rok}^{-1}$). Od 1981 roku przeważały sezony z parowaniem wyższym od średniej wieloletniej (ryc. 3). Zmienność z roku na rok sezonowych sum parowania była niewielka i cechowała się tendencją rosnącą, różnice z roku na rok średnio wynosiły -1 mm i wahały się od -99 do 147 mm .

Najwyższe parowanie obserwowano w lipcu; średnio 109 mm , największą nieregularność w sierpniu, a zmienność we wrześniu. Najniższą sumą parowania odznaczał się wrzesień, najmniejszą zmiennością i nieregularnością cechował się czerwiec (tab. 2). Maksymalną miesięczną sumę wody wyparowanej

ze stawu (162 mm) zanotowano w suchym i ciepłym lipcu 1994 r., stanowiła ona 29% sumy sezonowej, zaś 149% średniej wieloletniej lipca. Najmniej wody wyparowało z powierzchni stawu w chłodnym i wilgotnym wrześniu 1998 r. (41 mm), co stanowiło 10% sumy sezonowej i 63% średniej wieloletniej. Tendencją rosnącą charakteryzowały się czerwiec, lipiec ($p < 0,05$) oraz sierpień ($p < 0,1$). Przewagę wyższych od średniej wieloletniej sum wody wyparowanej w tych miesiącach ze stawu obserwowano od początku lat osiemdziesiątych. Największą amplitudą wahań z roku na rok odznaczał się lipiec, a najmniejszą – maj.



Ryc. 3. Sezonowy przebieg średnich wieloletnich (1961-2000) sum wody wyparowanej z powierzchni stawu wraz z wyznaczonym trendem liniowym

Fig. 3. Multi-annual (1961-2000) course of seasonal sums of evaporated water from ponds surface and their linear trend

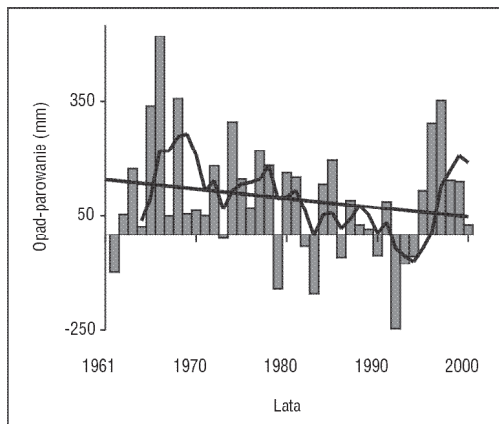
Tab. 2. Średnie miesięczne sumy wody wyparowanej z powierzchni stawu oraz współczynniki zmienności (c_v) i nieregularności (n) w wieloleciu 1961-2000.

Table 2. Average monthly multi-annual (1961-2000) sums of evaporated water from ponds surface, coefficients of variation (c_v), irregularity index (n)

Parametr \ Miesiące	V	VI	VII	VIII	IX	Σ V-IX
średnia	86	99	109	99	65	457
c_v	19	16	19	18	20	12
n	2	2	2	3	2	2

3.3. Klimatyczny bilans wody

Średnie sezonowe wartości klimatycznego bilansu wody w badanym okresie były dodatnie (tab. 3). Zaobserwowano spadkową, nieistotną statystycznie, tendencję, przy czym do połowy lat siedemdziesiątych opad przewyższał straty wynikające z parowania, natomiast w okresie późniejszym wyraźnie przeważały straty nad dopływem w postaci opadów. Średnie ruchome pięcioletnie wykazywały tendencję malejącą w wyniku zwiększonej liczebności sezonów z ujemnym bilansem wody



Ryc. 4. Sezonowy przebieg średnich wieloletnich (1961-2000) wartości klimatycznego bilansu wody stawu wraz z wyznaczonym trendem liniowym i przebiegiem średniej ruchomej pięcioletniej

Fig. 4. Multi-annual (1961-2000) course of seasonal sums of the meteorological water balance (P-E), their linear trend and 5-year moving averages

na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych. Najdłuższy okres deficytowy, trwający trzy kolejne sezony, zanotowano na początku lat dziewięćdziesiątych przy czym największy deficyt wody wystąpił w 1992 r. (ryc. 4).

Średnie wartości klimatycznego bilansu wody we wszystkich miesiącach charakteryzowała przewaga opadu nad parowaniem i wahała się od 11 mm w sierpniu do 26 mm w czerwcu (tab. 3). Największą przewagą opadu nad parowaniem (308 mm) odznaczał się bardzo wilgotny lipiec 1966 r., natomiast największym niedoborem opadu w stosunku do parowania (-124 mm) - sierpień 1992 r. Klimatyczny bilans wody we wszystkich miesiącach, oprócz września, charakteryzował się tendencją malejącą, jednakże najczęściej, średnio co drugi sezon, deficyt wody występował w lipcu, a najrzadziej w

Tab. 3. Średnie miesięczne wartości klimatycznego bilansu wody (mm) na powierzchni stawu w wieloleciu 1961-2000

Table 3. Average, maximum and minimum multi-annual (1961-2000) sums of meteorological water balance

Wartości \ Miesiące	V	VI	VII	VIII	IX	Σ V-IX
średnie	21	26	18	11	21	105
maksymalne	173	158	308	168	164	598
minimalne	-62	-62	-94	-124	-63	-247

czerwcu. W większości miesięcy sezonu hodowlanego deficyt wody pojawiał się na przemian z przewagą parowania nad opadem. W lipcu i sierpniu, od końca lat osiemdziesiątych deficyty wody zdarzały się częściej. W najbardziej deficytowych sezonach od 1988 do 1992 r. tylko w czerwcu i wrześniu klimatyczny bilans był dodatni zaś w pozostałych miesiącach – ujemny.

4. Podsumowanie

W chowie ryb karpiowatych znaczna rola opadu i parowania w bilansie wody wynika z małej objętości stawów. Oba te elementy odgrywają znaczną rolę w kształtowaniu bilansu wodnego, średnia wieloletnia suma opadu stanowi 46% objętości wody w stawie, natomiast parowania – 38%. Wzajemna proporcja obu tych elementów decyduje o możliwości utrzymania w stawach właściwego poziomu wody, co wpływa między innymi, w końcowym efekcie, na wyniki rybackie.

Liniowe tendencje sezonowych zmian sum opadów wykazują, iż w wieloleciu 1961-2000 wystąpił malejący trend opadu. Do 1977 r. utrzymywała się rosnąca tendencja sezonowych sum opadu, natomiast o zmianie tendencji na malejącą zdecydował niski opad w latach 1978-1994, w tych latach tylko 5 sezonów mieściło się w przedziale opadu normalnego (90-100%). Pozostałe sezony należały do suchych i bardzo suchych.

O spadkowym trendzie sezonowych i miesięcznych sum opadu świadczą również uśrednione sumy opadów w kolejnych dziesięcioleciach wyrażone w % średniej za lata 1961-2000. Średnia sezonowa suma opadu w wieloleciu malała w miarę wydłużania uśrednionych okresów o kolejne dziesięciolecia. Do podobnych wniosków doszła Strzebońska-Ratomska (1994) analizując sumy opadów regionu karpackiego w wieloleciu 1961-1990. Takiej prawidłowości nie stwierdzono analizując sumy opadów poszczególnych miesięcy sezonu hodowlanego. Tylko uśrednione sumy opadów maja, lipca i sierpnia malały, a we wrześniu – rosły.

Zmienność rocznych i sezonowych sum opadu w Gołyszach jest niewielka ($c_{v(I-XI)} = 15$, $c_{v(V-IX)} = 22$; Augustyn 2001). Kożuchowski (1984) rozpatrując rozkład zmienności rocznych i sezonowych sum opadu na terenie Polski otrzymał takie same wartości dla Zakopanego i były to wielkości najniższe w Polsce.

W przeciwieństwie do opadów sezonowa suma wody wyparowanej z powierzchni stawów charakteryzowała się tendencją rosnącą i znacznie mniejszą zmiennością niż sezonowa suma opadu na powierzchnię stawu.

Średnie wieloletnie wartości klimatycznego bilansu wody wskazują, iż w zlewni górnej Wisły opad całkowicie rekompensuje straty wody powstałe w wyniku parowania. Wskutek zmienności i nieregularności sum opadu i temperatury powietrza, której funkcją jest parowanie z powierzchni stawów, cykl ten bywa w znacznym stopniu zaburzony i powoduje zakłócenia w zachowaniu hydrologicznej równowagi między stawami a zlewnią. Bilans wodny stawów karpiowych, które od maja do września są zazwyczaj nieprzepływowymi zbiornikami wody, kształtowany w głównej mierze przez różnicę między opadem a parowaniem, jest kompleksowym wskaźnikiem stosunków wodnych na badanym terenie. W gospodarce

stawowej w bezpośredni sposób ukazuje stosunki wodne w stawach wynikające z przebiegu i rozkładu zarówno opadu atmosferycznego, jak i ilości wody wyparowanej z powierzchni stawów. Wzajemna proporcja obu tych elementów decyduje o możliwości utrzymania w stawach odpowiedniego poziomu wody.

W wieloleciu 1961-2000 wartości klimatycznego bilansu wody wskazały, zarówno dla wartości miesięcznych i sezonowych, na korzystną nadwyżkę opadu nad parowaniem. W wyniku spadkowej tendencji sum opadu oraz rosnącej sum wody wyparowanej ze stawów, coraz częściej obserwuje się sezonowy i miesięczny deficyt wody. Deficyt wody pojawiał się najczęściej w okresach, gdy sezonowa suma opadu nie przekraczała 75% średniej wieloletniej sumy opadu. Największy sezonowy deficyt wody w 1992 r. był spowodowany nie tylko niedostatkami opadu, który był najniższy w wieloleciu, lecz także wysoką temperaturą powietrza zwiększającą parowanie. Sezon ten był jednocześnie najcieplejszym w Gołyszach od początku badań. Spośród 5 miesięcy sezonu czerwiec i lipiec były bardzo ciepłe, a sierpień należał do miesięcy skrajnie ciepłych ($t > t + 3\sigma$). Podobną sytuację w Warszawie stwierdziła Kossowska-Cezak (1993).

W wieloleciu 1960-2000 wskutek ujemnego klimatycznego bilansu wody sezonowe niedobory wody w stawach wahały się od 40 do 2470 m³ wody na 1 ha powierzchni stawów na sezon.

W sezonie hodowlanym straty wody wynikające z ujemnego klimatycznego bilansu uzupełnia się wodą z Wisły, która w tym okresie również charakteryzuje się znacznie ograniczonym przepływem. Potencjalnie największe zapotrzebowanie wody do uzupełnienia strat wynikających z parowania wynosiło 57% przepływu rzeki. W ekstremalnych warunkach ogranicza się dopływ wody do stawów co znacznie pogarsza warunki środowiskowe i może wpłynąć na wyniki rybackie. Niepełny zalew stawów spowodowany ograniczoną możliwością doprowadzenia do stawów świeżej wody wymusza ograniczenie żywienia ryb w pełni sezonu.

LITERATURA:

- Augustyn D., 2001, *Wpływ stawów na obieg wody w zlewni Małej Wisły*, pr. dokt., Kraków.
- Kossowska-Cezak U., 1993, *Okresy z niedostatkami opadów w 120-leciu 1871-1990 (na przykładzie Warszawy)*, Prz. Geof., 38, 3-4.
- Kożuchowski K., 1984, *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w stuleciu 1881-1980*, Acta Geogr. Lodz., 48, 158.
- Strzebońska-Ratomska B., 1994, *Metodyka intensywności i zasięgu suszy hydrologicznej, cz. I: Susza hydrologiczna na Podkarpaciu w latach 1961-1990*, Wiad. IMiGW, 17, 4.
- Szumiec A. M., Augustyn D., 1996, *Zastosowanie długiej serii badań meteorologicznych w stawowej gospodarce karpiowej*, Międzyn. Konf. Nauk. nt. Klimatyczne warunki produkcji roślinnej, Puławy, 25-26 września 1996, 44.

EFFECT OF CHANGES IN PRECIPITATION AND EVAPORATION FROM WATER SURFACE ON THE WATER BALANCE OF CARP PONDS

SUMMARY

The investigation was carried out in ponds of the Golysz Fishery Centre of the Polish Academy of Sciences, located in the valley of the Vistula river upper course, between Skoczow and the Goczalkowice Reservoir. The pattern of seasonal (May-September) and monthly precipitation totals onto the pond surface and the totals of evaporated water from the pond area were analysed for the period of 1961-2000. A decreasing tendency was found in the seasonal precipitation totals and also in all the months of the season, with an exception of September showing a rising tendency. A great variability was observed in seasonal and monthly totals of precipitation. The evaporation of water from the pond surface shows an increasing tendency both in seasonal and monthly totals, while September was characterized only by a decreasing tendency. In the successive years the variability of total evaporation is much smaller than the variability of precipitation. The climatic balance of water on the pond surface (difference between the total precipitation on the pond surface and the total water evaporation from the water surface) is characterized by a decreasing tendency. Mean multi-annual seasonal and monthly values are positive. In the Golysz region the greatest deficit took place at the beginning of 1990s. At that time the lowest total precipitation and the highest evaporation occurred. The greatest water deficit was recorded in the season of 1992. In the years 1961-2000 the deficiency reached 40-2470 m³ water per season.

Danuta Augustyn
Zakład Ichtiologii i Gospodarki Rybackiej
Polska Akademia Nauk
Golysz

