

*Joanna Sołtuniak*

## **WPLYW PROGNOZOWANYCH ZMIAN KLIMATU NA WYTWARZANIE ENERGII W ELEKTROWNIACH WODNYCH**

### **1. Wstęp**

Klimat danego miejsca określany jest na podstawie wieloletnich obserwacji – często określa się, że przynajmniej 30-letnich. Im ciąg obserwacji dłuższy i bardziej szczegółowy, tym ich wartość jest większa. Zmiany klimatu mogą powstawać na skutek cykli astronomicznych, aktywności słonecznej, ruchów tektonicznych i wulkanizmu. Działalność antropogeniczna również może się przyczyniać do niektórych zmian klimatycznych, głównie na skutek nadmiernej emisji gazów cieplarnianych. W badaniach klimatu powinno się analizować procesy zachodzące w hydrosferze, pedosferze, biosferze, kriosferze i atmosferze oraz ich wzajemne sprzężenia i wpływy. W przypadku znacznego wykorzystywania zasobów przyrody w działalności gospodarczej, zwłaszcza przy działalności długoterminowej, konieczne jest uwzględnienie prognoz dotyczących zmian klimatycznych w planowaniu inwestycyjnym.

### **2. Zmiany klimatu i ich wpływ na reżim rzek w Polsce**

Głównym globalnym skutkiem ocieplenia klimatu jest wzrost średniej rocznej temperatury powietrza i podniesienie się poziomu mórz i oceanów. Następują zmiany globalnych cykli wodnych, zmniejszenie wielkości oraz grubości pokrywy śnieżnej i lodu. Skutki zmian związanych z ociepleniem klimatu są zróżnicowane przestrzennie i sezonowo (Kundzewicz, 2017). Prognozowane w perspektywie kilkudziesięciu lat zmiany klimatu dotyczące Polski zakładają dosyć wysoką niestabilność przyszłych warunków klimatycznych i nasilenie tej zmienności. Im wyższe będą przyszłe średnie temperatury, tym wyższe będzie prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych zdarzeń i anomalii przyrodniczych.

W ostatnich dekadach na terytorium Polski nastąpił wzrost średniej temperatury powietrza o 0,5–1°C w stosunku do lat 1961–1990. Jednakże w poszczególnych obserwowanych latach można zaobserwować dużą zmienność średnich

## ZMIANA KLIMATU

rocznych temperatur. Zdarzają się lata wyraźnie chłodniejsze od przeciętnych, choć występują one rzadziej niż przed 1991 r. Najbardziej ociepliło się w lipcu – o 1,52°C i w kwietniu – o 1,23°C, najmniej jesienią – o mniej niż 0,3°C. Liczba dni upalnych z temperaturą maksymalną wyższą od 30°C na południu Polski podwoiła się w stosunku do wcześniejszego okresu, cieplejsze stają się także przeciętne zimy i wyraźnie zmniejsza się liczba dni z temperaturą niższą niż -10°C. Ekstrema ciepła, takie jak liczba gorących dni, częstotliwość fal upałów rosną, zaś ekstrema chłodu, takie jak liczba zimnych dni i nocy maleją (Graczyk i in., 2017).

Jednocześnie ze zmianami klimatu może być wiązany wzrost częstotliwości występowania ulewnych deszczy, powodzi, upałów i susz, silnych wiatrów. Zauważa się, że wzrosła częstotliwość i intensywność opadów atmosferycznych w Polsce, wzrasta wydajność pojedynczych zjawisk opadowych. Tak dzieje się zwłaszcza w przypadku deszczy nawalnych z różnego rodzaju chmur burzowych (Kundzewicz, 2017, Kożuchowski, 2004). Według niektórych badań suma opadów w Polsce w przyszłości wzrośnie w stosunku do obecnych wartości o kilka procent do 2050 r. i o nawet kilkanaście procent do 2100 r. Największy przyrost sumy opadów prognozuje się zimą i wiosną, mniejszy latem i jesienią. Ponadto wskazuje się, że na terenach południowej Polski, na północ od Karpat, mogą występować niższe sumy średnich opadów, zwłaszcza latem i jesienią (Pińskwar i in., 2017, Mezghani i in., 2017).

Równocześnie występują coraz częściej długie okresy suszy wywołane upałami, które wiążą się ze zwiększoną ewapotranspiracją i niższymi przepływami wód płynących. Obecnie prawie w całej Polsce ewapotranspiracja przekracza wartość opadów letnich, a retencja wód powierzchniowych i podpowierzchniowych maleje. Zauważa się, że są istotne rosnące trendy ewapotranspiracji, zwłaszcza w maju i sierpniu (Kożuchowski, 2004). Występuje tendencja do zmniejszania się odpływu wód w okresie letnio-jesiennym oraz przesuwanie się okresu powodziowego z marca i kwietnia na styczeń i luty. Jest to związane z topnieniem śniegu w czasie ciepłych zim (Lenart, 2009). Prognozuje się, że największy wzrost odpływu będzie miał miejsce zimą (Mezghani i in., 2017). Podaje się, że klimatyczny bilans wodny przyjmie wartości jeszcze bardziej niekorzystne i będą generalnie duże deficyty wody, a największe w południowo-wschodniej Polsce (Okruszko, 2017).

Należy dodać, że wczesne topnienie śniegu powoduje szybsze wysychanie gruntu, zwiększając prawdopodobieństwo suszy w lecie. Badania porównujące lata 1952–1990 i 1991–2012 dowiodły, że w pierwszym z porównywanych okresów była grubsza pokrywa śnieżna i dłuższy okres śnieżny, a w późniejszym czasie okres śnieżny kończył się zwykle wcześniej o kilka dni (Szwed i in., 2017). Według badań skraca się również czas zalegania pokrywy lodowej na rzekach. Ciekawe dane w tym zakresie podają M. Chmielewski i M. Grześ na podstawie ciągu obserwacyjnego z lat 1814–2000 na Wiśle w Toruniu. Przeciętny czas zlodzenia trwał 40–80 dni, przy średniej 56 dni, ale były zimy, kiedy zlodzenie nie występowało. Zlodzenie najdłużej trwało 120 dni. Stwierdzono, że termin zlodzenia Wisły opóźnia

się o 13 dni/100 lat, a pokrywa lodowa też zanika wcześniej przeciętnie o 13 dni/100 lat. To skrócenie zlodzenia jest efektem wzrostu średnich temperatur, ale też antropogenicznych wpływów związanych z regulacją rzek, wzrostem zanieczyszczenia wód, jak również lodolaniem i pracą elektrowni wodnych. W Polsce wystąpienie pokrywy lodowej opóźnia się przeciętnie o 5,8 dnia/100 lat i równocześnie następuje jej wcześniejszy rozpad o 6,5 dnia/100 lat (Chmielewski, Grześ, 2010). Zwykle rzeki dorzecza Wisły ulegają dłuższemu i trwalszemu zlodzeniu w porównaniu z rzekami dorzecza Odry i rzekami Pomorza (Grześ, 2010).

### 3. Ogólna charakterystyka uwarunkowań rozwoju energetyki wodnej

Warunki hydrologiczne Polski nie sprzyjają znacznemu rozwojowi energetyki wodnej. Średnia suma opadów jest stosunkowo niska (niższa niż w krajach sąsiednich), natomiast ewapotranspiracja dość wysoka. To wpływa na niewielki sumaryczny odpływ wodny (Mioduszewski, 2008). Wielkość odpływu rzecznego jest zależna od warunków fizycznogeograficznych i klimatycznych zlewni. Zwłaszcza istotny jest rozkład i wielkość opadów atmosferycznych. Na zmiany w naturalnym odpływie i przekształcenie stosunków wodnych wpływa również działalność antropogeniczna. Może być przykładowo związana z zabudowaniem koryta, bezzwrotnymi poborami wód, zrzutami wód komunalnych, przemysłowych, kopalnianych, budową zbiorników retencyjnych, rowów melioracyjnych i pobieraniem wody do nawodnień (Czajkowska, 2009).

Elektrownie wodne zwykle są budowane przy już istniejących piętrzeniach wodnych, które zostały zaprojektowane dla różnych potrzeb, m.in.: regulacyjnych, przeciwpowodziowych, retencyjnych, nawodnieniowych i energetycznych. Obecnie w Polsce jest około 800 elektrowni wodnych. Niektóre z nich to wciąż pracujące obiekty, mające ponad 100 lat. Podaje się, że średnia wieku elektrowni w Polsce to 40 lat (Wieteska, Jeziorska, 2018). Generalnie elektrownie wodne to inwestycje długoterminowe i z tego względu powinno się je planować w długiej perspektywie czasowej. To, czy obecnie budowane elektrownie też będą miały tak długi cykl życia, zależy od przyszłych warunków administracyjnych, prawnych, technicznych, gospodarczych i klimatyczno-hydrologicznych. W takiej długiej perspektywie czasowej warto uwzględnić pewną zmianę klimatu.

Szacuje się, że do końca lat siedemdziesiątych XXI wieku potencjał produkcyjny istniejących elektrowni wodnych w Skandynawii i w północnej Rosji wzrośnie o około 15–30%. Z kolei zmniejszenie potencjału o około 20–50% prognozuje się w Hiszpanii, Portugalii, Bułgarii i na Ukrainie. W skali całej Europy prognozuje się spadek potencjału o kilka – kilkanaście procent w stosunku do obecnych wartości (Okruszko i in., 2009). Uważa się, że zmiany klimatu wpłyną na zmniejszenie odnawialnych zasobów wodnych w rejonach suchych, a z kolei na terenach wilgotnych będzie jeszcze więcej odnawialnych zasobów wodnych (Kundzewicz, 2017).

## ZMIANA KLIMATU

Efektywność pracy elektrowni wodnych związana jest z wykorzystaniem dostępnych zasobów wód płynących oraz możliwością dostosowania się do zmieniających się przepływów wodnych. Reżim hydrologiczny polskich rzek w letniej połowie roku uzależniony jest głównie od wielkości i częstości opadów, a także od ewapotranspiracji, zaś w zimowej od opadów śniegu, deszczu i temperatury powietrza. Wiosną pojawić się mogą gwałtowne roztopy i związane z nimi większe przepływy wód, latem przy dużych opadach mogą być powodzie, ale przy suszy mogą być niżówki. Pracę elektrowni zawsze utrudniają zanieczyszczenia i roślinność płynące wraz z wodą, gdyż zmniejszają przepływ wody, zatykają kraty przy elektrowni, a jeśli dostaną się do turbin – mogą je zepsuć. Zwłaszcza jesienią, kiedy w wodzie jest dużo liści, trzeba je często i systematycznie usuwać z krat elektrowni. Dużym utrudnieniem w zimowych miesiącach może być lód na rzece. Przy pokrywie lodowej, ze względu na większy opór wody spada prędkość przepływu i przyrasta stan wody. Bardzo niebezpieczny dla elektrowni jest śryż (kawałki lodu płynące w wodzie), częsty podczas łagodniejszych zim, gdyż może zatrzymywać się na kratkach wlotowych, utrudniając napływ wody do turbin i też prowadzić do niebezpiecznych zatorów (Grześ, 2010). Ze względu na prognozy cieplejszych zim można oczekiwać większej częstotliwości pojawiania się śryżu.

#### **4. Dane wyjściowe do szacowania produkcji energii, jakość dostępnych informacji**

Gospodarowanie wodą powinno uwzględniać potrzeby i racje różnych podmiotów: administracji publicznej, użytkowników wód, przedstawicieli lokalnych społeczności i być realizowane tak, aby osiągnąć maksymalne korzyści społeczne przy uwzględnieniu ochrony środowiska wodnego, zrównoważonego i sprawiedliwego korzystania z wód. Od dawna przy projektowaniu elektrowni wodnej zakłada się, że potencjał hydroenergetyczny rzeki powinien być odpowiednio dobrze wykorzystany (Ministerstwo, 2012).

Wytrzymałość elektrowni wodnych i towarzyszących im urządzeń jest obliczana i następnie projektowana przy uwzględnieniu prawdopodobieństwa wystąpienia bardzo wysokich przepływów, zdarzających się niezwykle rzadko – prawdopodobieństwa przewyższenia przepływu. Parametry przyszłej elektrowni i oszacowanie możliwej produkcji energii określa się na podstawie dokładnych informacji o stanach i przepływach wody: ich wielkości, jakości (zanieczyszczenia) i rozkładzie, spadzie wody oraz ciężarze właściwym. Dane dotyczące przepływów wodnych powinny obejmować jak najdłuższy okres, aby można było oszacować zmienność wieloletnią i sezonową. Badanie danych przepływów wody oparte na zbyt krótkim okresie danych hydrologicznych może nie być reprezentatywne i nie przedstawiać właściwej charakterystyki przepływów. Znając charakterystykę przepływów określa się krzywą sum czasu trwania przepływów,

przepływ nienaruszalny i przepływ techniczny minimalny do turbin elektrowni. Dalej ustala się przełyk turbin, dobierając ich moc tak, aby mogły pracować przez jak najdłuższy czas w ciągu roku. Przygotowanie właściwych danych wyjściowych jest niezwykle ważne dla inwestycji (Lis, 2011). Złe oszacowanie potencjału energetycznego lokalizacji prowadzić może do niepełnego jego wykorzystania, co dla właściciela elektrowni wiąże się z kosztami utraconych możliwości. Poza tym jest to niezgodne z prawem wodnym, według którego ten potencjał powinien być wykorzystany w jak najlepszym stopniu. Gdy jest duża zmienność przepływów może być trudno optymalnie i efektywnie kosztowo dobrać turbiny do elektrowni. Turbiny mogą nie obejmować przedziału zmienności przepływów i elektrownia może pracować w ograniczonym zakresie, nie wykorzystując nadmiaru wody lub mając przestoje przy niżówkach. Może to być odczuwalne zwłaszcza w elektrowniach przepływowych położonych na rzekach. Przy elektrowniach zlokalizowanych przy zbiornikach wodnych istnieje możliwość, aby zgromadzić w zbiorniku odpowiednią ilość wody i wtedy uruchomić elektrownię. Prognozowane zmiany klimatyczne mogą przyczynić się do zwiększenia zmian w wielkości przepływów. Wydaje się, że inwestorzy planując budowę elektrowni przy parametryzowaniu powinni uwzględnić większą zmienność przepływów, wyższe maksima, częste niżówki w przeszłości.

## **5. Wpływ ekstremów pogodowych (wzrost częstotliwości susz, upałów, silnych opadów, powodzi, porywistych wiatrów) na pracę elektrowni wodnych**

Zmiany klimatu, wywierając wpływ na środowisko naturalne, oddziałują na gospodarkę i społeczeństwo. Od XIX w. dzięki W.S. Jevonsowi w teorii ekonomii zauważa się związek między zmianami przyrodniczymi na skutek aktywności Słońca a cyklem koniunkturalnym.

Ulewne deszcze, powódzie, upały, susze, silne i porywiste wiatry, powodując materialne, ale też niematerialne szkody, często negatywnie wpływają na zdrowie i życie ludzi, a także mogą utrudniać prowadzenie działalności gospodarczej i zwiększać jej koszty. Te zjawiska wywołują negatywny wpływ na pracę elektrowni przez obniżenie wielkości wytworzonej energii, zwiększenie kosztów eksploatacyjnych lub powodują, że elektrownia musi być wyłączona z eksploatacji. Tak często dzieje się w przypadku niżówek. Niżówki w rzekach mogą być wywołane słabym zasilaniem rzeki lub wręcz jego brakiem, spowodowanymi deficytem opadów, dużym parowaniem lub długotrwałymi mrozami. Powodem niżówek może być też retencja śniegowa, która nie daje odpływu lub głębokie przemarznięcie gruntu, co uniemożliwia dopływ wód podziemnych do rzeki (Byczkowski, 1996). Niżówki mogą być również związane z zatrzymywaniem przepływu przez gromadzenie wody w zbiornikach, na przykład dla celów retencyjnych, przeciwpowodziowych, do stawów rybnych, czy do nawodnień itp.

## ZMIANA KLIMATU

Woda również może być bezpośrednio kierowana do rowów melioracyjnych, co obniża przepływy w rzece poniżej miejsca poboru.

Letnie niżówki wywołane przez suszę mogą być spowodowane długo utrzymującą się cyrkulacją antycyklonalną, gdy występuje niedobór opadów i jest wysoka temperatura, duża prędkość wiatru, wysokie usłonecznienie oraz niska wilgotność. To powoduje wzrost ewapotranspiracji i wzrost zapotrzebowania na wodę. Jeśli nie wystąpią opady, następuje wysychanie gleby i dalej wyczerpywanie się zasobów wodnych sfery nasyconej oraz coraz słabsze zasilanie rzeki przez wody podziemne. Niektóre rzeki zasilane przez mało zasobne warstwy wodonośne mogą nawet zanikać (Byczkowski, 1996). Warto wspomnieć, że niskie przepływy mogą też mieć przyczyny antropogeniczne, związane np.: z nieprawidłowym działaniem systemów nawadniających, złą strukturą użytkowania gruntów, likwidacją obszarów wodno-błotnych oraz obiektów małej retencji, urbanizacją i wadliwą zabudową dolin rzecznych, błędami w zagospodarowaniu zlewni (Łoś, 2009).

Podczas suszy wykorzystanie wód dla potrzeb gospodarki jest utrudnione na dużym obszarze i w ciągu długiego okresu. Dotyczy to też energetycznego użytkowania wód. W rzece powinien pozostać przepływ biologiczny, a jedynie większe przepływy mogą być wykorzystywane. Niektóre elektrownie wodne mogą nie być eksploatowane, inne pracują w ograniczonym zakresie. Zwykle wiele zakładów chce korzystać z ograniczonych zasobów wody. Przykładowo woda z rzeki może być wykorzystywana do celów komunalnych, dla potrzeb zakładów przemysłowych, do celów nawodnieniowych, do uzupełniania wody w stawach (hodowla ryb), dla potrzeb energetycznych. Wówczas zasoby wodne powinny być dzielone zgodnie z zapisami w instrukcji gospodarowania wodą i operatami wodno-prawnymi. Niektóre zakłady mogą mieć pierwszeństwo w wykorzystaniu wody. Dla właścicieli elektrowni wodnych, podobnie jak dla wielu innych przedsiębiorców wykorzystujących naturalne zasoby wodne, przedłużanie czasu trwania suszy może być znaczącym problemem. Wówczas często ponoszą oni duże straty związane z działalnością. Istotne jest to, że często susza dotyczy dużego obszaru terytorialnego, tak więc może dotknąć wielu przedsiębiorców. Warto też dodać, że ze względu na rozwój gospodarki i prawdopodobny wzrost potrzeb wodnych ludności przypuszczalnie będzie zwiększona presja na zasoby wodne. Prognozowany wzrost temperatury może przyspieszyć wegetację, co spowoduje potrzebę zwiększonego poboru wody do nawodnień. To przyczyni się do zmniejszenia ilości wody płynącej w rzekach i co za tym idzie – zmniejszenia ilości wody do wykorzystania dla potrzeb energetyki. W okresie nawadniania upraw elektrownie wodne, ze względu na niższe przepływy wód, mają przestoje lub są eksploatowane w ograniczonym zakresie. Podobna sytuacja może mieć miejsce w przypadku pobierania wody do stawów rybnych. Woda przy wyższej temperaturze szybciej paruje i częściej musi być w stawach uzupełniana. Może się też okazać, że w przypadku suszy jest zachwiane bezpieczeństwo energetyczne, gdy istnieje znaczny udział produkcji energii z elektrowni wodnych w systemie energetycznym i system nie jest wspomagany konwencjonalnym wytwarzaniem



energii lub substytucyjnym wytwarzaniem energii przez inne odnawialne źródła (Sołtuniak, 2016). Warto też dodać, że susza wiąże się ze zwiększonym prawdopodobieństwem występowania pożarów, erozji, burz pyłowych, itd.

W Polsce zwiększa się częstość występowania i długość trwania susz, jak i ich zasięg terytorialny. Wydaje się, że podczas suszy, jak i przy ograniczonych zasobach wodnych należy wprowadzać odpowiednie narzędzia administracyjne, ekonomiczne i prawne, wpływające motywująco na oszczędne, efektywne i racjonalne wykorzystanie oraz użytkowanie wody.

Zarówno zbyt niskie, jak i zbyt wysokie przepływy wody ograniczają czasowo pracę elektrowni wodnej. Powodzie w Polsce występują stosunkowo często. W ostatnich trzydziestu latach zaobserwowano wzrost częstości wezbrań najwyższych (powodziowych) i coraz większe objętości fal wezbraniowych. Powodzie opadowo-nawalne, wywołane przez krótkotrwałe deszcze o dużym nasileniu, często obejmują tylko pojedyncze zlewnie, zatem mają charakter lokalny. Zdarzają się latem i coraz częściej wiosną, wzmagając okresowo tempo roztopów. Powodzie opadowe z deszczów rozlewnych i frontalnych mają duży zasięg terytorialny. Występują często na terenach nizinnych (Jankowski, Wita, 2009). Woda podmywa brzegi i niesie ze sobą dużo zawiesiny. Powódź może doszczętnie zniszczyć elektrownię wodną. Zwykle przy bardzo wysokich przepływach i stanach wód elektrownie wodne muszą być wyłączane, aby nie uległy awarii, ale też mogą być wyłączane z uwagi na względy technologiczne – zmniejsza się spad wody. Powódź jest w pewnym stopniu niwelowana w lokalizacjach, gdzie znajdują się poldery, zbiorniki retencyjne, wały przeciwpowodziowe. Zagadnienia związane z ryzykiem powodziowym, jego pomiarem, oceną, a także sposobami zmniejszania tego ryzyka szczegółowo opisuje praca Ł. Kuźmińskiego (Kuźmiński, 2018).

Podaje się, że średnie roczne i sezonowe odpływy, średnie wysokich przepływów, liczba wezbrań, erozja wodna będą wzrastać, zwłaszcza w dalekiej przyszłości, wraz ze wzrostem średnich temperatur. Dotyczy to zwłaszcza północnej i środkowej części Polski. Rzeczna i nadbrzeżna flora, a także fauna będą się przystosować do nowych warunków, będą zmiany siedlisk. Przykładowo nastąpi poszukiwanie przez ryby odpowiednich siedlisk na tarło, zmiana zasięgu występowania ryb wędrownych. (Piniewski i in., 2017, Kundzewicz, Kozyra, 2017). Z punktu widzenia energetyki wodnej ważna może być konieczność dostosowania się do ichtiofauny, np. przez budowę innego typu przepławek, wprowadzenie innych zabezpieczeń dla ryb, aby nie przedostawały się do elektrowni, wprowadzenie okresu ochrony rybostanu.

Prognozowane w przyszłości zmniejszone przepływy wodne, zwłaszcza w lecie, zapewne będą się wiązać ze zwiększeniem koncentracji zanieczyszczeń i intensyfikacją procesów biologicznych. Ze względu na przypuszczalne zmiany w produkcji rolnej i uprawach może się też pojawić wzrost innych rodzajów zanieczyszczeń. Nadmiar zawiesiny w wodzie i intensyfikacja zanieczyszczeń może powoli niszczyć urządzenia wodne. Piętrzenie przed zaporą wpływa na zahamowanie procesu oczyszczania się wód płynących, osadzanie rumowiska i namulów, powoduje kumulację szkodliwych substancji w zbiorniku, a także

## ZMIANA KLIMATU

zmianę morfologii koryta i zwiększenie erozji dennej poniżej zapory (Steller, 2009). Wydaje się, że te zjawiska mogą się nasilać. W przypadku elektrowni wodnych spowoduje to częstszą potrzebę konserwacji budowli piętrzących, co podniesie koszty eksploatacji. Niskie przepływy wód w lecie wiążą się również często z szybkim zarastaniem koryta rzecznej roślinnością. Aby zapewnić efektywną pracę elektrowni wodnych, obsługa elektrowni musi na bieżąco usuwać roślinność, aby woda płynęła bez oporów, ograniczeń i zawirowań.

## 6. Dane empiryczne dotyczące przepływów wodnych

Deficyty wód w Polsce wystąpiły m.in. w latach: 1959, 1964, 1970, 1979, 1982, 1992, 1994, 2000, 2003, 2006, 2015), a także w ostatnich latach. Mokre lata to: 1962, 1980, 1997, 2010 (Pniewski i in., 2017). Aby ocenić potencjał hydroenergetyczny wybranych lokalizacji, a tym bardziej prognozować go w przyszłości, należy poznać dokładne warunki hydrologiczne. Dla porównania przedstawiono wybrane dane o przepływach, ukazując ich zmienność sezonową i z roku na rok. Na poniższych wykresach przedstawiono średnie roczne przepływy i średnie miesięczne przepływy dla wybranych miesięcy hydrologicznych z czterech rzek z różnych części Polski: Wełny w Kowanówce, Drzewiczki w Odrzywole, Łyny w Olsztynie-Kortowo i Kaczawy w Piątnicy. Każda ze zlewni tych rzek ma inne warunki fizycznogeograficzne i klimatyczne. Dane obejmują lata hydrologiczne 1990–2019 dla Drzewiczki i Wełny, 1991–2019 oraz bez 2012 r. dla Łyny, 1997–2019 dla Kaczawy. Źródłem danych jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy.

Generalnie przepływy rzeczne cechują się dużą zmiennością w ciągu roku, jak i pomiędzy poszczególnymi latami czy okresami wieloletnimi. Ukazane jest to na rysunkach 12.1, 12.2 i 12.3. Największą regularność przepływów zarówno w poszczególnych latach, jak i półroczach (letnie i zimowe) cechuje się Łyna. Pozostałe rzeki charakteryzują się większą zmiennością. Dużą zmiennością, zwłaszcza w półroczu zimowym, charakteryzuje się Wełna. Również dużą zmiennością przepływów, ale w głównie w półroczu zimowym, charakteryzuje się Kaczawa. Na Drzewicze w kilku poszczególnych latach wystąpiły wysokie przepływy. W roku 2019 na czterech analizowanych rzekach wystąpiły jedne z najniższych średnich przepływów.

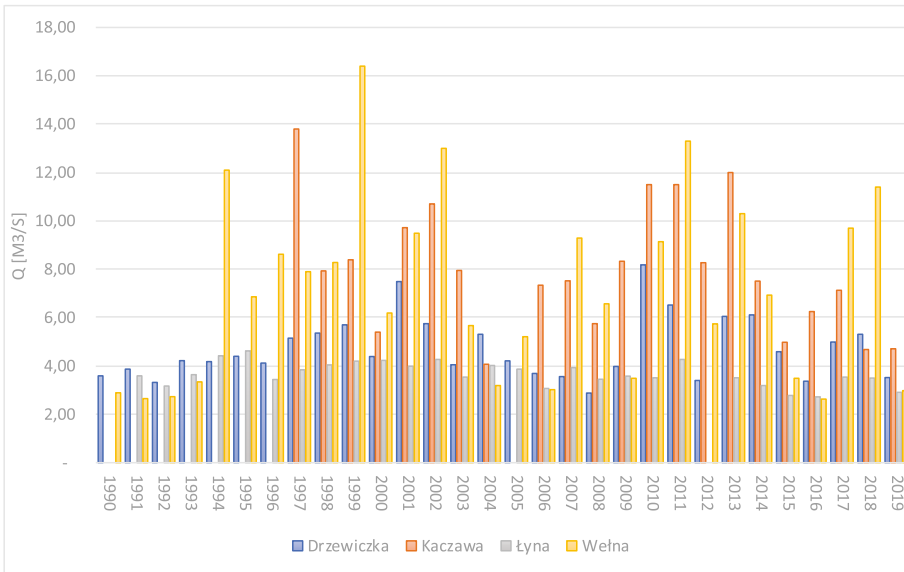
Na rysunku 12.4. wskazano różnice w średnich przepływach rzecznych dla 5-letnich ciągów obserwacji i przyrównano te dane do średniej 30-letniej. Można stwierdzić, że ostatnie pięć lat na wszystkich analizowanych rzekach charakteryzują przepływy niższe od średniej wieloletniej.

Osobno została porównana Drzewiczka. Dla niej przedstawiono zmienność przepływów w ciągu roku – rys. 12.5. Najwyższe średnie przepływy roczne występują w marcu i kwietniu i są one około dwukrotnie większe niż przepływy sierpniowe, które są najniższe. Niskie średnie przepływy miesięczne występują od lipca do października.



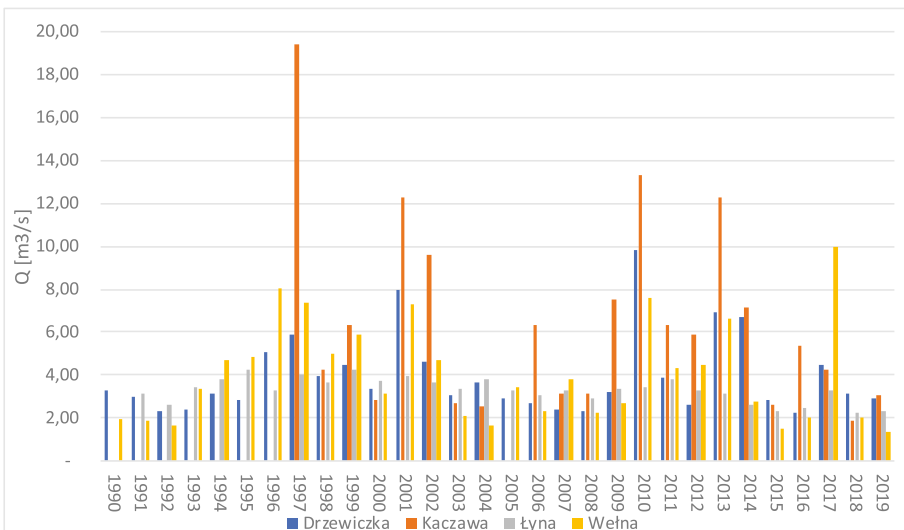
Joanna Sołtuniak *Wpływ prognozowanych zmian klimatu na wytwarzanie energii...*

Rysunek 12.1. Średnioroczne przepływy Wełny w Kowanówce, Drzewiczki w Odrzywole, Łyny w Olsztynie-Kortowo i Kaczawy w Piątnicy z lat hydrologicznych 1990–2019.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW PIB. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego zostały przetworzone.

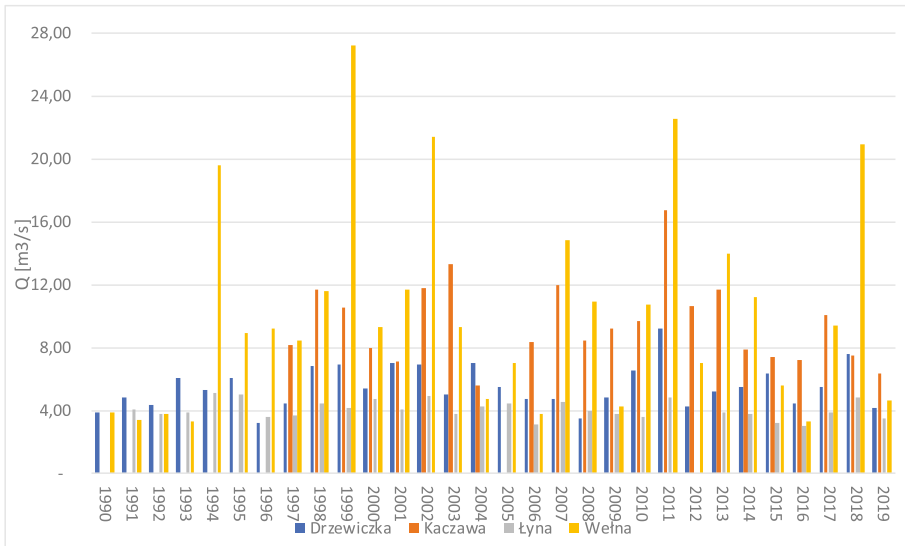
Rysunek 12.2. Średnioroczne przepływy z półroczia letniego Wełny w Kowanówce, Drzewiczki w Odrzywole, Łyny w Olsztynie-Kortowo i Kaczawy w Piątnicy z lat hydrologicznych 1990–2019.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW PIB. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego zostały przetworzone.

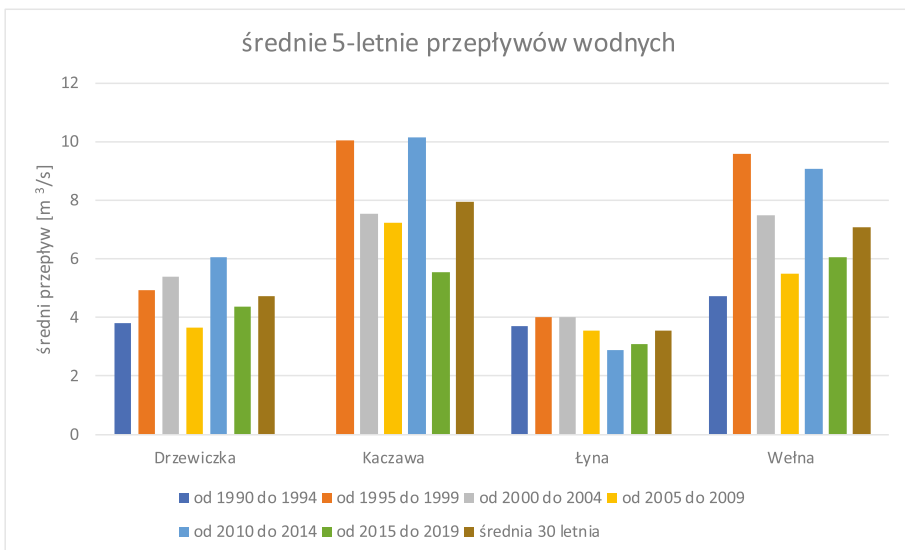
## ZMIANA KLIMATU

Rysunek 12.3. Średnioroczne przepływy z półrocza zimowego Wełny w Kowanówce, Drzewiczki w Odrzywole, Łyny w Olsztynie-Kortowo i Kaczawy w Piątnicy z lat hydrologicznych 1990–2019.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW PIB. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego zostały przetworzone.

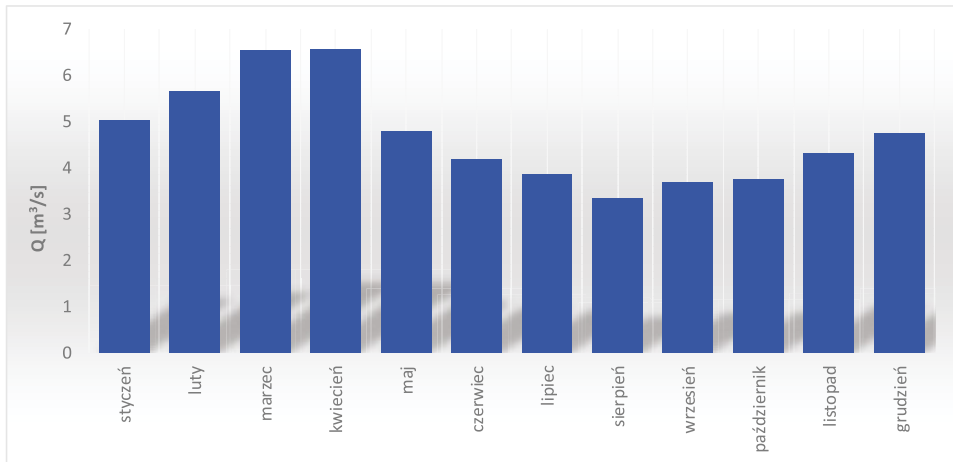
Rysunek 12.4. Średnie z 5-letnich przepływów wodnych w porównaniu ze średnią 30-letnią Wełny w Kowanówce, Drzewiczki w Odrzywole, Łyny w Olsztynie-Kortowo i Kaczawy w Piątnicy z lat hydrologicznych 1990–2019.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW PIB. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego zostały przetworzone.

Joanna Sołtuniak *Wpływ prognozowanych zmian klimatu na wytwarzanie energii...*

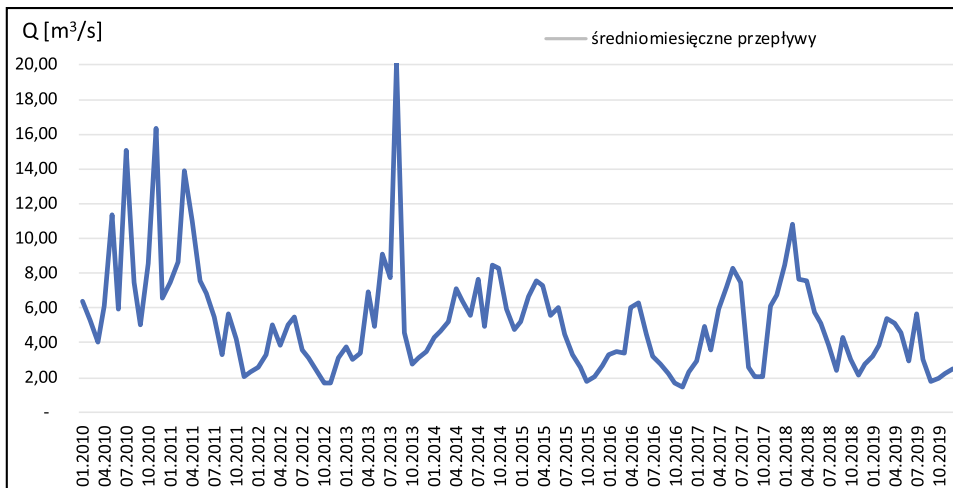
Rysunek 12.5. Przepływy średnie w miesiącach kalendarzowych Drzewiczki w Odrzywole z lat 1990–2019.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW PIB. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego zostały przetworzone.

Na ostatnim rysunku 12.6 przedstawiono szczegółowe dane dotyczące przepływów wodnych za ostatnie lata. W ostatnich latach przepływy są raczej niskie. Wysokie przepływy wody miały miejsce w 2010 r., 2011 r. i najwyższe w 2013 r. Wystąpiła wówczas powódź.

Rysunek 12.6. Szczegółowe średniomiesięczne przepływy Drzewiczki w Odrzywole w latach hydrologicznych 2010–2019.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW PIB. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego zostały przetworzone.

## 7. Podsumowanie

Stabilne i przewidywalne warunki hydrologiczne są najkorzystniejsze dla efektywnej pracy elektrowni wodnej. Prognozuje się, że w przyszłości będzie następować wzrost średniej temperatury powietrza i zmiana struktury opadów, zwłaszcza zwiększenie sumy opadów okresu zimowego i zmniejszenie sumy opadów w lecie, a także zwiększenie intensywności pojedynczych zjawisk opadowych. To wywrze duży wpływ na zasoby wodne i reżim hydrologiczny rzek. W letniej połowie roku postępujący wzrost temperatury może spowodować jeszcze większy wzrost ewapotranspiracji i niższe przepływy w rzekach. Ze względu na konieczność pozostawienia przepływu biologicznego w rzece niewiele wody pozostanie do wykorzystania w celach energetycznych, jak też i innych. Z kolei bardzo wysokie przepływy wodne, wywołane intensywnymi opadami czy gwałtownymi roztopami śnieżnymi, często nie mogą być wykorzystane energetycznie.

## Bibliografia

- Byczkowski A., (1996). *Hydrologia*. T. 2. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- Chmielewski M., Grześ M., (2010). Wieloletnia zmienność zlodzenia Wisły w Toruniu. *Gospodarka Wodna*. nr 3/2010.
- Czajkowska A., (2009). Antropogeniczne zmiany reżimu odpływu rzecznoego w zlewni Bierawki. *Gospodarka Wodna*. nr 4/2009. s. 163–171.
- Graczyk D., Pińskwar I., Choryński A., Szwed M., Kundzewicz Z.W., (2017). *Zmiany temperatury powietrza w Polsce* [w:] Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań. s. 47–59.
- Grześ M., *Problemy z lodem w MEW*. www.trmew.pl.
- Jankowski W., Wita A., (2009). Zbiorniki wodne w ograniczaniu skutków powodzi i suszy w Polsce. *Gospodarka Wodna*, nr 4/2009.
- Kożuchowski K., (2004). *Ewapotranspiracja i klimatyczny bilans wodny (1976–2000)*. [w:] K. Kożuchowski (red.) *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce* Łódź: Wyd. Biblioteka. s. 25–45.
- Kożuchowski K., (2004). *Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w XX i XXI w.* [w:] K. Kożuchowski (red.) *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*. Łódź: Wyd. Biblioteka. s. 46–57.
- Kundzewicz Z.W., (2017). *Wielkoskalowa zmiana klimatu (obserwacje, interpretacja, projekcje)*. [w:] Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań. s. 14–30.
- Kundzewicz Z.W., Kozyra J., (2017). *Wpływ zmian klimatu na rolnictwo w Polsce*, [w:] Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań.
- Kuźmiński Ł., *Modele probabilistycznego pomiaru i oceny ryzyka powodziowego na przykładzie dorzecza środkowej Odry*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2018.

- Lenart W., (2009). Zmiany klimatu – poważne wyzwanie dla ocen. *Problemy ocen środowiskowych*. nr 4/2009. s. 15–18.
- Lis M., (2011). Proces inwestycyjny MEW – ustalanie przepływu wody, właściwe określenie mocy i produkcji MEW. *Biuletyn TRMEW*. nr 16/2011. IV kwartał.
- Łoś M.J., (2009). Czy w Polsce zabraknie wody?. *Gospodarka Wodna*, nr 4/2009, s. 155.
- Mezghani A., Parding K.M., Dobler A., Benestad R.E., Haugen J.E., Piniewski M., (2017). *Projekcje zmian temperatury, opadów i pokrywy śnieżnej w Polsce*. [w:] Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań. s. 94–118.
- Ministerstwo Środowiska, (2009). Polityka ekologiczna Polski na lata 2009–2012 z perspektywą do 2016. *Monitor Polski*. 2009, nr 34, poz. 501.
- Mioduszewski W., (2008). Czy Polska jest krajem ubogim w wodę?. *Gospodarka Wodna*. nr 5/2008.
- Okruszko T., Kijańska M., (2009). *Zmiany klimatu a gospodarowanie wodami*. Warszawa: Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.
- Okruszko T., O’Keeffe J., Utratna M., Marcinkowski P., Szcześniak M., Kardel I., Kundzewicz Z.W., Piniewski M., (2017). *Prognoza wpływu zmian klimatu na środowisko wodne i mokradła w Polsce*. [w:] Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań. s. 148–167.
- Piniewski M., Szcześniak M., Kardel I., Marcinkowski P., Okruszko T., Kundzewicz Z.W., (2017). *Zasoby wodne*. [w:] Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań.
- Piniewski M., Szcześniak M., Marcinkowski P., O’Keeffe J., Okruszko T., Nieróbca A., Kozyra J., Kundzewicz Z.W., (2017). *Projekcje wpływu zmian klimatu na rośliny jare do roku 2050 w oparciu o symulacje modelu*. [w:] Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań.
- Pińskwar I., Choryński A., Graczyk D., Szwed M., Kundzewicz Z.W., (2017). *Zmiany opadów w Polsce*. [w:] Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań. s. 60–81.
- Sołtuniak J., (2016). *Koszty transakcyjne w energetyce wodnej*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Steller J., (2009). *Energetyka wodna w Polsce – niepodjęte wyzwanie*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Stan pozyskania odnawialnych źródeł energii w Polsce”. Materiały pokonferencyjne. PAN. s. 69–84.
- Szwed M., Pińskwar I., Kundzewicz Z.W., Graczyk D., Mezghani A., (2017). *Zmiany pokrywy śnieżnej*. [w:] Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Okruszko T. (red.), *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań.
- Wieteska S., Jeziorska M., (2018). Ocena ryzyka eksploatacji małych elektrowni wodnych dla potrzeb ich ubezpieczenia od wybranych zdarzeń losowych. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*. nr 353. s. 126–138.